



FUNDAMENTOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS FORESTALES



MIPF



David Cibrián Tovar

Editor

FUNDAMENTOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS FORESTALES

MIPF

Cómo citar la publicación.

Cibrián-Tovar, D. (ed.). 2021. *Fundamentos para el Manejo Integrado de Plagas Forestales MIPF*. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.

Ejemplo para citar una colaboración de esta publicación.

Macías-Sámano, J. 2021. Compuestos químicos conductuales de los insectos hervíboros y su relación con sus hospedantes. En: Cibrián-Tovar, D. (ed.). 2021. *Fundamentos para el Manejo Integrado de Plagas Forestales MIPF*. (pp. 115-118) Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México.



FUNDAMENTOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS FORESTALES

MIPF

David Cibrián Tovar

Editor

2021



Editor: David Cibrián Tovar.

Diseño editorial: Leticia Arango Caballero.

Formación: Leticia Arango Caballero y Ana G. Pompa Rivera.

Maquetación editorial: Ana G. Pompa Rivera.

Ilustración y edición de imágenes: Eleusis Llanderal Arango y Leticia Arango Caballero.

Diseño de portada: Leticia Arango Caballero.

Editor literario y corrección de estilo: Felipe Romero Rosales.

Primera edición, septiembre 2021.

© Universidad Autónoma Chapingo.

Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Texcoco.

Estado de México. México. C. P. 56230

Publicación de la Red Temática en Salud Forestal.

Proyecto apoyado por el CONACYT.

ISBN: 978-607-12-0595-7

Impreso en México-Printed in Mexico

Todos los derechos reservados.

La reproducción total o parcial de la publicación se permitirá cuando se reconozcan los derechos correspondientes.

A todos los involucrados en las actividades forestales de México.

Agradecimientos

Esta publicación se logró gracias al esfuerzo de varios especialistas en temas relacionados al manejo de plagas. Apreciamos las contribuciones de los autores: Biol. Israel Aquino Bolaños, M. C. Hugo César Arredondo Bernal, Dr. Víctor Javier Arriola Padilla, Ing. Marisol Ávila Vargas, Dr. Julio César Buendía Espinoza, Ing. Francisco Javier Cabrales Castellanos, Dr. Manuel Campos Figueroa, M. C. Honoria Chávez González, Dr. Víctor David Cibrián Llanderal, Dr. David Cibrián Tovar, Biol. José Cibrián Tovar, M. C. Luis Ángel Cruz González, Ing. Alejandro De Felipe Teodoro, Ing. Mauricio Forero Toro, Dra. Erika Gómez Pineda, M. C. Gustavo González Villalobos, M. C. María Eugenia Guerrero Alarcón, M. C. Ivón López Pérez, Dr. Jorge Enrique Macías Sámano, Ing. Carlos Alberto Magallón Morineau, M. C. Lorena Martínez González, Ing. Hugo Medrano Farfán, Ing. Fernando Miranda Piedragil, Dr. Martín Palomares Pérez, Dr. Omar Alejandro Pérez Vera, M. C. Abel Plascencia González, M. C. Sergio Arturo Quiñonez Favila, Dr. Felipe Romero Rosales, Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero, Dr. Guillermo Sánchez Martínez, M. C. José Ricardo Sánchez Velázquez, M. C. Antonio Segura Miranda, Ing. Oscar Trejo Ramírez, Ing. Avelino B. Villa Salas y M. C. Ernesto Marcelo Zepeda Bautista.

La I. C. Leticia Arango Caballero, realizó un extraordinario trabajo de diseño editorial, creación de infografías, ilustración científica, revisión y formación de textos; un agradecimiento especial por el tiempo dedicado y por compartir y dejar plasmada parte de su creatividad en esta obra.

Un reconocimiento muy especial al Editor literario Dr. Felipe Romero Rosales, quien a través de una revisión científica cuidadosa, correcciones y sugerencias, incrementó la calidad de esta publicación.

Al Lic. D. C. G. Eleusis Llanderal Arango, aportó infografías, ilustraciones y esquemas de alta calidad por lo cual agradecemos su esfuerzo.

Un agradecimiento a Lic. D. C. G. Ana G. Pompa Rivera por su profesionalismo y dedicación en la maquetación editorial.

Agradezco a la Dra. Celina Llanderal Cázares por la revisión de los capítulos de Control Físico y Control Químico.

Un reconocimiento a todos los que aportaron imágenes para que la publicación tenga el componente gráfico que permite una lectura más amable.

El apoyo de la Red Temática en Salud Forestal fue imprescindible para lograr la publicación; esta red forma parte del Programa de Redes Temáticas del CONACYT y gracias a su apoyo se logró la impresión de esta obra.

Autores

Biol. Israel Aquino Bolaños
Consultor independiente
lsrabiol@hotmail.com

M. C. Hugo César Arredondo Bernal
Centro Nacional de Referencia en Control Biológico.
Dirección General de Sanidad Vegetal- SENASICA.
SADER.
hcesar_64@yahoo.com.mx

Dr. Víctor Javier Arriola Padilla
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias.
arriola.victor@inifap.gob.mx

Ing. Marisol Ávila Vargas
Gerencia de Sanidad Forestal, CONAFOR.
marisol_av4@hotmail.com

Dr. Julio César Buendía Espinoza
Universidad Autónoma Chapingo.
jcbuendiae@hotmail.com

Ing. Francisco Javier Cabrales Castellanos
Jefe de Departamento de Producción de Planta
Gerencia de Restauración Forestal, CONAFOR.
fcabrales@conafor.gob.mx

Dr. Manuel Campos Figueroa
ITRAP, consulting services.
sales@itrap-usa.com

M. C. Honoria Chávez González
Gerencia de Sanidad Forestal, CONAFOR.
chavezgh@hotmail.com

Dr. Víctor David Cibrián Llanderal
Cátedras CONACYT-Postgrado en Ciencias
Forestales, Colegio de Postgraduados.
victor.cibrian@conacyt.mx

Dr. David Cibrián Tovar
Universidad Autónoma Chapingo.
dcibrian48@gmail.com

Biol. José Cibrián Tovar
Forestal Milenio A. C.
jcibriantovar@gmail.com

M. C. Luis Ángel Cruz González
Universidad Autónoma Chapingo.
luisangelcruz55@gmail.com

Ing. Alejandro De Felipe Teodoro
Gerencia de Sanidad Forestal, CONAFOR.
adefelipe@gmail.com

Ing. Mauricio Forero Toro
Gerencia de Sanidad Forestal, CONAFOR.
mauricioforerotoro@gmail.com

Dra. Erika Gómez Pineda
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
(IIAF-UMSNH). Morelia, Michoacán, México.
erigomezpin@hotmail.com

M. C. Gustavo González Villalobos
Consultor independiente.
gustavo.gonzalez@cinaf.com.mx

M. C. María Eugenia Guerrero Alarcón
Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos.
SEMARNAT.
eugenia.guerrero@semarnat.gob.mx

M. C. Ivón López Pérez
Departamento de Sanidad Forestal de la Comisión
Forestal del Estado de Michoacán.
lopez_ivon@conafor.gob.mx

Dr. Jorge Enrique Macías Sámano
Consultor, Forest Health and Semiochemicals
Consulting. 558 Brookmere, Coquitlam, BC, V3J
1W9, Canadá.
jemaciass58@gmail.com

Ing. Carlos Alberto Magallón Morineau
Consultor independiente
cmagallo@conafor.gob.mx

M. C. Lorena Martínez González

Asesora Ambiental

lorefosi@hotmail.com

Ing. Hugo Medrano Farfán

Ex gerente de la Gerencia de Plantaciones

Forestales Comerciales, CONAFOR.

hugomedranofarfán@yahoo.com.mx

Ing. Fernando Miranda Piedragil

Subgerencia de Recursos Genéticos Forestales,

CONAFOR.

fmiranda@conafor.gob.mx

Dr. Martín Palomares Pérez

Centro Nacional de Referencia en Control Biológico.

Dirección General de Sanidad Vegetal-SENASICA.

SADER.

mpalomares@colpos.mx

Dr. Omar Alejandro Pérez Vera

Consultor independiente

oalejandroversa@gmail.com

M. C. Abel Plascencia González

Gerencia de Sanidad Forestal, CONAFOR.

abel.plascencia@conafor.gob.mx

M. C. Sergio Arturo Quiñonez Favila

División de Ciencias Forestales, Universidad

Autónoma Chapingo.

quinonez.serch@gmail.com

Dr. Felipe Romero Rosales

Colegio de Postgraduados.

papilin@colpos.mx

Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
(INIRENA-UMSNH).

Morelia, Michoacán, México.

csaenzromero@gmail.com

Dr. Guillermo Sánchez Martínez

INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón

Programa de Investigación en Sanidad

Forestal y Agrícola.

soysanchezg@gmail.com

sanchezm.guillermo@inifap.gob.mx

M. C. José Ricardo Sánchez Velázquez

Gerencia de Restauración Forestal.

Comisión Nacional Forestal

ricardo.sanchez@conafor.gob.mx

M. C. Antonio Segura Miranda

Universidad Autónoma Chapingo.

proteccionvegetalp@gmail.com

Ing. Oscar Trejo Ramírez

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos.

SEMARNAT.

oscar.trejo@semarnat.gob.mx

Ing. Avelino B. Villa Salas

Consultor forestal

abvillasalas@aevitas.com.mx

M. C. Ernesto Marcelo Zepeda Bautista

Universidad Autónoma Chapingo.

mzpedab@chapingo.mx

Autores de fotografías e ilustraciones

Alcestis Llanderal Arango (177)

Alejandro Gómez Nísino (184)
/APFF Campo Verde–CONANP

Alfredo Dugés (9)

Alfonso Herrera (hijo) (10)

CONAFOR Comisión Nacional Forestal (40, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 128, 130, 152, 147, 148, 149, 150, 151, 212, 216, 217, 218, 119)

Cuahtémoc Sáenz Romero (229, 230, 231, 232, 233, 234)

Daniel Rivas Torres (66)

David Cibrián Tovar (1, 5, 33, 34, 36, 38, 39, 41, 42, 43, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 73, 74, 76, 89, 90, 107, 108, 109, 110, 113, 114, 115, 133, 155, 168, 171, 186, 189, 211, 225a y b)

Eleusis Llanderal Arango (4, 6, 7, 28, 31, 48, 59, 61, 69, 70, 75, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 94, 95, 98, 99, 110, 123, 124, 129, 134, 135, 136, 144, 153, 156, 157, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 174, 180, 181, 187, 188, 192, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 220, 226, 227, 228)
ellanderal@hotmail.com

Ernesto Marcelo Zepeda Bautista (37)

Guillermo Sánchez Martínez (185)

Hugo César Arredondo Bernal (172)

Israel Aquino Bolaños (205, 208, 209)

Ivón López Pérez (105)

José Manuel Rodríguez (170b)

José de la Luz Santillán Soto (173, 175)

Leticia Arango Caballero (3, 8, 45, 56, 60, 77, 91, 92, 93, 116, 118, 131, 132, 139, 141, 154, 190, 191, 204, 210)
larangoc@hotmail.com

Manuel Aguilera Rodríguez (97)

Mauricio Forero Toro (215)

Omar Alejandro Pérez Vera (78, 79, 80, 81)

P. Gross (145)

José Ricardo Sánchez Velázquez (46)

Sanidad Vegetal Jalisco (117)

Sergio Arturo Quiñonez Favila (32, 35, 178, 179, 182, 183, 193)

Silvia Edith García Díaz (44, 100, 101)

Víctor Javier Arriola Padilla (137, 138, 140, 143)

Víctor David Cibrián Llanderal (111, 112)

Presentación

Esta publicación es parte de la actualización del libro *Insectos Forestales de México/ Forest Insects of México* que se publicó en 1995 y es el segundo de tres volúmenes, con los cuales se pone al día la información contenida en la primera versión, al atender sectores de información complementarios. El primero, “Fundamentos de Entomología Forestal”, publicado en 2017, describe aspectos básicos de Morfología, Fisiología y Taxonomía de órdenes y familias de insectos de importancia forestal, cuya versión digital es de libre acceso en la página <https://www.redsaludforestal.com>, mientras que este segundo volumen, describe los fundamentos de Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF). Un tercer volumen, que complementará la serie, tratará individualmente más de 600 especies de insectos, la mayoría fitófagos, pero también especies que tienen importancia ecológica relevante o constituyen un recurso económico que la sociedad identifica y aprecia.

El presente libro inicia con el establecimiento del marco conceptual del MIPF y analiza los nuevos enfoques del concepto. Luego se presenta la historia de la Entomología Forestal en México, resaltando la participación de los entomólogos mexicanos y de otros países en el desarrollo de la disciplina a través de más de 100 años. A continuación, se describen seis grandes escenarios de manejo de recursos forestales, cada uno con características propias en cuanto a tamaño, complejidad, objetivos e intereses de los responsables de su manejo. Como el MIPF tiene bases ecológicas profundas, se presenta un capítulo sobre aspectos básicos de ecología de poblaciones. Debido a la gran importancia de la comunicación química en el comportamiento de los insectos, se presenta un capítulo introductorio al tema. También se incluye un resumen sobre técnicas moleculares en la Entomología, que están relacionadas con la identidad de los insectos y que complementa los aspectos taxonómicos que están descritos a profundidad en el libro de Fundamentos de Entomología Forestal antes mencionado.

Además, por primera vez se tratan los temas de monitoreo de plagas, alerta temprana y evaluación de impactos, de gran trascendencia en el desarrollo de programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP). El libro presenta y desarrolla el concepto de resistencia vegetal como táctica de manejo de insectos. El control biológico, fundamental en el desarrollo de propuestas MIP, es descrito integralmente, ya que es de gran importancia en el manejo fitosanitario de plagas en los escenarios de manejo forestal. Se describen los métodos de control físico y mecánico, resaltando la importancia actual y futura que se vislumbra para ellos y se trata el papel de la silvicultura en la prevención y manejo de plagas forestales.

Aun cuando el control químico se utiliza de manera limitada en el control de plagas forestales, se decidió hacer un capítulo que contiene la información necesaria para el uso apropiado de los insecticidas, desde identificar sus modos de acción, su toxicidad a seres vivos, resistencia, manejo y uso seguro de sustancias, método y equipos de aplicación. En este mismo capítulo se describe la técnica de inyección de insecticidas al tronco de árboles vivos, como un método novedoso y apropiado para tratar plagas en algunos escenarios forestales. Otro método describe la utilización de semioquímicos como herramienta de control, lo cual también es novedoso en una publicación forestal mexicana.

El papel que tienen las instituciones de gobierno relacionadas con la Sanidad Forestal es descrito a profundidad, destacando nuevos enfoques como la organización de sistemas de comando de incidencias, así como el marco regulatorio y normativo para atender plagas en el territorio nacional y para prevenir la entrada de organismos exóticos de alta peligrosidad para los recursos forestales de México.

Reconocemos que el cambio climático genera nuevas condiciones ambientales, al modificar los patrones de distribución y de ciclos biológicos y propiciar la manifestación de plagas insectiles que no se conocían en el pasado reciente, así como de otras que son conocidas, pero su tamaño e impacto es severo y nuevo, por lo que en la parte final del libro se tiene un capítulo sobre cambio climático.

Esperamos que esta obra sirva en la toma de decisiones a todos aquellos que requieren atender problemas de salud forestal causados por insectos de los árboles.

Dr. David Cibrián Tovar

El editor

Prólogo

El libro Fundamentos para el Manejo Integrado de Plagas Forestales representa el esfuerzo conjunto de expertos y especialistas de diversos sectores comprometidos con la protección de los Bosques, Selvas, y Vegetación de zonas áridas y semiáridas de México. Este volumen es complemento secuencial de la obra editorial Fundamentos de Entomología Forestal, toda vez que la información de carácter fitosanitario es de vital importancia para el diseño y establecimiento de tácticas de manejo de plagas forestales.

Se refleja, en esta obra, el esfuerzo del editor en conjuntar y ordenar cada una de las aportaciones de los autores; asimismo, las imágenes y su explicación permiten una lectura de fácil entendimiento para los lectores. El contenido aborda los distintos escenarios donde se pueden presentar insectos de importancia económica, ocasionando impacto en los ecosistemas forestales y en los servicios ambientales que proveen, por lo que la información plasmada en este libro, contribuirá a fortalecer el conocimiento y ayudará al mejor entendimiento de la complejidad en la atención de plagas forestales, bajo el contexto del cambio climático con consecuencias evidentes en el comportamiento de las especies y en sus rangos de distribución. A la par de estos cambios, la investigación, el monitoreo, el diseño de productos y herramientas, y las técnicas de identificación y control, también han evolucionado, aportando elementos que inciden en tomar mejores decisiones en el diseño de tácticas de atención a las plagas y en su implementación de manera oportuna, eficiente, rentable, y con el menor impacto a los recursos asociados.

Dr. Ramón Silva Flores

Coordinador General de Conservación y Restauración de la Comisión Nacional Forestal

Contenido

Agradecimientos	IX
Autores	XI
Autores de fotografías e ilustraciones	XIII
Presentación	XV
Prólogo	XVII

Introducción	1
David Cibrián Tovar	

Marco Conceptual y Desarrollo del Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF)	3
David Cibrián Tovar y Jorge Enrique Macías Sámano	

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los agroecosistemas	4
Definición de Control Integrado y umbrales para la toma de decisiones	6
Definición de Manejo Integrado de Plagas (MIP).....	7
Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF)	8
Concepto de plaga forestal	8
Fundamentos del Manejo Integrado de Plagas (MIPF)	8
Sanidad Forestal y Manejo Integrado de Plagas.....	10
Concepto de salud forestal.....	10

Historia de la Entomología Forestal en México	13
David Cibrián Tovar, Guillermo Sánchez Martínez, Jorge Enrique Macías Sámano, José Cibrián Tovar y Avelino B. Villa Salas	

Periodo 1870-1899	13
1900-1909	14
1910-1919	15
1920-1929.....	15
1930-1939.....	16
1940-1949	16
1950-1959.....	16
1960-1969	17
1970-1979.....	19
1980-1989	20
1990-1999	22
2000-2009.....	23
2010-2019.....	26
Docencia en Entomología Forestal	28

ESCENARIOS DE MANEJO FORESTAL	29
Introducción	29
David Cibrián Tovar	
Bosques naturales o nativos de México	31
Ernesto Marcelo Zepeda Bautista	
Subcategorías de bosque en México, según su intensidad de manejo–aprovechamiento forestal.....	32
Sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP’s)	32
Bosque natural o nativo, comercial y no comercial	33
Evolución de los servicios técnicos forestales y de los sistemas de planeación del manejo forestal.....	34
Los bosques comerciales mexicanos	36
Certificación forestal	36
Cambio climático global	37
Déficit de balanza comercial.....	37
Incentivos fiscales opuestos, cambios de uso del suelo, biodiversidad y agua	37
Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el	
Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS)	38
Estrategias de compensación ambiental y mercados de carbono	38
Socioproducción forestal.....	39
Monitoreo e indicadores de desempeño.....	39
Salud Forestal, en la perspectiva del Manejo Forestal Sostenible	40
Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF)	42
Fernando Miranda Piedragil	
Tipos de UPGF	46
Consideraciones para el establecimiento de las UPGFs	49
Importancia de los insectos en las UPGFs.....	49
Producción de planta en viveros forestales	51
José Ricardo Sánchez Velázquez y Francisco Javier Cabrales Castellanos	
Calidad y cantidad de planta	52
Certificación de viveros	53
Tendencia en la producción de planta	53
Nuevo enfoque de restauración forestal	55
Importancia de los insectos en la producción de planta forestal	56
La reforestación con fines de restauración	57
José Ricardo Sánchez Velázquez y David Cibrián Tovar	
Programa “Sembrando Vida”	58
Importancia de los insectos en la restauración productiva	60
Plantaciones comerciales	61
Hugo Medrano Farfán	
Antecedentes	63
Fondo Nacional Forestal (FONAFOR)	68

Aspectos destacados en Plantaciones Forestales Comerciales.....	68
Oportunidades y retos	69
Importancia de los insectos en las plantaciones forestales comerciales.....	70
Espacios verdes urbanos	72
Lorena Martínez González y David Cibrián Tovar	
Antecedentes	72
Beneficios y servicios ambientales de los árboles urbanos.....	75
Los árboles urbanos y la calidad del aire.....	75
Los árboles y la reducción de la contaminación del aire.....	76
Los árboles urbanos y el microclima	76
Los árboles urbanos y la conservación de energía	77
Los árboles y la absorción del ruido.....	77
Los espacios verdes urbanos como áreas idóneas para promover la diversidad vegetal	77
Los espacios verdes urbanos y la salud física.....	78
Situación general de los espacios verdes urbanos.....	79
Daños abióticos de los árboles urbanos	79
Deficiencia en la producción de árboles para la reforestación urbana	80
Mala planeación y manejo del arbolado urbano	81
Riesgo de los árboles.....	81
Deficiente reglamentación y falta de personal capacitado y equipo	81
Daños ocasionados por los habitantes	82
Políticas públicas, normatividad y herramientas para favorecer los espacios verdes urbanos	83
Normatividad para el manejo de los espacios verdes urbanos	83
I-Tree Eco y la valoración de los servicios ambientales de los árboles urbanos	84
Salud forestal en los ambientes urbanos	85
Importancia de los insectos en la vegetación forestal urbana	85
Insectos dentro de madera procesada	87
 IDENTIDAD DE INSECTOS	 89
Omar Alejandro Pérez Vera y David Cibrián Tovar	
Taxonomía tradicional	89
Técnicas moleculares en la Entomología	94
Laboratorio de biología molecular	96
Instalaciones.....	97
Equipamiento	97
Personal.....	98
 IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ASPECTOS POBLACIONALES DE LOS INSECTOS	 99
David Cibrián Tovar y Felipe Romero Rosales	
Los insectos herbívoros como elementos de transformación en los bosques	99

Concepto de nicho ecológico	99
Eficiencia ecológica de los insectos.....	101
Efectos de los insectos en el ecosistema forestal	101
Otras funciones de los insectos	102
Fundamentos de dinámica de poblaciones de insectos	102
Sistemas de población	102
Estructura de la población	102
Densidad	102
Distribución geográfica	103
Disposición espacial	103
Estructura de edades.....	104
Proporción de sexos	104
Composición genética	105
Procesos poblacionales	106
Natalidad	106
Mortalidad	108
Factores de mortalidad	109
Tablas de vida	109
Tablas de vida horizontales.....	110
Emigración e inmigración.....	111
Direccionalidad	112
Persistencia	112
Dispersión de poblaciones	112
Muestreo de insectos	113
Tamaño y número de muestras	114
Los métodos de monitoreo y trampeo.....	114
COMPUESTOS QUÍMICOS CONDUCTUALES DE LOS INSECTOS HERBÍVOROS Y RELACIONES CON SUS HOSPEDANTES	115
Jorge Enrique Macías-Sámano	
Selección y aceptación de árboles por los insectos	115
Tipos de compuestos conductuales	116
Mecanismos de defensa de los árboles	118
Vigor, estrés y muerte de los árboles	118
TÉCNICAS DE MONITOREO	121
Monitoreo de plagas en viveros.....	121
David Cibrián Tovar, Ivón López Pérez y Abel Plascencia González	
Uso de trampas de color	121
Instalación y número de trampas	122

Cambio de trampas y registro de la información	122
El mosco fungoso negro <i>Bradysia impatiens</i> (Johannsen)	123
Monitoreo de adultos de mosco fungoso negro	125
Monitoreo de larvas de mosco fungoso negro	127
Monitoreo de plagas en plantaciones forestales	129
Víctor David Cibrián Llanderal y Manuel Campos Figueroa	
Defoliadores	129
Hormigas cortadoras	129
Lepidópteros	130
Insectos barrenadores de brotes	133
Barrenador de las meliáceas	133
Barrenadores de yemas de pino	133
Insectos chupadores de savia	134
Plantaciones de árboles de navidad	135
Monitoreo de plagas en bosques naturales mediante mapeo aéreo	137
Carlos Alberto Magallón Morineau, Marisol Ávila Vargas y Abel Plascencia González	
¿Qué es el Mapeo Aéreo?	138
Objetivos del mapeo aéreo en sanidad forestal	138
Tipos de mapeo aéreo	138
Programa de mapeo aéreo en la detección temprana de plagas forestales	138
El avión	138
El piloto y el observador	139
La capacitación y entrenamiento	140
La seguridad	140
Planeación de un mapeo aéreo	140
Tiempos de vuelo y ventanas biológicas	142
Ejecución del mapeo	143
Factores que pueden afectar el mapeo	144
Vuelo	144
Condiciones meteorológicas	145
Comunicación durante el vuelo	145
Equipo y tecnología	145
Consideraciones respecto al vuelo	146
Seguimiento de la ruta de vuelo	147
Eficiencia: costo-beneficio	147
Post proceso y resultados	147
Supervisión terrestre	148
Teledetección espacial en el monitoreo de vegetación afectada por plagas forestales	149
Julio César Buendía Espinoza y Luis Ángel Cruz González	
Teledetección vs teledetección espacial	149

La vegetación en el espectro electromagnético	149
Índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima.....	151
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	151
Teledetección y sistemas de información geográfica.....	151
La teledetección espacial y los sistemas de información geográfica en el estudio de la salud forestal	152
Cuantificación de magnitud de daños	153
Monitoreo de insectos mediante trampas cebadas con feromonas.....	155
Jorge Enrique Macías Sámano	
Monitoreo de insectos descortezadores de coníferas	156
Sitios	157
Colocación de trampas	157
Colocación de cebos y preparación de trampas	158
Recolecta de insectos atrapados.....	158
Procesamiento de muestras colectadas.....	158
Mantenimiento del sistema de trampas	159
Utilidad de la información producida por los monitoreos.....	159
Monitoreo de plagas en ambientes urbanos.....	162
David Cibrián Tovar y Víctor Javier Arriola Padilla	
Elaboración de trampas.....	162
Colocación de trampas en campo.....	163
Recolección de trampas	163
Conteo y registro.....	163
Resultados del programa de control biológico	164
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y EVALUACIÓN DE RIESGO EN SANIDAD FORESTAL	165
Honoría Chávez González, Abel Plascencia González y Alejandro de Felipe Teodoro	
Conocimiento del riesgo	166
Medición y monitore de plagas forestales	166
Difusión y comunicación	167
Capacidad de respuesta	167
EVALUACIÓN DE IMPACTOS CAUSADOS POR PLAGAS FORESTALES	169
David Cibrián Tovar y Jorge Enrique Macías Sámano	
Conceptos	169
Análisis Costo-Beneficio (ACB)	169
Costos efectivos y análisis de umbrales.....	170
Análisis del impacto económico	170
Análisis de impactos de plagas forestales en México	170

Impactos en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP's).....	171
Impactos en predios bajo manejo forestal productivo o recreativo	171
Impacto en la producción de semillas.....	171
Caso <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	171
Caso <i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> (Beissn.) Murray.....	171
Caso <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	172
Impacto en viveros forestales	173
Impacto en plantaciones de árboles de navidad	173
Impacto en plantaciones maderables.....	173
Impacto en bosques naturales	175
Impacto de plagas exóticas el psílido del eucalipto <i>Glycaspis brimblecombei</i> Moore	178
Evaluación de impacto por plagas forestales en Canadá.....	180
Impacto del descortezador de pinos <i>Dendroctonus ponderosae</i> Hopkins.....	180
Defoliador <i>Choristoneura fumiferana</i> (Clemens)	182
RESISTENCIA VEGETAL.....	185
Felipe Romero Rosales	
Introducción a la resistencia vegetal.....	185
El fenómeno de la resistencia vegetal.....	186
La planta, su origen y adaptación	186
Las defensas vegetales.....	190
Defensas.....	190
Los artrópodos y la fitofagia	191
Mecanismos de resistencia (Painter, 1951)	192
Antixenosis (no preferencia, según Painter)	192
Antibiosis.....	192
Tolerancia	193
Evasión.....	193
Las defensas y sus causales	193
Genética de la resistencia	196
El subsistema vertical	196
El subsistema horizontal	196
CONTROL BIOLÓGICO	199
Hugo César Arredondo Bernal y Martín Palomares Pérez	
Fundamentos ecológicos.....	199
Concepto de Control Biológico.....	200
Tipos de control biológico	201
Control biológico clásico.....	201
Control biológico neoclásico	202

Control biológico fortuito	202
Control biológico por aumento	203
Control biológico por conservación	204
Tipos de enemigos naturales	205
Parasitoides	205
Depredadores	205
Patógenos	206
Fitófagos y fitopatógenos	206
Atributos de los enemigos naturales	207
Alta capacidad de búsqueda	207
Especificidad	207
Alta capacidad reproductiva	207
Tolerancia a la heterogeneidad ambiental	207
Capacidad de modificar su densidad poblacional y la del huésped o presa	207
11.6 Evaluación de enemigos naturales utilizando tablas de vida	208
CONTROL FÍSICO	213
David Cibrián Tovar y Sergio Arturo Quiñonez Favila	
Tácticas pasivas	214
Adhesivos incoloros	214
Trampas adhesivas de color	214
Forrado de brotes o ramas	215
Barreras de exclusión de tela de propileno	215
Aceites minerales	215
Jabones y detergentes	215
Tierras de diatomeas naturales	216
Sustancias Minerales	216
Modificación de atmósfera	216
Métodos activos. Tácticas de combate mecánico	216
Fragmentación de la corteza y trituración de troncos y ramas	216
Astilladora	217
Recolecta y destrucción manual	218
Lavado de follaje	218
Tácticas térmicas	218
Uso de fuego para control de insectos descortezadores	219
Quemas controladas de vegetación	221
Solarización de trocería	221
Secadores de madera	222
Temperaturas bajas	222
Agua	222

12.5.1 Agua caliente	222
12.5.2 Inmersión de trocería en depósitos de agua.....	222
12.5.3 Aspersión de agua en patios de trocería.....	222
EL PAPEL DE LA SILVICULTURA EN LA PREVENCIÓN Y MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.....	223
Guillermo Sánchez Martínez	
Los insectos forestales como agentes de disturbio natural	223
La silvicultura como ecología aplicada	224
El árbol y sus características como hospedante	225
Interacciones entre las características del rodal y la incidencia de plagas	227
Densidad	227
Composición de especies.....	229
Estructura	230
Peligro, susceptibilidad y riesgo	230
El control silvicultural de insectos forestales	234
Prácticas silvícolas que favorecen el buen estado de la salud forestal	235
Cortas silvícolas para control de daños	235
Epílogo	236
CONTROL QUÍMICO.....	237
Fundamentos de control químico.....	237
Antonio Segura Miranda	
Antecedentes	237
Clasificación de los plaguicidas	238
Formulaciones de plaguicidas	240
Clasificación de insecticidas	240
Por su origen.....	240
Por su composición química	240
Por la concentración química	241
Por su modo de acción.....	241
Toxicología aplicada en el manejo de insecticidas.....	243
Cálculo de la toxicidad	243
La toxicidad como referencia a la resistencia	246
Métodos y equipos de aplicación de insecticidas.....	246
Pulverización	247
Atomización	247
Boquillas	248
Nebulización.....	248
Calibración de equipos.....	248

Calibración en superficies planas	249
Cambios en la presión de aspersión.....	249
Válvulas de presión	249
Frecuencia de calibración	249
Mantenimiento de equipo	249
Manejo y uso seguro de insecticidas	250
Precauciones y riesgos	250
Disposición de envases vacíos	252
Instrucciones para el triple lavado.....	252
La etiqueta de los insecticidas	252
Columnas de la etiqueta.....	253
Columna izquierda.....	253
Columna central	253
Columna derecha	254
Banda de color e íconos pictográficos.....	254
Los insecticidas en el ámbito forestal	255
David Cibrián Tovar	
Utilización de insecticidas en escenarios de manejo forestal.....	255
Viveros forestales.....	255
Plantaciones forestales comerciales maderables.....	255
Plantaciones de árboles de navidad	255
Bosques naturales.....	256
Ambientes forestales urbanos	256
Insecticidas para el combate de insectos forestales.....	256
Insecticidas.....	258
Inyección en árboles, una técnica de control contra plagas y enfermedades.....	262
Israel Aquino Bolaños y Víctor David Cibrián Llanderal	
Historia de la técnica de inyección en árboles	262
Fisiología del transporte de líquidos en los árboles	263
Xilema	263
Tipos de xilema y conducción de insecticidas.....	263
Floema	264
Inyección al tronco	265
Uso de presión	265
Alta presión	265
Baja presión.....	266
Infusión	266
Implantes	266
Metodología de inyección.....	266
Puntos de inyección	267

Válvulas de inyección.....	267
Modelos y marcas de sistemas de inyección	267
Insecticidas para inyectar árboles	269
Factores que intervienen durante el proceso de inyección	270
Distribución y residualidad	270
Selección de producto.....	271
Dosis	271
Daños ocasionados por inyección.....	271
Aspersión vs inyección	272
USO DE SEMIOQUÍMICOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE INSECTOS FORESTALES.....	273
Jorge Enrique Macías Sámano	
Alejar o repeler poblaciones de insectos de las áreas a proteger.....	274
Feromonas de antiagregación o repulsión de descortezadores	274
Volátiles de las hojas verdes.....	274
Confusión sexual y disminución del apareamiento en defoliadores.....	275
Concentración de insectos descortezadores, barrenadores y defoliadores	275
Concentración y contención.....	275
Atracción-aniquilación	275
Atracción y repulsión de descortezadores	276
Manipulación de las fuentes naturales de semioquímicos para terminar un foco de infestación.....	277
SISTEMA DE COMANDO DE INCIDENTES (SCI) EN LAS CONTINGENCIAS FITOSANITARIAS	279
Mauricio Forero Toro y Abel Plascencia González	
Definición del sistema de comando de incidentes (SCI).....	279
Bondades en la implementación del SCI	280
Estructura organizacional y principales funciones del SCI.....	281
Implementación del SCI para atender contingencias fitosanitarias	282
REGULACIÓN Y MARCO NORMATIVO DE LA SANIDAD FORESTAL	285
Normatividad fitosanitaria en el sector forestal.....	285
Gustavo González Villalobos, Oscar Trejo Ramírez, Abel Plascencia González y Alejandro de Felipe Teodoro	
Notificación de saneamiento	287
Histórico de notificaciones de saneamiento	289
Tácticas de protección oficial contra plagas exóticas	290
María Eugenia Guerrero Alarcón	
Procesamiento y Tratamiento	290

Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF)	291
Normas Regionales de Medidas Fitosanitarias (NRMF)	294
Normas Oficiales Mexicanas (NOM).....	294
Papel de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.....	294
Principales insectos exóticos forestales con potencial de introducción a México	295
Vigilancia fitosanitaria en puntos nacionales de ingreso	296
CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD FORESTAL	301
Oscar Trejo Ramírez, Erika Gómez-Pineda y Cuauhtémoc Sáenz-Romero	
Antecedentes	301
Impacto del cambio climático en la distribución del hábitat climático propicio para los ecosistemas forestales	303
Cambio climático e insectos forestales	306
Desfasamiento adaptativo entre poblaciones forestales, clima propicio e insectos y patógenos.....	306
Los cambios de temperatura y humedad en los insectos forestales	307
Distribución de insectos	309
Cambios en la fenología	310
Opciones de manejo	312
REFERENCIAS	315
ÍNDICE	355

INTRODUCCIÓN

David Cibrián Tovar

En la literatura forestal de México no existe una publicación sobre las tácticas y estrategias que se utilizan o se pueden utilizar para atender un problema fitosanitario causado por insectos forestales. También se carece de un documento en donde estén claramente establecidos los fundamentos de manejo de plagas que den base a una correcta toma de decisiones. Por ello decidimos hacer este libro, buscando establecer dichas bases y armonizar la información para que el usuario la utilice fácilmente. En la preparación del documento fue necesario revisar conceptos, analizar, establecer y describir la secuencia del proceso de manejo de plagas; en la presentación de los capítulos buscamos una estructura lógica, que esperamos haber logrado y que sea de beneficio para todo aquel que requiere atender un problema de plaga en los bosques de México.

Para el título de la publicación, fue lógico para nosotros utilizar el de “**Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF)**”, concepto que Coulson y Witter 1984 y Coulson y Saarenmaa 2011 definen como: **El mantenimiento de poblaciones de agentes (insectos) destructivos a niveles tolerables mediante el uso planeado de una variedad de tácticas preventivas de supresión o regulatorias que sean económica y ecológicamente eficientes y con aceptación social y política.**

Los argumentos que tuvimos para mantener el nombre del libro fueron varios:

Primero, fue la aceptación mundial del concepto, el cual se definió en 1965, en un simposio organizado por la FAO en Roma con la participación de delegados de 34 países, siete de ellos de América Latina (FAO 1966); las bases científicas del MIP se desarrollaron en California, Estados Unidos, pero hubo desarrollos paralelos en decenas de países, destacando Australia (Geier y Clark 1961, Geier 1966 y Kogan 1998).

Segundo, en el sector forestal el MIPF está reconocido desde mediados de la década de 1980-1990 (Coulson y Witter 1984 y Branham y Thatcher 1985), en esos años se desarrollaron programas de manejo integrado para el descortezador *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y los defoliadores *Lymantria dispar* (Linnaeus), *Orgyia pseudotsugata* (McDunnough) y *Choristoneura occidentalis* Freeman; desde ese tiempo hasta la actualidad se siguen desarrollando propuestas MIP para otros insectos.

Tercero, en la mayoría de los bosques naturales y plantados coexisten varios objetivos de manejo, casi siempre para producción de madera, productos no maderables, agua, servicios ambientales, biodiversidad, etc. Calificar el impacto económico o ecológico de una plaga forestal es difícil, para algunas personas un insecto será plaga y para otras será un integrante natural del ecosistema al cual hay que dejar.

Cuarto, los recursos a proteger van más allá de los árboles vivos; es decir, en la Entomología Forestal se llega hasta la protección de productos forestales en uso y posible comercialización (incluyendo la importación y exportación), principalmente maderables; en este escenario se tiene un entorno humano modificado (casas habitación o de otro tipo) que está alejado de las condiciones naturales del bosque, un ejemplo de los insectos que se atienden en este ambiente son los barrenadores de madera que afectan pisos o muebles.

Quinto, la vastedad en superficie de los bosques, su escasa infraestructura de comunicación, el gran periodo de tiempo para concluir ciclos de cultivo, la enorme biodiversidad asociada y la disponibilidad limitada de recursos financieros para el uso de tácticas de combate de alto costo, solo permite la aplicación de tácticas combinadas, como las que ofrece el MIPF.

Sexto, el concepto representa la intersección entre el manejo de plagas y la ecología de insectos y a su vez enfatiza la integración de procesos ecológicos naturales con los métodos de manejo, ocupándose de las interacciones que existen entre la diversidad de especies objetivo y no objetivo, todo ello para las poblaciones plagas por debajo de niveles que podrían interferir con el mantenimiento de servicios ecosistémicos.

Séptimo, la palabra “integrado” consideramos sigue siendo de valor en la definición de la estrategia MIP. Kogan y Shenk 2002 reconocen y describen tres niveles de integración.

- En el nivel 1 la integración de los métodos de manejo se hace para la especie plaga o un grupo de especies relacionadas. Un ejemplo forestal es el manejo del descortezador de pinos *Dendroctonus frontalis* en bosques de coníferas, pues se tienen métodos de monitoreo especial con feromonas y mapeo aéreo; los métodos de control son mecánicos (descortezado manual con hacha o con descortezadora acoplada a motosierra), físicos (fuego e insolación directa) y químicos (aspersión de insecticidas a corteza).
- En el nivel 2, la integración es para el manejo de todas las plagas del cultivo; un ejemplo forestal es un vivero que produce árboles para reforestación. Los métodos de monitoreo deben ser para todas las especies plaga, insectos, hongos, nematodos (trampas, revisión periódica de condición de raíz y parte aérea). Los métodos de prevención y combate que se aplican son varios: formulación de sustratos, disposición de mesas portacharolas, arquitectura de tubetes, agua, uso de antagonistas y entomopatógenos y plaguicidas.
- En el nivel 3 la integración de todas las tácticas de manejo es para todas las plagas y para todo el sistema. Un ejemplo serían los viveros militares de todo el país, para ellos se puede desarrollar una estrategia de atención coordinada desde un mando central.

Por todo lo anterior aceptamos que este enfoque es eficiente para tratar un problema causado por insectos forestales convertidos en plaga.

MARCO CONCEPTUAL Y DESARROLLO DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS FORESTALES (MIPF)

David Cibrián Tovar y Jorge Enrique Macías Sámano



Figura 1. *Dendroctonus valens* en su galería. (Fotografía: D. Cibrián)

Los entomólogos forestales están de acuerdo en que el MIPF en su completa aplicación es solo para plagas de mayor importancia, por ejemplo: los insectos descortezadores de pinos del género *Dendroctonus*, los defoliadores de los géneros *Zadiprion* y *Neodiprion*, la avispa agalladora del encino *Andricus quercuslaurinus* Melika y Pujade-Villar, el salivazo de los pinos *Ocoaxo assimilis* (Walker), la mosca fungosa de los viveros *Bradysia impatiens* (Johannsen), el barrenador de brotes de meliáceas *Hypsipyla grandella* Zeller y el barrenador de yemas *Rhyacionia frustrana* (Comstock).

Muchos insectos forestales serán plaga eventual y por lo pronto no requerirán la aplicación completa del MIPF; sin embargo, en su combate se pueden tomar en cuenta elementos del

mismo y con la información generada se pueden alimentar bases de datos para un eventual futuro MIPF. En conclusión, se acepta que bajo la estrategia del MIPF, además de lograr reducciones poblacionales de plagas, se tienen menores impactos ecológicos y sociales y mayor eficiencia económica.

Para una mejor comprensión se comenta que el término **combate de insectos**, se refiere a las acciones que se utilizan para eliminar o reducir a una población de insectos que ya rebasó el nivel de daño económico y puede incluir una o más tácticas, el término es apropiado en el idioma español y se debe seguir utilizando. **Control de insectos** deriva de la traducción del inglés "insect control"; sin embargo, su uso y aceptación es generalizada.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los agroecosistemas

En los agroecosistemas el MIP ha sido estudiado y desarrollado a nivel internacional desde hace varias décadas, es resultado de un largo proceso que va ligado con el avance de la agricultura. Varios autores describen con detalle esta evolución (Kogan 1998, Kogan y Bajwa 1999, Kogan, Croft y Suthurst 1999, Dhaliwal *et al.* 2004 y Singh *et al.* 2015). El lector podrá hacer una revisión más detallada del desarrollo histórico en estos artículos.

Desde los tiempos antiguos hasta antes de la segunda guerra mundial en 1938, se utilizaron métodos de control basados en controles físicos, mecánicos, culturales, genéticos, químicos y biológicos.

La rotación de cultivos, el uso de fuego, la inundación, la recolección y destrucción manual de insectos y plantas dañadas se encuentran entre las medidas más antiguas de combate de plagas, a estas medidas siguieron las aplicaciones de productos vegetales con base en neem, rotenona, tabaco o extractos de crisantemo (Dhaliwal *et al.* 2004).

En los siglos XVIII y XIX en Estados Unidos se generaron ejemplos exitosos de manejo, uno de ellos fue el de la filoxera de la vid *Viteus vitifoliae* (Fitch) mediante la cruce de variedades europeas susceptibles con variedades resistentes americanas, otro fue el famoso control biológico de la escama de los cítricos *Icerya purchasi* Maskell con la importación del depredador *Rodolia cardinalis* (Mulsant) (figura 2).

Al final del siglo XIX y principios del XX ya se utilizaban derivados de petróleo como aceites y creosota.

En ese tiempo se sintetizaron insecticidas inorgánicos con base en mercurio, arsénico, cobre y



Figura 2. Control biológico de *Icerya purchasi* por *Rodolia cardinalis*. (Cortesía de Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE)).

estaño, este uso de insecticidas trajo consigo un cambio en el enfoque de investigación de los clásicos métodos de control ecológico-cultural hacia el control químico.

Los insecticidas inorgánicos mencionados fueron de extrema toxicidad a humanos y otros seres vivos, adicionalmente se caracterizaron por su amplio espectro y larga persistencia, por lo que la investigación científica siguió para sintetizar nuevas moléculas químicas y así, antes de la segunda guerra mundial se sintetizaron los primeros insecticidas orgánicos, los tiocianatos alquílicos.

Después del descubrimiento de las propiedades insecticidas del DDT por Paul Müller en 1939 y su exitoso uso durante la segunda guerra mundial como insecticida para controlar vectores de malaria y tifo, se cambió el enfoque de control de plagas, en 1943 en la agricultura

se inició el uso de este insecticida, rápidamente se convirtió en uno de los más aplicados durante las décadas de 1940 a 1960. En esas décadas se incorporaron al control de insectos los insecticidas BHC en 1942, así como el paratión en 1946, y el Isolan en 1951 como primer carbamato (Dahliwal *et al.* 2004).

El método químico, basado en la aplicación de insecticidas sintéticos, principalmente clorados y fosforados, rápidamente fue adoptado por los agricultores de Estados Unidos y de muchos países y en ese periodo pasó a ser el único método de control, dejando de lado los otros métodos; Newsom 1980 le llamó “época negra del control de plagas”; aunque otros le llamaron la “época dorada de los insecticidas”. Se describen dos ejemplos que ilustran el uso desmedido de insecticidas.

En 1957 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) solicitó al congreso 2.5 millones de dólares para el control de la plaga forestal exótica conocida como palomilla gitana, *Lymantria dispar*, el plan era asperjar DDT con aviones en una superficie de tres millones de acres (1,214,056 hectáreas). Un mes después de iniciar la aspersión, los residentes afectados demandaron al USDA por consecuencias inmediatas de dicha aspersión, sus argumentos fueron muerte de peces, muerte de aves, contaminación de cultivos y animales de granja, lo que más llamó la atención fue que la leche de vaca estuvo contaminada con el DDT.

En 1958 el Congreso de Estados Unidos aprobó un programa de erradicación de la plaga que también tuvo un origen exótico, la hormiga de fuego “Fire Ant” *Solenopsis invicta* Buren, mediante la aspersión de granulados con base en dieldrin, clordano y heptaclor en 20 millones de acres (8,093,712 hectáreas), fueron insecticidas 20 veces más tóxicos que el DDT.

En ambos casos no se logró el objetivo de erradicación y ambas plagas continúan su expansión territorial hasta el presente. En el caso del DDT para 1993 se llegó al extremo de producir 1,800,000,000 kg en el mundo.

En 1962, Rachel Carson se basó en estos dos casos y otros para argumentar varios capítulos en su famoso libro “Silent Spring”, en donde revela los efectos catastróficos del DDT y otros clorados en humanos y en el ambiente, su libro dio origen al movimiento ambientalista que obligó al gobierno de Estados Unidos a legislar sobre esta materia (figura 3).

La polémica sobre el uso desmedido de insecticidas persistentes y de amplio espectro fue intensa en esos años, hasta que en 1972 se logró la prohibición del uso de DDT en Estados Unidos, de ahí se generalizó la prohibición en otros países.

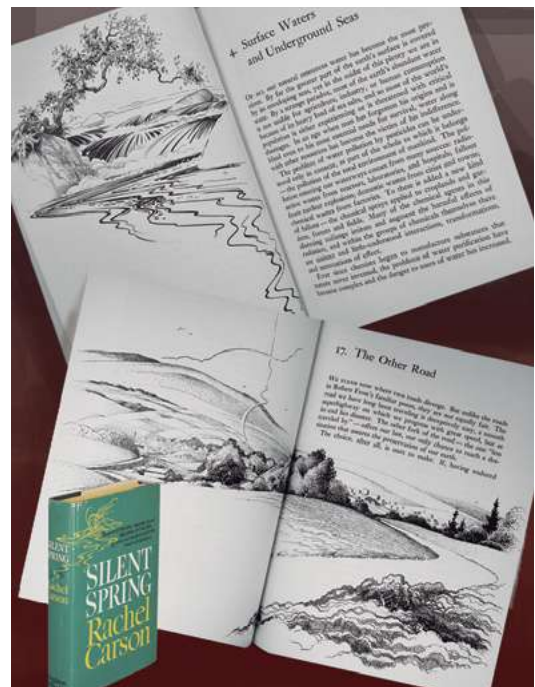


Figura 3. Primera edición del libro Silent Spring en 1962, bellamente ilustrado por la autora. (Fotocomposición: L. Arango)

Definición de Control Integrado y umbrales para la toma de decisiones

Como un resultado de los debates ocurridos durante más de 20 años, se establecieron las bases para una estrategia de control que incluyera tácticas alternativas a la aplicación de solo insecticidas químicos.

Stern *et al.* 1959 propusieron el término Control Integrado de Plagas (CIP) enfatizando el uso selectivo de insecticidas y estableciendo calendarios de aplicación que buscaban proteger a los enemigos naturales de las plagas a combatir, estos autores propusieron los conceptos de Daño Económico, Umbral Económico y Nivel de Daño Económico, todos fundamentales en el CIP y luego en el MIP. Pedigo 1996 y Toledo e Infante 2008 analizaron estos conceptos, un resumen es el siguiente:

- **Daño Económico** se define como “la cantidad de daño (lesiones en las plantas) que justifica el costo de las medidas de control.

- **Umbral Económico** indica “el número de insectos que justifica aplicar acciones de manejo”.
- **Nivel de Daño Económico** se refiere al “número mínimo de insectos que puede causar daño económico”.

Las acciones de control se hacen cuando se rebasa el umbral económico, el cual siempre está debajo del nivel de daño económico (figura 4).

De acuerdo a la definición de Stern *et al.* 1959, “El Control Integrado de Plagas es una estrategia que combina el control químico con el biológico, destaca que un insecticida se debe utilizar únicamente, cuando los agentes naturales de mortalidad son insuficientes y la plaga alcanza la densidad suficiente para causar pérdidas que están por arriba del costo de tratamiento; también se propone que los insecticidas que se deben utilizar, son aquellos que permitan la supervivencia de los enemigos naturales luego de su aplicación”.

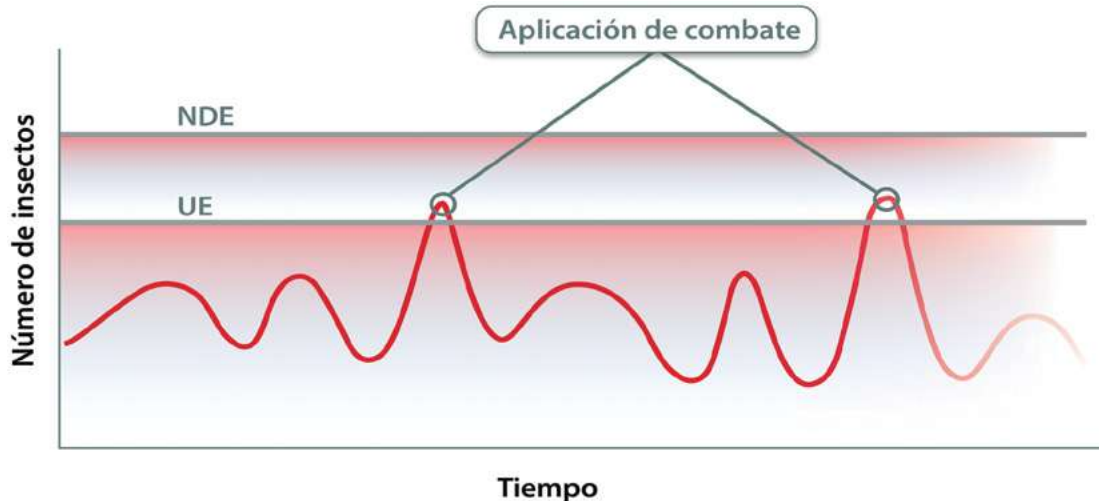


Figura 4. Relación entre Umbral Económico (UE) y Nivel de Daño Económico (NDE). Abajo del UE las pérdidas son menores al costo de aplicación de medidas de control o combate. Al nivel del UE, las pérdidas por los daños causados por los insectos son iguales al costo de tratamiento. Por arriba del NDE dichas pérdidas son mayores al costo de aplicación de tratamiento. Para evitar llegar hasta el NDE se aplica al momento de rebasar el UE. (Ilustración: E. Llanderal)

En la década de los 60 y los 70 este concepto CIP se utilizó ampliamente; sin embargo, conforme el tiempo pasó se fueron incorporando a los programas CIP, nuevos elementos como control cultural, factores climáticos, modelación de poblaciones y consideraciones sociales y políticas. Al final el Control Integrado de Plagas dio lugar al concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Definición de Manejo Integrado de Plagas (MIP)

Es un concepto que ha recibido enorme atención mundial, tan solo Bajwa y Kogan 2002 recopilaron 67 definiciones del concepto, las cuales se propusieron entre 1959 y 1998. Kogan 1998, en un intento por conciliar las múltiples definiciones revisadas propone la siguiente:

“El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es un sistema para apoyar decisiones sobre la selección y uso de las tácticas de control de plagas, únicas o armoniosamente coordinadas en una estrategia de manejo, basada en análisis costo/beneficio que toman en cuenta los intereses y los impactos sobre los productores, la sociedad y el ambiente”.

Una publicación reciente “Integrated Pest Management, Current Concepts and Ecological Perspective” de Abrol 2014 describe en un marco actual e internacional a los elementos del MIP.

En esta publicación se da mayor énfasis a métodos alternos a los insecticidas químicos, los cuales son descritos únicamente para control de especies invasoras, en cambio otros son tratados con mayor detalle como:

- Resistencia vegetal.
- Aplicación de sensores remotos en el MIP.
- Predicciones basadas en modelos climáticos.
- Papel de los semioquímicos en el MIP.

- Papel de los hongos, nemátodos, bacterias y virus entomopatógenos en el MIP.
- Enfoques biotecnológicos y moleculares.
- Organismos genéticamente modificados en el MIP.
- Extensionismo global.

En los sistemas agrícolas varios autores critican el sobreuso del término y concluyen que el MIP se ha aplicado como una justificación para que las empresas productoras de insecticidas puedan comercializar mejor sus productos.

Estos nuevos enfoques se pueden consultar en “Manejo Ecológico de Patosistemas (MEP)” de Romero Rosales 2010 (figura 5).

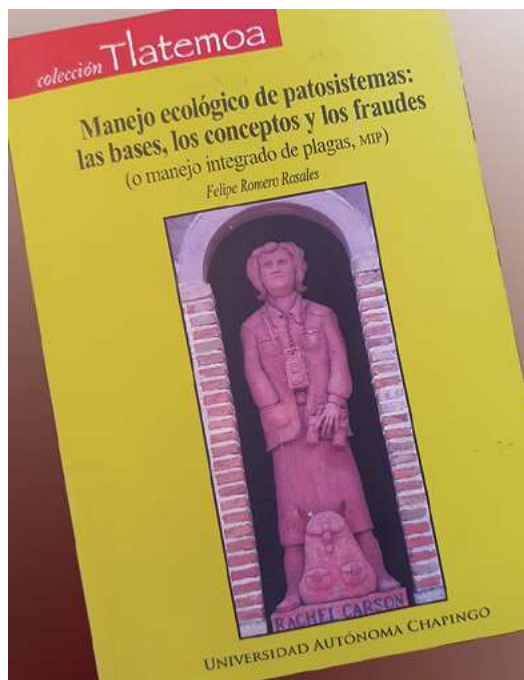


Figura 5. Portada del libro del Dr. Felipe Romero Rosales, ofrece un enfoque ecológico de la atención fitosanitaria de las plagas agrícolas. (Fotografía: D. Cibrián)

Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF)

Concepto de plaga forestal

Se acepta que plaga forestal por insectos es un **concepto estrictamente antropocéntrico**, sin bases ecológicas; sin embargo, para su manejo los principios ecológicos son fundamentales. **“Plaga forestal se refiere a una población que tiene el tamaño suficiente de insectos fitófagos para causar daños a valores asociados a los recursos forestales, estos valores pueden ser económicos, ecológicos, sociales o políticos. Los umbrales para calificar como plaga a una especie o especies de insectos, se basan en tamaños poblacionales o en impactos a los valores mencionados”.**

En México, en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable que entró en vigencia en 2018, el término “plaga forestal” se define como: forma de vida vegetal o animal o agente patógeno, dañino o potencialmente dañino para los recursos forestales (SEMARNAT 2018).

El concepto de insecto plaga forestal se ha revisado por muchos especialistas en el mundo, una versión que viene de la National Academy of Sciences (NAS) 1975 la describe como: “organismos que disminuyen el valor de los recursos en los cuales el hombre está interesado.

Reconoce que para que un insecto se clasifique como plaga forestal siempre debe estar asociado a un conjunto de objetivos de manejo y se debe tener un claro entendimiento de las funciones de ese organismo dentro del ecosistema, del cual forma parte.

Fundamentos del Manejo Integrado de Plagas (MIPF)

Desde un punto de vista forestal, las definiciones desarrolladas por Coulson y Witter 1984 y Coulson y Saarenmaa 2011 resultan muy útiles para enfatizar la planeación y operación del MIPF, tanto dentro del manejo forestal como del manejo del ambiente, tratándolos como un todo interrelacionado.

Estos autores definen al MIPF como **“el mantenimiento de poblaciones de agentes (insectos) destructivos a niveles tolerables mediante el uso planeado de una variedad de tácticas y/o estrategias preventivas, de supresión, o tácticas regulatorias que sean económica y ecológicamente eficientes y con aceptación social y política”.** Esta definición contiene cuatro puntos clave.

- El fundamento del MIPF mismo, son los principios ecológicos que lo rigen.

La metodología involucra una combinación de tácticas, es decir, técnicas acotadas cuyos objetivos son la prevención y eventualmente la supresión del crecimiento de una población; cuando combinadas, varias tácticas constituyen una estrategia para regular o modificar la distribución y la abundancia de una población. El objetivo funcional del MIPF, es reducir o mantener los niveles poblacionales de las plagas en niveles tolerables. Se utilizan valores económicos, ecológicos, sociales y políticos para juzgar cuales son esos niveles tolerables; este objetivo es uno de los más difíciles de cumplir, ya que se requiere de información especializada, que a su vez requiere inversión financiera difícil de obtener.

- El MIPF se debe ubicar perfectamente como un componente de la protección forestal, el cual

a su vez es un componente del manejo forestal y este forma parte del manejo ambiental; es decir, existe interrelación y consecuencia de los tres niveles.

Los autores de este libro proponemos el siguiente diagrama de flujo que describe al MIPF (figura 6).

Para atender, conocer, evaluar y realizar los cuatro puntos claves del MIPF, es necesario realizar los procesos consecutivos: diagnóstico (detección, identificación y evaluación), monitoreo, control y manejo. En los siguientes capítulos se presenta cada uno de los componentes del MIPF.

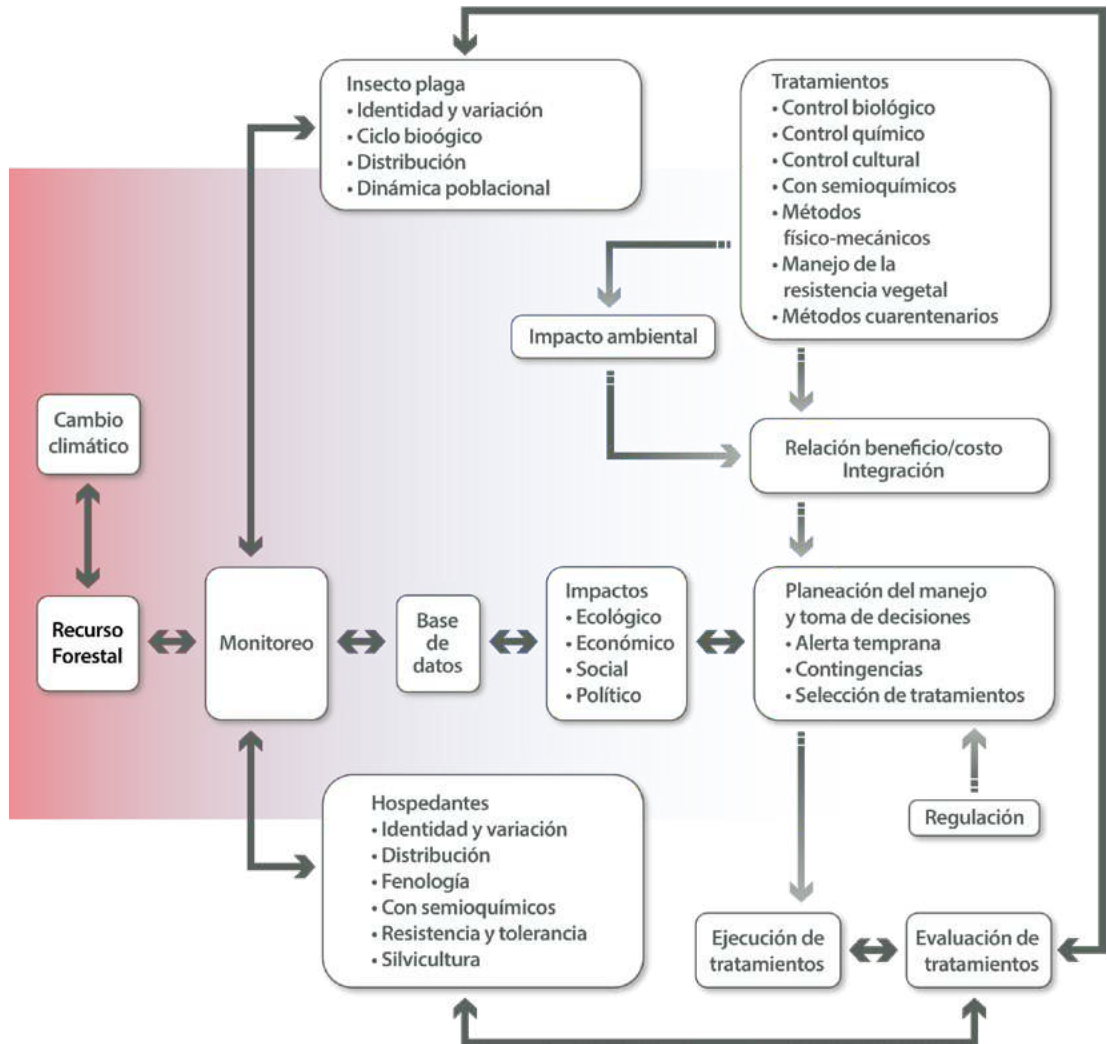


Figura 6. Estructura organizativa del Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF).
(Ilustración: E. Llanderal)

Sanidad Forestal y Manejo Integrado de Plagas

En México, la protección de los ecosistemas forestales contra el ataque de plagas y enfermedades es un problema público que demanda intervención gubernamental multilateral, en la que participan directamente instancias de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); así como la Secretaría de Desarrollo Rural (SADER) en forma transversal.

A nivel estatal y municipal existen dependencias coordinadas con las autoridades federales para atender contingencias fitosanitarias. Las acciones de todos quedan enmarcadas en el concepto de Sanidad Forestal.

Una definición oficial del concepto aparece en la reciente Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT 2018) que dice:

“Sanidad Forestal (SF) se refiere a las normas, lineamientos, medidas y procedimientos para la evaluación, detección, prevención, monitoreo y manejo integrado de plagas y enfermedades forestales”.

El proceso de **Saneamiento Forestal** se define como: las acciones técnicas encaminadas a evaluar, detectar, prevenir, controlar y combatir las plagas y enfermedades forestales.

Aunque en el concepto de Sanidad Forestal se incluyen insectos y patógenos, en este libro nos restringimos a los insectos, a la Entomología Forestal.

En la definición de Sanidad Forestal que aparece en la nueva ley forestal ya se menciona el concepto de manejo integrado de plagas (MIP), se redacta precedido de un conjunto de conceptos, que en parte lo definen.

Concepto de salud forestal

Aunque el MIPF ha tenido una enorme utilidad en el manejo de plagas en varios escenarios forestales, la complejidad y gran escala espacial de los ecosistemas forestales son un enorme reto para el desarrollo y una implementación completa de un MIPF exitoso. Aunado a ello, nuevos conceptos han salido a la luz, como el concepto de salud forestal, el manejo forestal sostenible y el manejo de ecosistemas (Mery *et al.* 2005) y esto ha llevado a una revisión de los principios del MIP forestal, el cual se centra eminentemente en plagas y no considera el sistema forestal como un todo (Alfaro y Langor 2016).

Estas nuevas perspectivas han derivado a su vez en el término “disturbios forestales”, que son definidos como eventos discretos en tiempo y espacio que interrumpen el desarrollo de sucesiones de un rodal forestal, ecosistema o paisaje, afectando la estructura de su población, cambiando recursos, la disponibilidad de sustratos, el ambiente físico y los procesos de regeneración y recuperación; las infestaciones por descortezadores o defoliadores son ejemplo de este tipo de disturbios (Attiwill 1994).

En los países desarrollados, el término “Integrated forest pest management” ha quedado incluido en “forest health” que es más amplio. En el idioma español estos términos se pueden traducir respectivamente a “manejo integrado de plagas forestales” y “salud forestal”.

El primero se reconoce en el contexto de “Sanidad Forestal” por agencias gubernamentales y programas oficiales (CONAFOR, México; INAB, Guatemala; ICF, Honduras). El término “salud forestal” ya se utiliza en el enfoque internacional, los conceptos de Sanidad Forestal y Manejo Integrado de Plagas forman parte de lo que se concibe como Salud Forestal (CCAD 2017).

En la actualidad, con las perspectivas y retos derivados del cambio climático, los recursos forestales comienzan a ser más apreciados como un “bien ecológico”, por su papel crucial en la dinámica del agua, como regulador de la temperatura y en la continuidad de otros recursos naturales. En tanto el papel como generadores de productos a vender o a usar, va siendo más consciente y medido y por ende más regulado. De hecho, la Declaración de Río (Naciones Unidas 2002) enfatiza la importancia de los ecosistemas, indicando que el mundo debe cooperar para conservar, proteger y restaurar la salud e integridad de los ecosistemas terrestres.

El concepto de Salud Forestal es difícil de definir ya que se puede referir a los ecosistemas naturales sin intervención humana o a los ecosistemas manejados por el hombre; el reto es que cubra exitosamente ambos contextos. (Alfaro *et al.* 2010, Alfaro y Langor 2016 y Macías Sámano 2018). Se han derivado varias definiciones de “salud forestal”, algunas de ellas implican la perspectiva humana y tienen un punto de vista utilitario, donde se buscan condiciones que directamente satisfagan las necesidades humanas (Castello y Teale 2011 y Teale y Castello 2011), otras únicamente parten de un punto de vista ecosistémico y se definen por procesos biofísicos que llevan a la sostenibilidad ecológica (Trumbore *et al.* 2015).

Otros autores han definido que un ecosistema es saludable cuando los distintos procesos y regímenes de disturbio operan dentro de los rangos históricos de variación (Attiwill 1994, Fule *et al.* 1997, Raffa *et al.* 2009) y ubican a la biodiversidad como una medida dependiente del funcionamiento adecuado del ecosistema (Lapointe *et al.* 2015).

La mayoría de las definiciones contienen los términos “resiliencia al cambio”, “productividad

sostenible” y “balance del ecosistema” (Kolb *et al.* 1994 y Kolb *et al.* 1995). Por ello, cuando se habla de salud forestal, instituciones internacionales como FAO, hacen énfasis en los términos “biodiversidad”, “sostenibilidad” y “manejo de ecosistemas” (Julve *et al.* 2017).

Manion y Griffith 2001, definen un ecosistema forestal como saludable, sostenible y maduro cuando mantiene una estabilidad de la relación entre estructura y tamaño, por medio del balance entre su crecimiento y su mortalidad.

Castello y Teale 2011 desarrollaron un diagrama (figura 7) donde muestran la complejidad y los posibles efectos ecosistémicos que ocurren en un bosque y su relación con la salud forestal.

Para la presente obra se ha decidido tomar la definición desarrollada por Saavedra 2017, basándose en las definiciones de Oliver 1980, Shigo 1986, Kolb *et al.* 1995, Bartuska 1996 y Raffa *et al.* 2009, y dice:

“Salud Forestal es la condición en la que el bosque tiene una alta capacidad de resiliencia y vitalidad, y donde los agentes abióticos y bióticos no amenazan los objetivos de manejo, para satisfacer las demandas actuales y futuras del hombre, en términos de valor ecológico, productos y servicios ecosistémicos”.

Como consecuencia de esta definición, para determinar y evaluar los aspectos de salud, es necesario tomar una visión integral que requiere un profundo conocimiento de la fisiología, ecología y los ecosistemas mismos (O’Laughlin *et al.* 1994 y Kolb *et al.* 1995) y, por ende, de la creación de grupos interdisciplinarios para el manejo de los ecosistemas, entre ellos, los bosques.

Considerando el estado del conocimiento de los ecosistemas forestales y en especial del manejo forestal en los países en desarrollo como México, sugerimos mantener separados los términos “manejo integrado de plagas forestales”

y “salud forestal”, ubicándolos en perspectivas económicas o ecológicas propias.

Estos dos conceptos pudieran estar ligados al tipo de escenario forestal a donde se quieran

aplicar y ser la base sobre la cual un organismo es evaluado como causante de un disturbio afectando o no un objetivo del manejo (Macías Sámano 2018).

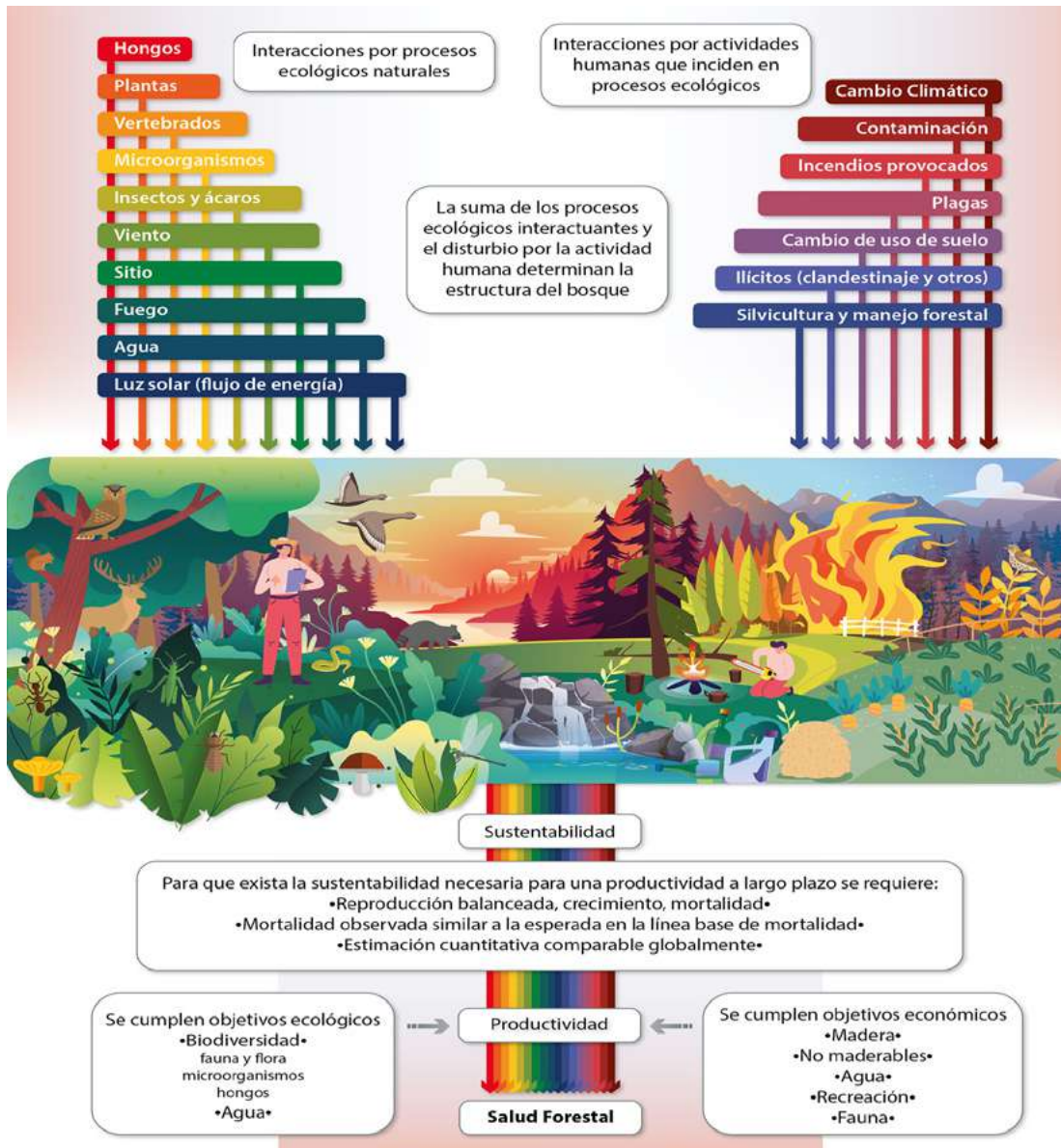


Figura 7. Procesos ecosistémicos y factores sociales que influyen en la estructura forestal que moldea la salud forestal (Infografía: E. Llanderal, modificada de Castello y Teale 2011)

HISTORIA DE LA ENTOMOLOGÍA FORESTAL EN MÉXICO

David Cibrián Tovar, Guillermo Sánchez Martínez, Jorge Enrique Macías Sámano, José Cibrián Tovar y Avelino B. Villa Salas



Figura 8. Dibujos 927 y 928 del jeroglífico de Chapultepec, Códice Boturini 9 y Códice Mendoza 34.3. Dibujos 929 y 9230, langostas del Códice Fejérváry-Mayer. (Redibujados por: L. Arango)

Revisar y analizar la historia de la entomología forestal en México permite poner en perspectiva el estado que guarda esta disciplina, respecto a los tiempos en que se empezó a emprender el estudio de los insectos forestales. Reconocemos que su desarrollo es relativamente reciente; se inició hace poco más de un siglo.

El antecedente escrito sobre este capítulo lo realizó Rodríguez Lara en 1990, quién hizo una revisión histórica de la entomología forestal en México, por lo cual, partimos de esta información enriqueciéndola con otras fuentes.

La presentación la hacemos por periodos, en un principio de varias décadas, luego resaltamos lo ocurrido por década consecutiva.

Periodo 1870-1899

La publicación “La Naturaleza” fue el órgano de difusión de la Sociedad Mexicana de Historia Natural y en ella se publicaron artículos sobre biología, comportamiento y morfología de insectos en general, existiendo casos anecdóticos de algunos insectos observados en árboles (Herrera 1891).

Heinemann 1876, estudió los órganos luminosos de los cocuyos de Veracruz, y entre sus relatos menciona que la larva de estos insectos vive en la madera podrida que abunda en los bosques, aunque en general habitan las zonas más cálidas tales como las costas.

Por su parte Dugés 1876, estudió la metamorfosis y morfología de un coleóptero identificado como *Strategus julianus* Burmeister de la familia de los Lamelicorneos (ahora Scarabeidae), cuya larva se cría en los troncos de encino en bosques del estado de Guanajuato (figura 9).



Figura 9. Ilustración de Alfredo Dugès, características morfológicas de *Strategus*, *Phyllophaga* y la chinche *Pachylis* en la parte inferior. (Publicación “La Naturaleza”)

Otras anécdotas son proporcionadas por Núñez Ortega 1886, quien cita que desde mediados del Siglo XVI se conocía la existencia de gusanos de seda en encinos y madroños; hace alusión a la elaboración de piezas de tela por indígenas en varias sierras de Michoacán, de Guerrero y de la Mixteca de Oaxaca; testificado por Fray Toribio Benavente quien dijo observar gusanos de seda naturales que se criaban en los árboles, antes de la introducción del gusano de seda procedente de China. Por su parte, Alemán 1886, hizo observaciones biológicas sobre la mariposa del madroño describiendo las larvas y las bolsas en que se refugiaban (figura 10).



Figura 10. Ilustración de A. Herrera (Hijo). Gusano de bolsa del madroño *Eucheira socialis*, insecto reconocido a finales del siglo XIX. La bolsa se utilizó como papel de escritura y las larvas como alimento humano. (Publicación "La Naturaleza")

A finales del siglo XIX, Blandford 1897 describió cientos de especies de Scolytinae. Por otra parte, Waterhouse 1882-1887 describió casi 300 especies de Buprestidae.

Como puede observarse, los estudios realizados en el Siglo XIX, por miembros de la Sociedad

Mexicana de Historia Natural, son reportes generales de la existencia de ciertos insectos observados en árboles, o bien hicieron estudios morfológicos y de biología básica, por mera y genuina curiosidad científica.

Los autores de publicaciones entomológicas además escribían de biología, zoología y botánica. Sin embargo, es a principios del Siglo XX, cuando se comienza a estudiar con mayor profundidad a los insectos que habitan específicamente en el bosque y que llaman la atención por causar la muerte de árboles.

1900-1909

En la primera década del siglo XX, estuvo en funciones la Comisión de Parasitología Agrícola ubicada en la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria. Esta Comisión incluyó en sus funciones el estudio de plagas y enfermedades que afectaban los bosques; en 1905 publicaron en la circular 29 "Insectos Destructores de los Bosques"; además aparecieron los artículos de Herrera 1905 sobre insectos de importancia forestal.

La Junta Central de Bosques y Arbolados fue la primera de las instituciones creadas por Miguel Ángel de Quevedo en 1901. Estableció además en 1908, las escuelas de guardas forestales en Santa Fe, Coyoacán y Tlalpan.

Hopkins 1905, publicó artículos describiendo especies de Scolytinae y Riquelme 1906 sobre plagas del sauce.

Según Perry 1951, existen registros de muerte de pinos en áreas extensas del centro de México, ocurridas en 1903, al grado a que el Gobierno de México invitó a Sylvio J. Bonansea, (Médico veterinario italiano) a investigar los insectos que causaban la mortalidad de pinos en los Estados de México, Morelos y Michoacán, de sus estudios, envió muestras a A. D. Hopkins del Buró de Ento-

mología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), a partir de los cuales este último describió a *Dendroctonus mexicanus* Hopkins e *Ips bonanseai* Hopkins como nuevas especies, y reportó la presencia de *Dendroctonus parallelocollis* Hopkins en el Estado de Michoacán (Hopkins 1905 y Perry 1951).

1910-1919

En esta década hubo menos información. Los movimientos sociales y revolucionarios fueron intensos y dejaron poco espacio a la investigación y publicación de resultados; sin embargo, Bonansea, en 1914, publicó su trabajo sobre “La plaga de los ocotes y la conservación de los bosques de los Estados Unidos Mexicanos” en el último fascículo del periódico científico La Naturaleza (citado por Beltrán, s/f). Riquelme 1911 publicó un estudio de los insectos que defolían los sauces.

Miguel Ángel de Quevedo formó la Escuela Nacional Forestal (González Pérez 2001) e implantó la enseñanza de Entomología Forestal (Riquelme Inda 1961). También impulsó la forestación de la Ciudad de México (figura 11).

1920-1929

A instancias del Ing. Miguel Ángel de Quevedo la Sociedad Forestal Mexicana (SFM) se constituyó el 11 de noviembre de 1921. Un año después, empezó a publicar su órgano de difusión: la Revista México Forestal (figura 12).

Riquelme 1924a, 1924b, 1925a, 1925b y 1925c publicó varios escritos sobre insectos de importancia forestal.

En 1924 se publicó la Ley de Plagas de los Estados Unidos Mexicanos, que incluyó la vegetación forestal y estableció un principio de medidas cuarentenarias para prevenir la entrada a México de plagas de otros países.



Figura 11. Miguel Ángel de Quevedo (sexto abajo de izquierda a derecha), quien fuera criticado por su interés científico en la conservación forestal del país y principal impulsor de las áreas verdes urbanas a principio del siglo XX, junto con forestales franceses y mexicanos. (Cortesía de Lorena Martínez González)



Figura 12. Revista “México Forestal” órgano de difusión de la Sociedad Forestal Mexicana.

1930-1939

Riquelme 1930, 1933a, 1933b y 1934 publicó artículos sobre insectos forestales en las revistas México Forestal y La Naturaleza.

En este periodo es de destacar la aportación de Ignacio Hernández Olmedo (Hernández 1930) con su publicación “Un Tenthredinido nocivo de los pinos del Estado de Michoacán”, haciendo referencia al primer reporte de moscas sierra de los pinos, lo llamó *Neodiprion vallicola*, ahora sinónimo de *Zadiprion falsus* Smith.

1940-1949

La única publicación relevante fue de Schedl 1940, es un estudio taxonómico de Scolytinae, en un trabajo que reunió 51 géneros y 194 especies, a partir de los escolítidos recolectados por Dampf de 1924 a 1928.

1950-1959

En esta década se tuvo la participación de una misión de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

El producto más sobresaliente de esta década fue el Informe Hartig 1954, sobre Entomología Forestal, financiado por el Banco de México. El

Dr. Fred Hartig, condujo el proyecto con el objetivo de estudiar y organizar la protección de los bosques de México contra la invasión de insectos y hongos causantes de enfermedades. Los objetivos para cubrir esta misión fueron:

- Estudiar y examinar los trabajos de entomólogos mexicanos, para determinar en conjunto con ellos las especies de insectos de mayor importancia como plagas y contra las cuales se deberían desarrollar medidas preventivas.
- Realizar estudios especiales de cada una de las plagas principales y de las condiciones de evolución de las infestaciones y organización de las medidas combativas.
- Realizar entrenamiento de especialistas del país para continuar este trabajo.
- Preparar para el gobierno de México, un proyecto de organización de un servicio de protección forestal contra la invasión de insectos y enfermedades, así como un servicio de administración central; un servicio de extensionismo, localización y combate de invasiones.
- Un marco de legislación.
- Creación de un programa de investigación y establecimiento de laboratorios.

Como consecuencia de la visita se hicieron ocho recomendaciones para organizar la atención gubernamental sobre las plagas y patógenos de importancia forestal:

- El Servicio Forestal Mexicano se deberá reorganizar y reforzar. Con ello se podrán solucionar los problemas entomológicos y mediante la aplicación de métodos racionales de silvicultura y ordenación se podrá restaurar el equilibrio de la naturaleza, reduciendo la predisposición del bosque hacia el ataque de las plagas.
- Deberá atenderse la conservación de los bosques actuales. En esta recomendación se sugirió reducir al mínimo la repoblación y la planta-

ción de árboles hasta que sea posible conservar adecuadamente los bosques existentes y se hayan hecho las investigaciones necesarias para que se planten especies adecuadas a los sitios de plantación.

- El aparato administrativo deberá estar en condiciones de tomar todas las medidas urgentes necesarias contra las epidemias. Recomendando acelerar los trámites administrativos, de tal manera que fuera posible realizar inmediatamente cortas urgentes de saneamiento.
- Crear un programa inmediato para poner en práctica protocolos de reconocimientos, estudios, levantamiento de mapas, investigaciones y recopilación de datos y análisis.
- Contratar transitoriamente personal extranjero hasta que se disponga de personal mexicano calificado.
- Realizar el proyecto de una organización permanente de lucha contra enfermedades y plagas.
- Organización de un instituto permanente de investigaciones.
- Capacitación en Entomología a todas las categorías de personal del Servicio Forestal Mexicano.

Estas recomendaciones se incluyeron en el informe de 1954, y es posible que influyeran para que en noviembre de 1958, en los últimos días de su gobierno, el presidente Adolfo Ruiz Cortines inaugurara las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), ubicadas en la avenida Progreso Núm. 5 en Coyoacán, en un terreno anexo al Vivero Central de Coyoacán, de la entonces Dirección General Forestal y de Caza, de la Secretaría de Agricultura y Ganadería. Las instalaciones del recién creado INIF permitieron contar con un Departamento Tecnológico y un Departamento de Silvicultura y Suelos,

en este último se estableció el primer Laboratorio de Plagas y Enfermedades (Villa-Salas 2018).

Verduzco 1958, analizó el problema de cómo atender la Sanidad Forestal en México, ya que los insectos descortezadores de pinos causaron severos ataques en el centro del país.

En 1958 se estableció la Comisión Forestal de América del Norte (COFAN), ésta es una de seis Comisiones Forestales Regionales establecidas por la FAO; el objetivo fue crear un foro técnico para que los países discutan y analicen temas forestales sobre una base regional.

En 1959 comienzan a tomar importancia las cortas de saneamiento para el combate de insectos descortezadores de pino.

1960-1969

En esta década ya hubo varias actividades importantes en el estudio de los Insectos forestales de México. En 1960 se publicó una nueva Ley Forestal, y su reglamento en 1961; en ambos documentos se estableció la obligación que tienen los dueños y poseedores de predios boscosos para prevenir y combatir las plagas y enfermedades que se presenten en los mismos. Desde entonces, la ley forestal se ha modificado varias veces.

La COFAN celebró su primera reunión en la Ciudad de México en julio de 1961 (COFAN 2012). Desde entonces se reúne bianualmente, rotando la sede entre los tres países. Apoya la creación de grupos de estudio que desarrollan investigación y actividades de manejo sostenible de recursos forestales. "El Grupo de trabajo sobre insectos, enfermedades y plantas invasoras de los bosques" se creó durante la primera sesión en 1961 con el objeto de fomentar la protección de los bosques de América del Norte a través de:

- La prevención y la erradicación de enfermedades e insectos invasores.

- El mantenimiento y el mejoramiento de la salud de los bosques y de los árboles.

En 1962 en Ottawa, Canadá, este Grupo de estudio tuvo su primera reunión, estableciendo la cooperación internacional entre los tres países miembros de la Comisión: Canadá, Estados Unidos y México con los siguientes objetivos:

- Definir los problemas de entomología y patología forestal más importantes y de interés mutuo para dos o varios países miembros, presentando para cada problema un resumen sobre la distribución de las plagas y enfermedades, hospedantes correspondientes, descripción de los daños, consecuencias actuales y futuras, medidas de lucha e investigaciones necesarias.
- Enunciar los principios para el establecimiento de cuarentenas, analizar la legislación en vigor en los países miembros y estudiar los procedimientos susceptibles de mejoramiento, con recomendaciones encaminadas a tal fin.
- Intercambiar información relativa a la presencia de insectos y enfermedades, a los estudios biológicos, a los programas de lucha experimental y efectiva, procediéndose a este intercambio lo antes posible con vistas al estímulo de la colaboración en problemas de interés recíproco para dos o más países miembros.

Los representantes de los países miembros en esta primera reunión del Grupo de Trabajo en cuestión fueron:

- **Canadá**- M. L. Prebble, Director de la Sección de Entomología y Patología Forestal, Departamento de Montes; V. J. Nordin, Director adjunto de la misma sección (Patología), y C. W. Farstad, Director de Protección Fitosanitaria, Departamento de Agricultura.
- **México**- Raúl Rodríguez Lara, Sección de Entomología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, y Humberto Moreno Noriega, Jefe

del Departamento de Sanidad Forestal, Dirección de Protección Forestal.

- **Estados Unidos**- J. A. Beal, Director de Investigaciones Entomológicas, Servicio Forestal de los Estados Unidos; J. R. Hansbrough, Director de Investigaciones Patológicas, Servicio Forestal de los Estados Unidos; W. V. Benedict, Director de Lucha contra Plagas, Servicio Forestal de los Estados Unidos; y E. P. Reagan, Director de la Sección de Cuarentenas, Servicio de Investigaciones Agronómicas, Secretaría de Agricultura, Estados Unidos.

Un primer producto trascendente de este grupo de trabajo fue la publicación "Important Forest Insects and Diseases of Mutual Concern to Canada, the United States and Mexico" (figura 13).

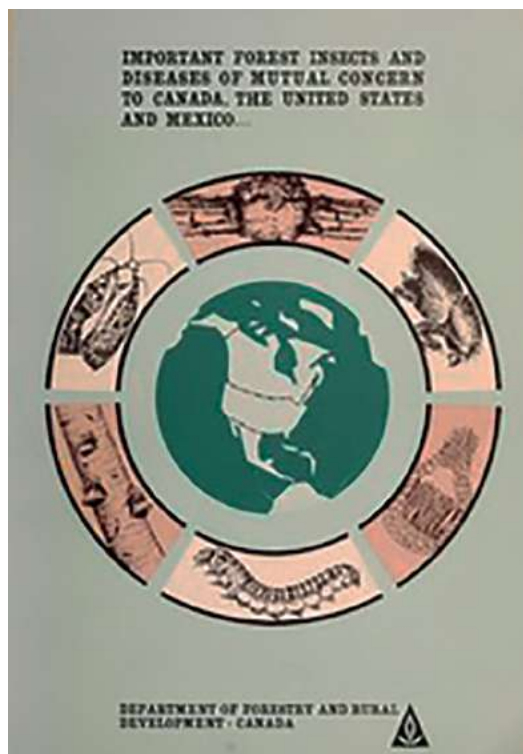


Figura 13. Portada de la publicación "Important Forest Insects and Diseases of Mutual Concern to Canada, the United States and Mexico".

Este grupo de estudio ha permanecido a través del tiempo, 50 reuniones anuales, una vez en cada país con logros relevantes de cooperación internacional.



Figura 14. Ing. Raúl Rodríguez Lara. Uno de los primeros parasitólogos forestales de México.

En el INIF, Rodríguez Lara 1958, 1961, 1966, 1968 y 1970 publicó varios artículos sobre insectos defoliadores del oyamel y sobre insectos descortezadores de pino (figura 14).

En 1961 Federico Islas Salas se incorporó al Laboratorio de Entomología, su trabajo fue sobre la detección y el combate de varios descortezadores de pinos del género *Dendroctonus*.

En 1969 la estructura organizacional y operativa del INIF se definió creando el Departamento de Silvicultura y Ordenación de Bosques con las Secciones de Silvicultura, Ordenación de Bosques y Protección Forestal, dentro de esta última se tuvieron a los Laboratorios de Entomología Forestal y de Patología Forestal, el primero bajo el mando del Biol. Federico Islas Salas quién ya venía desarrollando investigaciones sobre descortezadores de pinos (Islas-Salas 1968).

1970-1979

En varias instituciones de enseñanza e investigación se incrementó la actividad de investigación de Entomología Forestal.

En el INIF Federico Islas Salas, continuó publicando artículos sobre insectos descortezadores (Islas-Salas 1974 y Burgos-Martínez, Islas-Salas y Villa-Salas 1975).

En 1972, en la entonces Escuela Nacional de Agricultura, David Cibrián Tovar empezó a formar el Laboratorio de Entomología Forestal, el cual se enriqueció con la llegada de José Cibrián Tovar en 1974, de Rodolfo Campos Bolaños en 1976 y de José Tulio Méndez Montiel en 1980. En 1976 David Cibrián Tovar se incorporó al equipo de preparación y redacción del libro "Cone and Seed Insects of North American Conifers" conducido



Figura 15. Equipo de trabajo del libro "Cone and Seed Insects of North American Conifers". (De izquierda a derecha) Alan F. Hedlin, Edward P. Merkel, David Cibrián Tovar, Thomas W. Koerber, Harry O. Yates y Bernard H. Ebel. (Fotografía: USFS, marzo de 1976)

por Alan F. Hedlin del Servicio Forestal Canadiense (figura 15). Este libro fue el primero a nivel mundial que atendió el problema que causan los insectos en la producción de semilla forestal. En esta década el apoyo de Malcolm M. Furniss, del Servicio forestal de Estados Unidos (figura 16), fue importante para los jóvenes entomólo-

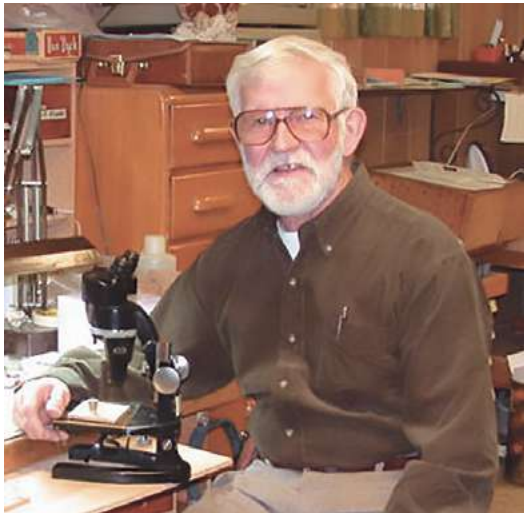


Figura 16. Malcolm M. Furniss.
(Fotografía: USFS)

gos de Chapingo. Realizaron recorridos de inspección en el norte de México y noroeste de Estados Unidos, sus colectas de descortezadores fueron identificadas por Stephen L. Wood. De 1979 a 1984 Thomas H. Atkinson desarrolló trabajos de taxonomía de Scolytinae en el Colegio de Postgraduados, luego regresó a Estados Unidos, pero siguió trabajando con colegas mexicanos (figura 17).



Figura 17. Thomas H. Atkinson.

En materia regulatoria en 1974 se publicó la Ley Federal de Sanidad Fitopecuaria y en uno de sus capítulos trató de la Sanidad Vegetal en el ramo forestal, describiendo actividades de detección, investigación y ejecución de tratamientos de prevención y control.

A partir de 1976, El Departamento de Sanidad Forestal de la Subsecretaría Forestal y de la Fauna, fue conducido por Francisco Martínez González, tuvo apoyo de parte de Cuauhtémoc Cárdenas Solórzano, entonces subsecretario del ramo, quien aprobó la contratación de 60 técnicos que operaron proyectos de diagnóstico y atención fitosanitaria en diez regiones del país, (figura 18).



Figura 18. Francisco Martínez González (Izq.) con Federico Islas Salas. (Fotografía: INIF)

1980-1989

En este periodo hubo un avance sustantivo en la institución federal encargada de la Sanidad Forestal.

El Departamento de Sanidad Forestal tuvo el soporte de Avelino B. Villa Salas, subsecretario forestal entre 1980 y 1982, quién ratificó a Francisco Martínez González que a su vez se apoyó en jóvenes entusiastas como Juan Antonio Olivo Martínez, Fernando Castillo Tristán, Everardo Sánchez Camero y Leticia Sánchez Zepeda.

Entre 1983 y 1985, León Jorge Castañón tuvo a su cargo la Subsecretaría Forestal. Adán Peralta



Figura 19. (De izquierda a derecha) Jorge Macías Sámano y José Cibrián Tovar.

Durán dirigió el Departamento de Sanidad Forestal, con él colaboraron: José Cibrián Tovar, Jorge Macías Sámano, Alejandro Camacho Vera y Arnulfo Ruíz González entre otros (figura 19). A finales de 1985, el Departamento de Sanidad Forestal se trasladó como Dirección de Área a la Dirección General de Protección Agropecuaria y Forestal en la Secretaría de Agricultura. Adán Peralta continuó a cargo y sus subdirectores fueron José Cibrián Tovar y Reyes Bonilla Beas. Este cambio de Secretaría se mantuvo hasta 1989, en que regresó como Dirección de Sanidad Forestal a la Dirección General de Protección Forestal y Fauna Silvestre.

En varias universidades surgieron grupos de investigación y algunos se mantienen vigentes.



Figura 20. Jaime Flores Lara.

En la Universidad Autónoma de Nuevo León, Jaime Flores Lara estableció el Laboratorio de Entomología Forestal (figura 20), que luego fue continuado por Gerardo Cuéllar.

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Jorge David Flores Flores estableció un equipo de investigación de Insectos forestales y se hizo cargo de la docencia en esta materia (figura 21).



Figura 21. A la derecha Jorge David Flores Flores con estudiantes en la UAAAN.

En la Universidad Autónoma Chapingo, el grupo de entomólogos se reforzó con la participación de Bernard H. Ebel y Harry O. Yates III especialistas en insectos de conos y semillas.

En el INIF (actualmente INIFAP), Raúl Muñoz Vélez ingresó para coordinar la investigación de Entomología Forestal (Muñiz-Martínez 2008).

De 1981 a 1985, María Eugenia Guerrero y María del Consuelo Pineda Torres desarrollaron investigación de insectos forestales de la región central de México, después formaron parte de la Dirección de Sanidad Forestal en la Subsecretaría Forestal.

Por su parte, Josefina Castro Castañeda hizo el primer estudio de moscas sierra en Chihuahua; Jaime Villa Castillo ingresó en 1981 al INIF, continuó con el trabajo de Federico Islas Salas y de Víctor Ascencio Cerda. Poco después Guillermo

Sánchez Martínez se incorporó al grupo de investigadores, iniciando sus primeras investigaciones en insectos descortezadores en el estado de Chihuahua.

En el Colegio de Postgraduados, Armando Equihua Martínez inició su investigación formando el laboratorio de Entomología Forestal.

En 1980, David Cibrián Tovar organizó el Primer Simposio Nacional de Parasitología Forestal, se realizaron ediciones consecutivas en 1982 (figura 22), 1984, 1987 y 1989, David Cibrián Tovar, Avelino B. Villa Salas, Rodolfo Campos Bolaños y Jorge David Flores Flores, fueron los principales organizadores en esta década.



Figura 22. Durante el viaje de campo del II Simposio Nacional de Parasitología Forestal en 1982. (De izquierda a derecha) Malcolm M. Furniss, Thomas Atkinson, David Cibrián Tovar, Jaime Flores Lara, Stephen L. Wood, María Elena Pérez López, Cesar Martín Cantú Ayala y William F. Barr.

Las memorias de los trabajos presentados en estos y los siguientes eventos están disponibles en la página www.redtematicasaludforestal.com. En este periodo anualmente se hicieron reuniones del Grupo de Estudio de Insectos y Enfermedades Forestales de la Comisión Forestal de América del Norte (FAO), alternando la sede entre los tres países miembros (figura 23). También se llevaron a cabo reuniones nacionales de investigación en Sanidad Forestal por parte del INIF-INIFAP.



Figura 23. Reunión de campo de las delegaciones de COFAN, Canadá, Estados Unidos y México, en Durango, México. Entre los asistentes se reconocen a: (1) Ignacio Vásquez Collazo, (2) José Cibrián Tovar, (3) David Cibrián Tovar, (4) Thomas Bridges, (5) Benjamin Moody, (6) Jaime Flores Lara, (7) Jesús Cota y (8) Ignacio Carbajal Vera. (Reunión en 1987)

1990-1999

Se mantuvieron los grupos de investigación mencionados y se crearon algunos adicionales.

En el sector oficial, la Dirección de Sanidad Forestal operó bajo el mandato de Reyes Bonilla Beas hasta 1993. En ese tiempo hubo un nuevo arreglo, se formó la Dirección General Forestal y la Sanidad Forestal quedó como Subdirección al mando de José Cibrián Tovar hasta 1998 y de Rubén Gutiérrez Rodríguez de 1998 a 2000. El Centro Nacional de Referencia en Sanidad Forestal (SEMARNAP-SEMARNAT) se creó al final de esta década.

Los grupos de investigación en insectos forestales se fortalecieron en el Colegio de Postgraduados con Armando Equihua Martínez; en el Instituto Politécnico Nacional con Gerardo Zúñiga Bermúdez y Alejandro Camacho Vera; en el Colegio de la Frontera Sur con Jorge Macías Sámano; en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con David Flores Flores; en la Universidad Autónoma Chapingo con David Cibrián Tovar,

Rodolfo Campos Bolaños y José Tulio Méndez Montiel; en la Universidad de Guadalajara con Antonio Rodríguez Riva; en la Universidad Michoacana con Adolfo del Río Mora y en la Universidad de Nuevo León con Jaime Flores Lara.

El Simposio de Parasitología Forestal se realizó en 1991, 1993, 1995, 1997 y 1999; Jaime Flores Lara, José Cibrián Tovar, María Eugenia Guerrero Alarcón, Armando Equihua Martínez, David Flores Flores, Oscar Cedeño Sánchez y Rubén Gutiérrez Rodríguez fueron importantes miembros de los comités organizadores.

El primer libro respecto a Insectos Forestales de México/Forest Insects of Mexico (Cibrián *et al.* 1995), fue realizado con apoyo de los servicios forestales de los tres países miembros de la COFAN, y la Universidad Autónoma Chapingo, con la participación de David Cibrián Tovar, J. Tulio Méndez Montiel, Rodolfo Campos Bolaños, Harry O. Yates III, Jaime Flores Lara y Leticia Arango Caballero (figura 24).



Figura 24. (Izq. a der. arriba) J. Tulio Méndez Montiel, David Cibrián Tovar, Rodolfo Campos Bolaños y Jaime Flores Lara; (izq. a der. al frente) Leticia Arango Caballero y Harry O. Yates III.

A nivel estatal hubo entomólogos que recibieron apoyo; por ejemplo, en Probosque (Protectora de Bosques del Estado de México) Julio Hernández Gutiérrez y Ludivina López Soto continuaron los trabajos de Sanidad emprendidos por José Cruz Mercado Bastida.

En Jalisco, en el Fideicomiso de Producción y Desarrollo Forestal (FIPRODEFO) Gloria Íñiguez Herrera logró conformar un equipo de trabajo en sanidad.

En una nota informativa Villa Salas 2001, resume las actividades de inspección fitosanitaria en las plantaciones de eucaliptos de rápido crecimiento del sureste de México; registra las visitas de los entomólogos David Cibrián Tovar y José Cibrián Tovar en 1997 y 1998 y de los forestales William E Ladrach, Charles Hodges y John Kleijunas en 1998. Todos revisando las infestaciones cada vez más severas de los defoliadores de eucaliptos.

2000-2009

En el 2000 entró a México, desde el sur de California, el psílido *Glycaspis brimblecombei* Moore, plaga de los eucaliptos rojos, la infestación se propagó rápidamente por todo el país, generando un severo impacto en la salud de los árboles y un cambio en la política de uso de los eucaliptos en México. En un esfuerzo combinado entre la Universidad de California-Berkeley, la Universidad Autónoma Chapingo, el INIFAP, la SEMARNAT y los gobiernos del Distrito Federal, Jalisco y Michoacán, desarrollaron un programa de control biológico clásico en México, con la importación del parasitoide *Psyllaephagus bliteus* Riek que, seleccionado por Donald Dahlsten de un conjunto de parasitoides nativos australianos, fue traído de Australia a Estados Unidos y posteriormente a México para que simultáneamente fuese liberado en Guadalajara, Jal. y en la

Ciudad de México; poco después se liberó en otras regiones del país. El parasitoide logró un exitoso control de la plaga. Participantes de este programa fueron Donald Dahlsten, Emilio Caltagirone, David Cibrián Tovar, Leticia Arango Caballero, Gloria Íñiguez Herrera, Teresa Cantoral Herrera, José Cibrián Tovar, Víctor Javier Arriola Padilla, Abel Plascencia González, Ivón López Pérez y Javier Arcos Roa; un resumen se encuentra en Cibrián 2015. Para el marco jurídico de atención del psílido se tuvo la Norma Oficial Mexicana NOM-142-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003).

En la SEMARNAT hubo un arreglo institucional importante, en las oficinas centrales quedó la Dirección de Sanidad Forestal con funciones de normatividad y aplicación de regulación vigente, de 2001 a 2004 bajo el mandato de José Cibrián Tovar, en 2005 de María Eugenia Guerrero Alarcón, de 2005 a 2008 de Juan José Jiménez Zacarías y de 2009 a 2018 de Gustavo González Villalobos.

En 2004 se publicó la segunda Norma Oficial Mexicana relacionada con la Sanidad Forestal, fue la NOM-013-SEMARNAT-2004 (SEMARNAT 2004), que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales; en versiones subsecuentes esta norma se ha ido actualizando.

En 2008, se publicó la NOM-019-SEMARNAT-2006 (SEMARNAT 2008), que establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores; también en versiones subsecuentes se ha logrado su actualización.

En 2001 se creó la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y una de sus gerencias fue la de Sanidad Forestal con funciones operativas con Jaime Villa Castillo (figura 25) como gerente de Sanidad, quién se mantuvo en esa posición de 2001 a 2014. En los primeros años de su creación la CONAFOR

operó con 12 gerencias regionales; por lo que en el periodo 2006-2009, con José Cibrián Tovar como Director General (figura 26), se crearon las gerencias estatales, lo que permitió precisar la cobertura en la atención de los temas forestales, entre ellos el de Sanidad Forestal, estableciendo una unidad en cada estado y reforzándose en algunas oficinas estatales de Sanidad Forestal, por ejemplo, PROBOSQUE, en el Estado de México, COFOM en Michoacán y FIPRODEFO en Jalisco.



Figura 25. Jaime Villa Castillo primer gerente de Sanidad Forestal en la CONAFOR.

En este periodo se constituyeron los Comités Estatales de Sanidad Forestal y con ello se logró una atención más integrada de los problemas causados por plagas. Jaime Villa Castillo logró cohesionar un importante grupo de enlaces de Sanidad Forestal, miembros destacados fueron: Juan Antonio Olivo Martínez, Sergio Quiñonez Barraza, Fernando Castillo Tristán, Laura Monreal, Beatriz Gracia Franco, Milton Moguel Hernández, Marco Antonio Astudillo, Claudia Cocom Bolio, Lizbeth Novelo Esquivel, Francisco Bonilla Torres y Carlos Alberto Magallón Morineau.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) se hizo cargo de la vigilancia de ejecución de notificaciones de saneamiento forestal.



Figura 26. José Cibrián Tovar durante la representación de México en la Comisión Forestal de América del Norte.

En el ECOSUR, en el 2002 Jorge Macías Sámano formó el laboratorio de ecología de insectos forestales que funcionó hasta el 2011.

En 2001, 2003, 2005, 2007 y 2009 se realizaron ediciones del Simposio Nacional de Parasitología Forestal; José Cibrián Tovar, Jaime Villa Castillo, Jorge Enrique Macías Sámano, Guillermo Sánchez Martínez, Ernesto González Gaona y Armando Equihua Martínez participaron como responsables principales de los comités de organización respectivos.

Entre 2007 y 2008, con el auspicio de la CONAFOR, se realizó un primer diagnóstico fitosanitario en los Viveros Forestales de México, resultando la publicación digital "Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma, y planta producida en viveros".

En el diagnóstico se visitaron 119 viveros a largo de todo el país. Participaron en la parte entomológica David Cibrián Tovar, Silvia Edith García Díaz, Bonifacio Don Juan Macías, Víctor David Cibrián Llanderal, Alan Burke Roco y Leticia Arango Caballero.

En el INIFAP, durante este periodo se fomentó la investigación en campo sobre el uso de semioquímicos para el trampeo de insectos descortezadores, así como el estudio de moscas

sierra de coníferas (Hymenoptera: Diprionidae), y los insectos exóticos *Glycaspis brimblecombei* y *Maconellicoccus hirsutus* (Green); estableciéndose la colaboración con las entomólogas del Servicio Forestal de los Estados Unidos, Nancy E. Gillette, Sylvia Mori y Constance J. Mehmel.

Alfredo Sánchez Salas, Luis Mario Torres Espinosa, Ernesto González Gaona, Raúl Narvárez Flores y Guillermo Sánchez Martínez hicieron aportaciones sobre los periodos de vuelo de especies de insectos descortezadores en el norte y centro de México (figura 27).



Figura 27. Dr. Guillermo Sánchez Martínez.

Guillermo Sánchez Martínez y Ernesto González Gaona, con la colaboración de David R. Smith del Smithsonian Institute, Washington DC, comenzaron a documentar nuevos reportes de especies de diprionidos para esta región, incluyendo la descripción de una nueva especie que afecta a *Juniperus flaccida* Schlechtendal (Sánchez y González 2007, Smith *et al.* 2010), y en colaboración con Aijun Zhang del USDA-ARS validaron una feromona sexual con la que se mapeó la distribución de *M. hirsutus* en la región pacífico de México (González-Gaona *et al.* 2010).

Es a principios de este periodo cuando en el INIFAP, Francisco Reséndiz Martínez y Leonor Sandoval Cruz, se incorporaron al estudio de insectos forestales. En 2008 Víctor Javier Arriola Padilla ingresó como investigador en Entomología Forestal.

2010-2019

En 2009 en el Comité Técnico de Protección y Conservación Forestal del Consejo Nacional Forestal (CONAF) Avelino Villa Salas, presentó la necesidad de tomar acciones para atender las contingencias por plagas en plantaciones forestales comerciales, lo cual fue apoyado por el CONAF. En consecuencia, en 2011 la CONAFOR promovió, dentro del marco del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR, el proyecto “Diagnóstico y alternativas para la prevención, control y manejo de diversas plagas y enfermedades que afectan las plantaciones forestales comerciales”.

Entre los resultados que se obtuvieron se encuentra el libro “Manual para la Identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales comerciales” (Cibrián 2013).

Avelino Villa Salas organizó en julio 2015, el “Taller sobre identificación y manejo de Insectos y patógenos que afectan a las plantaciones fo-

restales comerciales” en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, con el patrocinio de la CONAFOR y de la Asociación Mexicana de Profesionales Forestales.

La CONAFOR mantuvo un grupo de enlaces responsables de la atención de problemas fitosanitarios en cada Estado del país. En 2015 Abel Plascencia tomó el liderazgo de la Gerencia de Sanidad Forestal logrando la evolución de la atención fitosanitaria de los bosques de México.

El Simposio Nacional de Parasitología forestal se celebró en 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019. Jaime Villa Castillo, Armando Burgos Solorio, Armando Equihua Martínez, David Cibrián Tovar y Abel Plascencia González, fueron los principales organizadores de los eventos (figura 28).

En 2016 bajo la coordinación de David Cibrián Tovar se creó la Red Temática en Salud Forestal; los miembros de la red son más de 230 y están distribuidos en 28 estados del país (figura 29).

En el XIX Simposio Nacional de Parasitología Forestal, se logró vincular los interesados en la sanidad forestal con más de 40 taxónomos de insectos. La publicación “Fundamentos de Entomología Forestal” disponible en la página www.redtematicasaludforestal.com es uno de los resultados de esta vinculación.



Figura 28. XIX Simposio Nacional de Parasitología Forestal 2017. Sede en las oficinas centrales de la Comisión Nacional Forestal CONAFOR. Zapopan, Jalisco. (Fotografía: E. Llanderal)

RED TEMÁTICA EN SALUD FORESTAL
www.redtematicasaludforestal.com

Objetivos:
Promover el intercambio de información y colaboración para la solución de problemas específicos relacionados a la salud forestal.
Fomentar que investigadores, sociedad y gobierno, discutan y analicen aspectos relacionados a la toma de decisiones en materia de salud forestal.

Quiénes somos:
En su tercer año, la Red en Salud Forestal tiene presencia en 14 países y 30 estados de la república mexicana.

Impacto Social:
Capacitación y formación de recursos humanos
Se han impartido cursos de capacitación sobre temas relevantes del sector forestal a funcionarios públicos de instituciones como PROFEPA, CONAFOR, SEMARNAT, INIFAP, así como a prestadores de servicios, académicos, estudiantes y sociedad civil.

Foros de vinculación y transferencia de información:
Se han organizado reuniones de trabajo con expertos y foros de discusión entre investigadores, empresarios, estudiantes, prestadores de servicios y funcionarios públicos.
- Simposio Nacional de Parasitología Forestal 2017 (611 participantes de 11 países).
- Reunión Nacional de la Red Temática en Salud Forestal 2017 (160 asistentes).
- Foro de Salud Forestal 2016 (464 asistentes)
- Foro de Plantas Parásitas 2016 (40 asistentes)
El 28 de septiembre del presente año se hará el Foro Nacional de Salud Forestal 2018.

Investigación y desarrollo de tecnología:
Nuevas técnicas de control de plagas
Se aprobaron por parte de fondo sectorial dos proyectos de investigación:
- Creación de una descortezadora mecánica acoplada a motosierra.
- Establecimiento de arte sobre moscas sierra de coníferas y detección de virus de polidrosis nuclear para control biológico.

Plagas en ambientes forestales:
Esta línea desarrolla actualmente un proyecto aprobado por el fondo sectorial:
- Validación de semioquímicos, para el monitoreo y trapeo masivo de Dendroctonus.

Plagas exóticas:
Esta línea está desarrollando una propuesta sobre:
- Paquetes tecnológicos de las 14 especies exóticas de mayor importancia forestal.

Plagas y enfermedades en plantaciones forestales:
Esta línea desarrolla actualmente el proyecto:
- Diagnóstico del agente causal de la pudrición de cuebro y raíz en plantaciones de teca en Yucatán.

Plagas y enfermedades en viveros forestales:
Se sometió la propuesta de Investigación al Fondo Sectorial:
- Monitoreo, evaluación de daños, manejo y control de la secadera y pudrición de raíz.

Taxonomía de insectos forestales:
Esta línea de investigación organizó en 2017 el Taller de Taxonomía de Insectos Forestales en el cual se tuvieron 24 ponencias impartidas por expertos nacionales e internacionales.

Plantas parásitas:
Actualmente se desarrolla una propuesta para la creación de un Atlas de distribución de plantas parásitas en México.

Monitoreo de la salud forestal:
Esta línea de investigación realizó el primer Foro Nacional de Salud Forestal el cual contó con 135 asistentes.

Publicaciones:
Se han elaborado y distribuido publicaciones de alto nivel e importancia para el sector forestal, las cuales están disponibles de manera gratuita en la página web.
- Libro Fundamentos de Entomología Forestal.
- Libro Guía Ilustrada para Identificar a las especies del género *Dendroctonus* en México y Centroamérica.
- Memorias del Foro Nacional: Las Plantas Parásitas en México.
- Memorias de los Simposios de Parasitología Forestal
- Libro Fundamentos de Manejo Integrado de Plagas (en proceso)
- Manual para el correcto envío de Muestras (en proceso)

Internacionalización:
La Red cuenta con integrantes de 14 países. Los miembros participan activamente con Centroamérica y América del Norte (COFAN).

Página web y redes sociales:
La página web es el principal medio de comunicación entre los miembros, promueve también, la vinculación con miembros de otras redes y con el público en general.

Video blog:
Se están desarrollando en la página web y redes sociales, Foros de discusión sobre problemas de salud forestal con expertos en el tema.

AGOSTO, 2018

Figura 29. Cartel informativo 2018 de la RED TEMÁTICA EN SALUD FORESTAL.

El INIFAP implementó un programa de renovación de personal investigador y se sumaron al equipo de entomología forestal Adriana R. Gijón Hernández, Karla Vanessa de Lira Ramos, Saúl Santana Espinoza y Jesús Alberto Cruz López.

En este periodo se incrementaron las instituciones de enseñanza e investigación en Entomología Forestal.

Existen académicos dedicados a esta disciplina en la Universidad de Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Veracruzana, Universidad Autónoma de Chihuahua, Universidad Juárez de Durango, Instituto de Ecología, Universidad de Yucatán e Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Docencia en Entomología Forestal

En materia de educación, la disciplina de Entomología Forestal se impartió como cátedra desde 1917 en la Escuela Nacional Forestal que funcionó en Coyoacán, Cd. de México.

Desde 1933 se impartió como sección del curso de Parasitología Agrícola que se ofrecía a la especialidad de Bosques en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA) (figura 30). Para 1971 ya se impartía como curso de Entomología Forestal a los alumnos de la carrera de Ingeniero Agrónomo especialista en Bosques.

En 1978 la mencionada ENA se transformó en lo que ahora es la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), como consecuencia, en 1984 el Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques de la ENA se elevó a la categoría de División de Ciencias Forestales (DICIFO).

En esta División, desde su formación, se impartieron cursos de Sanidad Forestal y Salud Forestal a los alumnos de las carreras de Ingeniería Forestal y de Restauración Forestal respectivamente. En el Postgrado de la DICIFO se imparte desde 1988 la materia de Manejo Integrado de Plagas Forestales.

En 2019 se imparten temas que atienden la disciplina de la Entomología Forestal en 35 escuelas que ofrecen licenciaturas relacionadas con la Ingeniería Forestal, ya sea como curso específico o dentro de las asignaturas Sanidad Forestal, Protección Forestal o Parasitología Forestal. Adicionalmente la CONAFOR tiene cuatros centros de educación y capacitación forestal (CECFOR) que operan un sistema de educación técnica de tipo medio superior.



Figura 30. Edificio principal de la Escuela Nacional de Agricultura (ENA) hoy Universidad Autónoma Chapingo.

ESCENARIOS DE MANEJO FORESTAL



Introducción

David Cibrián Tovar

Para describir con más facilidad la importancia de los insectos forestales en la Dasonomía Mexicana se diferenciaron ocho escenarios forestales de manejo de árboles vivos y uno de productos forestales en uso; cada uno con sus propias características, tamaño, objetivos de manejo, interés de los dueños y técnicos responsables. Estos escenarios se describen de acuerdo al grado de intensidad de manejo humano. Los tres primeros corresponden a vegetación forestal natural y son:

- Áreas naturales protegidas (ANP's).
 - Bosques naturales sin programa de manejo.
 - Bosques naturales con programa de manejo.
- Los siguientes corresponden a dos categorías de bosques plantados.
- Reforestaciones que se establecen con fines de restauración y rehabilitación de funciones ecológicas y económicas.
 - Plantaciones comerciales, donde intervienen grupos empresariales y sociales con un objetivo de negocio bien establecido, aunque pue-

den ser plantaciones maderables o no maderables; las plantaciones tropicales de rápido crecimiento, las plantaciones de árboles de navidad y las de magueyes mezcaleros son ejemplos de este escenario de manejo.

Otros dos escenarios están relacionados con la producción de planta forestal:

- Unidades productoras de germoplasma forestal (UPGF's).
- Viveros forestales.

Un último escenario corresponde a los árboles de uso urbano y suburbano, presentes en jardines, plazas y vialidades en todas las ciudades y pueblos de México. En este escenario se incluyen los productos forestales en uso, como la madera de construcción rural y urbana, pisos y muebles.

En cada uno de estos escenarios, los árboles forman parte de un ecosistema que va de lo más complejo a lo más simplificado. Obviamente la magnitud y características ecológicas entre estos escenarios es desigual, pero cada uno tiene téc-

nicos, administradores y dueños que comparten intereses y prioridades propias del escenario.

En la figura 31 se ilustra la intensidad y complejidad de manejo, el valor individual de los árboles, la importancia relativa de las plagas y la simplificación ecológica, que como es lógico cambia conforme se intensifica el manejo forestal.

Con propósitos de armonizar y clarificar la información de atención fitosanitaria que se debe tener en cada escenario de manejo, se presentan resúmenes de las condiciones actuales de los escenarios de mayor importancia. Al final de cada uno se mencionan las plagas más importantes asociadas a cada escenario.

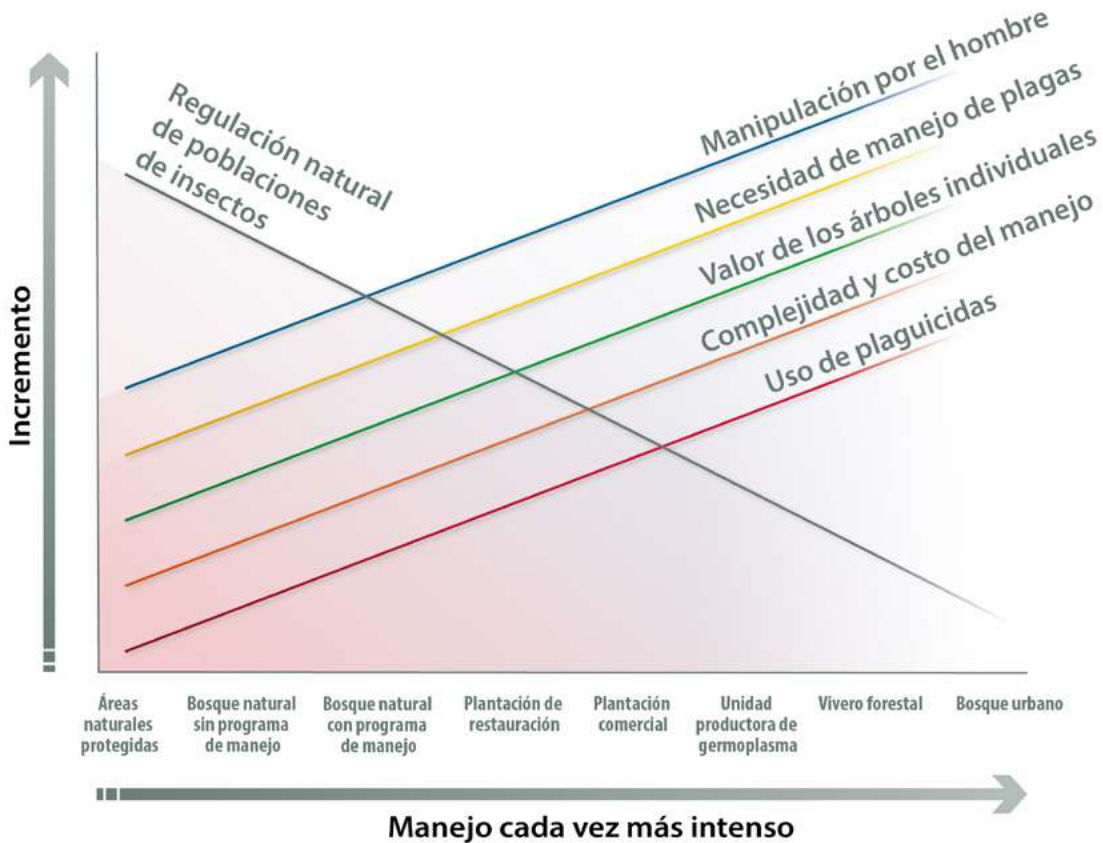


Figura 31. Características de los escenarios de manejo forestal en relación con la necesidad de aplicar manejo de plagas. (Modificado de NAS 1975 por E. Llanderal)

Bosques naturales o nativos de México

Ernesto Marcelo Zepeda Bautista



Figura 32. Bosque de pino en Durango.
(Fotografía: S. A. Quiñones)

De los 34.2 millones de hectáreas de bosque de clima templado que se estima existen en México (CONAFOR 2013), 24.3 millones tienen potencial de producción, pero solo 15 reúnen las condiciones sociales, económicas y de infraestructura para un aprovechamiento sustentable; de las cuales 7.5 ya están bajo aprovechamiento legal.

Con cierta frecuencia se olvida, pero en México existió una “Comisión Nacional de Desmontes” y otra de “Durmientes”, que extrajeron grandes metrajes de productos maderables y cambiaron el uso de suelo en extensiones considerables de bosque, siendo una de las más célebres el ecocidio llamado plan “Chontalpa”, en Tabasco, que hoy tiende a ser rescatado por bosques establecidos por la mano del hombre, a través de plantaciones forestales comerciales.

La ganaderización indiscriminada del país incrementó notablemente las tasas de deforestación, junto con actividades de minería a cielo

abierto y fruticultura, destacando recientemente el caso del aguacatero y las frutillas (“berries”), en algunos estados del occidente de México.

Hay otros casos de deforestación masiva, como la minería a cielo abierto y los cambios de uso de suelo con fines agropecuarios y de infraestructura, que no se mencionan cuando se pretende responsabilizar a los aprovechamientos maderables del deterioro de la vegetación forestal de México, mismos que históricamente han sido los factores de disturbio más sobresalientes, pero de los que nadie se ocupa.

El escenario del bosque nativo o natural juega un papel importante tanto ambiental, como social y económico, ya que puede aportar superficie a otros escenarios o subcategorías de bosques, así como a otras actividades productivas, servicios ambientales o ecosistémicos y de conservación de la naturaleza (figura 32).

Subcategorías de bosque en México, según su intensidad de manejo–aprovechamiento forestal

Los bosques de clima templado, tropical (seco y húmedo) y del semidesierto, pueden dividirse en dos sub categorías, acordes con su intensidad de manejo–aprovechamiento, implícitos en sus objetivos, estructura y operación.

Sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP’s)

Corresponden a extensiones de bosque que, según su carácter, pueden tener aprovechamiento (zonas amortiguamiento) o no tenerlo (zonas núcleo y parques nacionales), en donde el manejo forestal es indispensable, porque los procesos sucesionales naturales, tanto como los procesos antropogénicos de deterioro, continúan en ellos, aunque haya decretos que prohíban su aprovechamiento (figura 33).

Está, como ejemplo, el Parque Nacional “Desierto de los Leones”, en la Ciudad de México,



Figura 33. Bosque de oyamel del Área Natural Protegida de la mariposa monarca en el estado de Michoacán; en primer plano se observan flores de cuyo néctar se alimentan las mariposas invernantes. (Fotografía: D. Cibrián)

en donde se hicieron esfuerzos enormes, por décadas, para mantener su estado “prístino”; sin embargo, no pudieron evitar que los procesos sucesionales, de contaminación ambiental y de litigio por la tierra continuaran, ocurriendo la espiral de deterioro que causa la mortalidad masiva de arbolado, creando los denominados “cementeros forestales”.

Eventualmente se confunde al “manejo” con el “aprovechamiento” y también las ANP’s requieren manejo, en independencia del aprovechamiento (zonas núcleo y de amortiguamiento), pues las poblaciones vegetales alcanzarán su clímax sucesional e iniciarán el proceso de renovación natural, que típicamente son la base de incendios catastróficos o de infestaciones por insectos fitófagos; los primeros repercuten de manera adversa sobre las necesidades humanas. Ahí está el caso de los incendios forestales en varios estados de la república mexicana durante 2017 y 2018.

Es evidente, que el manejo forestal sostenible sin aprovechamiento forestal, es más costoso que con él, ya que no es posible descontar los costos de protección forestal (incendios, salud, otros) y de fomento (reforestación) de los beneficios del aprovechamiento, por lo que deben ser cubiertos sin reembolso, sin que ello ocurra con cierta desafortunada frecuencia en muchas ANP’s, pues muchos de sus polígonos aparecen anualmente en la estadística de incendios forestales y de deterioro de los bosques de México.

Si realmente se desea proteger a los bosques naturales mexicanos, deberá flexibilizarse el enfoque de las ANP’s, porque la idea de no tocar los recursos, o pretender su conservación por la vía de los decretos presidenciales, no ha sido efectiva en los hechos hasta ahora (figura 34).

Sobre todo, porque los procesos económicos, políticos, sociales y de sucesión vegetal, que

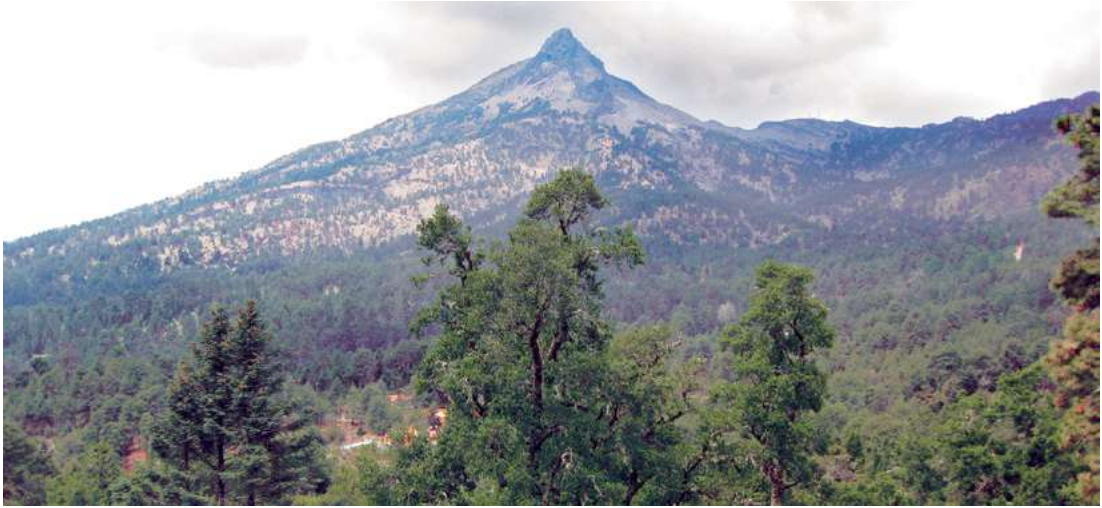


Figura 34. Área Natural Protegida del Nevado de Colima, Jalisco; ofrece servicios ecoturísticos y ecosistémicos.
(Fotografía: D. Cibrián)

inciden en el deterioro de los recursos naturales, no pueden ser detenidos con un decreto u otro tipo de veda forestal, como se pretende en el Estado de México.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra y desarrolla acciones de protección y conservación en 182 áreas naturales que representan 90.8 millones de hectáreas; en esta superficie se incluyen ambientes terrestres y marinos. También apoya 384 áreas destinadas voluntariamente a la conservación, con una superficie de 413 mil hectáreas. El total de la superficie de ANP's que tienen vegetación forestal alcanza la cifra de 12.9 millones de hectáreas. La pregunta que surge es: ¿en qué estado de conservación real se encuentra toda esa área?

Las cifras anuales de deterioro, muestran que los esfuerzos de la CONANP, han sido insuficientes para frenar el deterioro, por lo que la opción de manejo forestal, con su correspondiente aprovechamiento, es más efectiva en los hechos, que la que lo proscribe.

Bosque natural o nativo, comercial y no comercial

Una segunda subcategoría de bosques son los bosques naturales aprovechados históricamente, sea de forma comercial o no.

Hay bosques comerciales bajo aprovechamiento persistente, desde antes del porfiriato, en los ocho principales estados productores de madera en México.

Existen otros bosques aprovechados de manera extensiva, que pueden ser convertidos en bosques comerciales, incorporando áreas a la producción; o bien pueden ser destinados a la conservación o producción exclusiva de servicios ambientales o ecosistémicos.

De igual manera, los bosques físicamente restaurados y funcionalmente rehabilitados, deben tener un destino y uso determinados, de los referidos en el párrafo anterior.

Está haciendo falta en México, una estimación precisa y actualizada de las diferentes categorías de bosque, para que el proceso de manejo –aprovechamiento persistente, con fines made-

rables y no maderables, pueda ser caracterizado como “sostenible” a través del tiempo, porque se manejan cifras en rangos muy amplios. Por ejemplo, la tasa anual de deforestación anual varía, según la fuente, entre 160,000 a 600,000 hectáreas o más. De igual manera, se refieren 7.5 millones de hectáreas de bosque comercial, con las que las estimaciones de producción maderable anual no cuadran, como se muestra más adelante.

Evolución de los servicios técnicos forestales y de los sistemas de planeación del manejo forestal

Los aprovechamientos forestales en los bosques nativos de México datan de La Colonia, con ordenanzas emitidas para la administración de los montes de la Nueva España.

Posteriormente, durante el porfiriato, surgió el interés por aprovechar mejor los bosques y fueron traídos a México ingenieros forestales franceses, que introdujeron métodos de manejo-aprovechamiento, en montes que habían alcanzado estadios naturales de equilibrio, que dasométricamente correspondían con bosques irregulares, aun cuando estaban poblados por especies heliófilas.

Mediante las compañías deslindadoras y a través de concesiones, fueron aprovechados bosques en el Norte de México por compañías ferrocarrileras norteamericanas, extrayendo grandes metrajés con métodos poco cuidadosos que, aun con ello, no lograron acabar con las amplias extensiones de bosque prevalecientes en los Estados de Chihuahua, Durango y, en general, en la Sierra Madre Occidental.

Después del periodo de la revolución mexicana, los aprovechamientos forestales fueron realizados a través de “postulantes”, que fueron inge-

nieros agrónomos especialista en bosques, facultados por la autoridad forestal para planear y ejecutar “estudios dasonómicos”, como fueron denominados en ese entonces los hoy programas de manejo forestal.

Los métodos de manejo forestal usados entonces, siguieron siendo los introducidos por los forestales franceses, destacando el método de Melard o de “cabida”.

En los años treinta del siglo pasado se fundó el Departamento Autónomo Forestal de Caza y Pesca, que es la estructura administrativa pública mexicana que más atribuciones ha tenido, pues incluyó la pesca de agua dulce, que aún prevalece en el sector forestal en varios países, como España y Chile.

En ese periodo fueron realizados varios estudios de “normalidad de bosques”, por el Ing. Carlos Treviño Saldaña y el forestal norteamericano Arthur Hans Meyer.

Con el inicio de la segunda guerra mundial, y la necesidad de satisfacer necesidades de celulosa y papel, se estableció un sistema de concesiones forestales, gestionadas a través de Unidades Industriales de Explotación Forestal (UIEF), existiendo una que abasteció a la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre, ubicada en la hoy plaza Cuicuilco, en la Ciudad de México, que fue cerrada en 1981.

En este periodo nació el denominado método mexicano de ordenación de montes (MMOM), que posteriormente fue transformado por el Ing. Carlos Treviño Saldaña, en lo que hoy se conoce como el Método de Ordenación de Bosques Irregulares (MOBI), con una vigencia de 73 años (1945-2018).

En las selvas altas húmedas del sureste del país, el gobierno mexicano otorgó concesiones forestales para el aprovechamiento de especies preciosas tropicales, con la extracción de lo mejor

de las selvas, aplicándose un criterio denigrante conocido como “descreme”, consistente en la extracción selectiva de los mayores metrajes de los mejores árboles.

De eso se continúa culpando a los ingenieros forestales mexicanos, sin señalar que el único empleador entonces, a través de los concesionarios, era el gobierno federal, pues era la entonces Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF) la entidad que autorizaban los “proyectos generales de ordenación forestal” de las UIEF, y de otras empresas similares, como fueron conocidos, entonces, los actuales programas de manejo forestal.

Por los años setenta del siglo pasado, con la creación de la Dirección General para el Desarrollo Forestal, hubo un cambio de enfoque, con fuerte impulso a la socioproducción forestal, y con la aparición del denominado Método de Desarrollo Silvícola (MDS), con 45 años de antigüedad, que contrario al MMOM, planteaba el manejo-aprovechamiento del bosque regular, existiendo varios sitios piloto en el país, para impulsar el método que buscó incrementar las tasas de aprovechamiento y extracción, con tecnología forestal de punta de esa época, como cables aéreos, toboganes y otras, catalogada entonces como “tecnología intermedia”, así como el uso de motogrúas, con sus variantes “Durango” y “Oaxaca”.

Cabe apuntar que la UIEF de Atenquique, Jalisco, tuvo, por esos tiempos, un sistema de abastecimiento de fuste completo, a base de “tracto-lanzas”. Posteriormente, se buscó un sistema de organización para la producción denominado **Unidades de Administración Forestal (UAF)**, que después se tradujo en **Unidades de Conservación y Desarrollo Forestal (UCoDeFo)**, en donde el director técnico fue designado por la autoridad forestal, quien autorizaba y daba seguimiento a

los denominados “programas-presupuesto”, que acompañaban el ejercicio de la posibilidad volumétrica autorizada.

Con la promulgación de la ley del “Manejo Forestal Integral” (MIF), en los 80 del siglo pasado, la autoridad forestal impulsó, a través del convenio forestal México–Finlandia, el denominado Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SiCoDeSi), en la búsqueda de mejorar los métodos de manejo-aprovechamiento en México, estando pendiente su actualización.

Aquí se da la liberación total de la prestación de servicios técnicos forestales, dependiendo la estadística forestal, hasta la actualidad, de los propios despachos de prestación de servicios técnicos, pues la autoridad se limita a revisiones eventuales de campo, vía muestreos, que pueden corresponder a evaluaciones previas a la emisión de la autorización de aprovechamiento (SEMARNAT) o de auditorías técnicas forestales (PROFEPA) o de auditorías de tipo preventivo (CONAFOR).

En fechas más recientes, la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) desarrolló, por encargo de la CONAFOR, el denominado “Sistema de Planeación Forestal” (SiPlaFor), pero con algunas situaciones de sobre-estimación en tasas de crecimiento que no se puede permitir el sistema gubernamental de estimación, en la decisión final de estimación de posibilidad volumétrica de aprovechamiento (figura 35).



Figura 35. Bosque de pino del estado de Durango.
(Fotografía: S. A. Quiñonez)

Actualmente existe una nueva ley forestal, con un reglamento en proceso de publicación en el diario oficial de la federación (DOF) y un cambio de gobierno, misma que ya está en proceso de ajuste, nuevamente, del marco regulatorio forestal y ambiental de México, para alinearlos con lo que se ha dado en llamar, la “cuarta transformación” de México.

Los bosques comerciales mexicanos

La CONAFOR y SEMARNAT manejan una cifra de 7.5 millones de hectáreas de bosques comerciales, con autorización de aprovechamiento, de donde proviene la producción maderable legal, según cifras oficiales.

Si se extrae un solo metro cúbico anual de madera de cada una de esas hectáreas, la producción maderable anual de México debería ser de 7.5 millones de metros cúbicos, más los 1.4 millones de metros cúbicos provenientes de las plantaciones forestales comerciales, lo que arroja un total de 8.9 ; y no los 7.6 millones de metros cúbicos que fueron reportados en 2017, que para el 2018 alcanzaron la cifra de 9.0 millones anuales de metros cúbicos.

El inventario nacional forestal de los años 60 reportó un incremento nacional promedio de $2.3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, que debió haber crecido en razón de los aprovechamientos de los pasados 60 años, que han inducido bosques jóvenes con mayores tasas de crecimiento, que fácilmente puede ser de $5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, en promedio. Con las dos cifras anteriores, la producción en esas 7.5 millones de hectáreas debería rondar los 17.25 y los 37.5, respectivamente; y no los 7.6 millones de metros cúbicos anuales.

Kokkonen 2016 refiere que Finlandia, con un área comercial de 20.3 millones de hectáreas, se cosechan 65 millones anuales de metros cúbicos,

con una alta proporción de ellos en proximidad al Círculo Polar Ártico, lo que equivale a $3.2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

Con esa tasa anual de crecimiento, que es posible encontrar con facilidad en muchos bosques comerciales de México, la producción de madera, asumiendo los 7.5 millones de hectáreas, debería rondar los 24 millones de metros cúbicos anuales.

Algo no cuadra con los números de producción maderable en México, por lo que la CONAFOR en estudios independientes, de los realizados por los prestadores de servicios técnicos forestales (PSTF), debe hacer una cuantificación precisa de las cifras que se manejan como área forestal real de bosques, en los diferentes ecosistemas del país, con existencias maderables reales por hectárea y tasas de crecimiento medidas *in-situ*.

Certificación forestal

Se habla de más de un millón de hectáreas de bosques certificados en los diferentes ecosistemas forestales de México, con los principios del Forest Stewardship Council (FSC).

Ello permite a la sociedad mexicana tener tranquilidad relativa de que terceros independientes están supervisando los procesos de manejo–aprovechamiento forestal, aun cuando tales beneficios no alcancen todavía a los productores que no exporten sus productos, pues no hay beneficios adicional para quienes realizan buenas prácticas de manejo forestal en México, situación que tendrá que cambiar en el futuro mediano, tanto por la demanda creciente de madera, el déficit de la balanza comercial forestal, la tasa de cambio de uso del suelo, como por los efectos adversos del cambio climático en los bosques mexicanos, entre otros factores.

Cambio climático global

En independencia de las causas que la originan, la variación climática es una realidad, que está incidiendo fuertemente en el estrés y mortalidad del arbolado, sobre todo en los bosques naturales o nativos del Noroeste de México (figura 36).

Cada año ha venido creciendo la cifra de volúmenes de arbolado muerto por sequía y plagas, por lo que deberán redoblar los esfuerzos de reforestación en los bosques y buscar recuperar áreas de agricultura, ganadería y otros usos que ya no están en producción, para aumentar el coeficiente forestal del país.

Con la fiebre del aguacate y el "Berry", entre otros cultivos, la necesidad de agua para las huertas va a crecer en el futuro y debe garantizarse su suministro, por lo que la presencia de bosques nativos en las cabeceras serranas y otros puntos del relieve nacional, es indispensable.



Figura 36. Bosque de la Sierra Madre Occidental, susceptible a eventos de sequía. (Fotografía: D. Cibrián)

Déficit de balanza comercial

La balanza comercial de productos forestales se estima en 8,500 millones de dólares anuales, de

productos que pudiesen ser producidos en México, pero que el modelo económico de los pasados 30 años vetó, privilegiando la importación de los mismos, a costa de la destrucción de la planta productiva forestal nacional.

Decisión que finalmente tuvo sus efectos negativos sobre la ENAIPROS (Estrategia Nacional para Incrementar la Producción y Productividad Forestal), misma que no logró sus objetivos a nivel nacional, porque no basta con producir más madera, si el 50 por ciento de ella se continúa transformando en aserrín, en razón de que la obsolescencia tecnológica industrial no permite mejores coeficientes de transformación (coeficientes de aserrío).

Incentivos fiscales opuestos, cambios de uso del suelo, biodiversidad y agua

Si se revisa el árbol de problemas de la destrucción de los recursos naturales en México, y de los forestales en particular, es posible identificar actividades sectorizadas distintas, que operan de manera opuesta, prevaleciendo la actividad de mayor remuneración económica.

Así, aún con los esfuerzos de los incentivos en programas forestales, también existen los agropecuarios y frutícolas, entre otros, que terminan haciendo que la deforestación, por cambio de uso de suelo, gane terreno.

Están los casos del agave azul, el aguacate, los "berries" y otros productos de la agroindustria, que inducen pérdida significativa del coeficiente forestal nacional, sin hablar de la ganadería y minería a cielo abierto, que pueden ser dos de los agentes principales de la deforestación en México, de los que nadie se ocupa.

Por ejemplo, no se está midiendo la cantidad anual de metano producido por la ganadería

mexicana y su contribución al calentamiento global, que contrarresta los servicios ambientales o ecosistémicos de los bosques y genera pasivos para el país en materia de reducción de emisiones.

Adicionalmente, el agua se está tornando en un recurso estratégico, cuyo uso deberá reducirse en procesos industriales y agropecuarios, toda vez que la conversión en huertas de aguacate está creciendo a costa de los bosques, la necesidad de agua para esos y otros usos, incluido el consumo humano, obligará a la conservación sana y productiva de bosques nativos o naturales, que regulan el ciclo hidrológico en la tierra.

De igual manera, la vegetación natural es el hábitat y alimento de la fauna silvestre, que en conjunto constituyen la biodiversidad del país, que no solo es importante por razones de conservación, si no por representar la poza genética de biodiversidad de México, importante en la farmacéutica, entre muchos otros campos. Cabe recordar que México es centro de origen y diversidad genética de pinos, cactáceas y encinos.

Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS)

La estrategia fue una de las principales acciones forestales del sexenio 2012-2018, que buscó doblar la producción forestal maderable en el país, situación que logró en algunos predios, pero no a nivel nacional.

Una de las críticas que motivaron la reducción presupuestal de la CONAFOR en 2018, por parte de la Cámara de Diputados, fue precisamente que, con un número mayor de apoyos forestales, la producción forestal maderable, legal, no logró rebasar los 7.6 millones de metros cúbicos

de madera anual, cuando la meta sexenal fue de 11 millones de metros cúbicos, por lo que dicha estrategia requiere ajustes.

De acuerdo con previsiones del Programa Estratégico Forestal (PEF) para México 2000–2025 (CONAFOR, 2000), que después fue sustituido por la CONAFOR, México perfectamente puede alcanzar escenarios productivos sustentables de más de 50 millones de metros cúbicos de madera anual, provenientes de sus bosques naturales o nativos, pero se hace necesario un estudio que determine el área real de bosques comerciales, con aquellos que sea posible incorporar a la producción, toda vez que el consumo aparente de madera en México ronda los 26 millones de metros cúbicos anuales, que solo es satisfecho parcialmente.

Si se parte de las hectáreas de bosque de clima templado y tropical únicamente, considerados por la CONAFOR (2013), con la extracción de un solo metro cúbico de madera por hectárea, debería haberse logrado la meta sexenal.

Con el cultivo silvícola de los bosques, ese potencial puede mejorarse significativamente, a la par que se contribuye precautoriamente con la sanidad de los mismos y se incrementa de forma sustancial, la producción de servicios ambientales o ecosistémicos.

Estrategias de compensación ambiental y mercados de carbono

Los esquemas de “compensación” ambiental contrarrestan parcialmente los procesos que deterioran el ambiente. Por ejemplo, la minería a cielo abierto, que al margen de la contaminación que genera, y que por sí mismo puede ser un tema grave, están los periodos largos para poder restaurar y rehabilitar los sitios explotados, que antes estuvieron poblados por árboles.

Los mercados de carbono son otra estrategia emergente para cumplir con las cuotas de emisiones, conforme a los compromisos internacionales vinculantes, que más adelante van a demostrar su valía, pues actualmente no hay más que calificarlos de buenos instrumentos, pero en mucho dependerá del manejo que se haga de tales bonos verdes al paso del tiempo, al ingresar a mercados especulativos, en las bolsas de valores.

Socioproducción forestal

Se viene impulsando el denominado “manejo forestal comunitario” en los bosques nativos o naturales de México, como una forma de organización para la producción, en donde las comunidades, sobre todo las de origen indígena, son empoderadas y se busca apropiarlas de sus procesos productivos forestales, lo cual es muy bueno para garantizar la permanencia de los bosques.

Sin embargo, la adjetivación de términos técnicos forestales como es el “manejo forestal” o la “silvicultura”, ya que también se habla de la “silvicultura comunitaria”, introduce ruido innecesario, pues se llega al extremo de los “inventarios forestales comunitarios”, como si el término “comunitario” los tornara en algo diferente, cuando “comunitario” es solo un sinónimo de “socioproducción” y en nada influye en el manejo forestal, que es un instrumento técnico para la conducción de bosques, que sirve tanto para el manejo de bosques comunales, ejidales y particulares; en todos los tipos de clima y condiciones, como ocurre en otras partes del mundo.

Cabe el hecho de que solo en México hay ejidos y, en ese caso, sería “manejo forestal ejidal” y no comunitario, con la consideración adicional de que “community”, a nivel internacional, y en

México en particular, no tienen la misma connotación.

Calificativos sobran y pudiese ser manejo forestal “participativo”, “proactivo”, “colaborativo” o social (de sociedad), entre otros, pero para qué complicar las cosas, si el manejo forestal occidental ha cumplido su papel satisfactoriamente los pasados 450 años.

Como ocurre con la obsolescencia programada, parece que también la hay para el lenguaje y se introducen neologismos, que únicamente incrementan la sinonimia, pero que en realidad no contribuyen en el fondo de las cosas, por lo que deberían limitarse o bien referir que es únicamente sinonimia.

Monitoreo e indicadores de desempeño

En su estudio diagnóstico para un ambiente sano, el CONEVAL 2018 proporciona información contundente sobre el rezago en materia de recursos naturales y medio ambiente, entre otros aspectos que merece atención.

De ella se deduce, sin exagerar, que urge desarrollar y aplicar indicadores del manejo de los bosques naturales o nativos, complementarios a los criterios e indicadores del proceso de Montreal al que México está adherido, toda vez que, como reza el lema del CONEVAL, solo “lo que se mide, se mejora”.

El seguimiento o monitoreo de los diferentes procesos naturales, tanto sucesionales como de deterioro, de restauración, rehabilitación, reforestación y forestación, entre otros, se torna en una necesidad insoslayable en el futuro mediano, para poder calificar de “sostenible” el proceso de manejo–aprovechamiento de los bosques mexicanos en general.

Salud Forestal, en la perspectiva del Manejo Forestal Sostenible

El manejo forestal es un proceso que ideó el hombre para pasar de “recolector” a “productor” organizado, como lo hizo 10,000 años antes con la agricultura, cuya premisa actual es ser sostenible.

En Europa, hubo ordenanzas romanas que regularon los aprovechamientos maderables hace 3,000 años, aun cuando el manejo forestal se formalizó hasta mediados de 1,600 y las primeras escuelas forestales surgieron a finales de 1,700 y principios de 1,800.

Los ecosistemas forestales, de cualquier tipo de clima, exhiben procesos sucesionales naturales, que posibilitan su renovabilidad al paso del tiempo, en independencia del hombre, pues existieron mucho antes de la aparición de éste sobre la tierra.

El manejo forestal busca detener los procesos sucesionales en las etapas serales útiles a la sociedad en los ámbitos ambiental, social y económico, conforme a algún objetivo concreto que lo motive, durante el tiempo que sea necesario, mientras dicho objetivo no cambie.

La sanidad de los bosques o salud forestal es un aspecto ligado estrechamente al manejo persistente de los recursos forestales, toda vez que la producción de bienes, servicios y oportunidades que se generen en los bosques, es mejor que provengan de bosques “sanos”.

Como en el caso de cualquier otro ser vivo, la salud de los bosques debe ser algo cuantificable, para evitar la subjetividad de lo cualitativo y poder precisar, cuantitativamente, el grado de sanidad o salud.

El uso de **criterios e indicadores** que midan el grado de sostenibilidad (C&I) del manejo–aprovechamiento forestal, en el componente “sa-

nidad”, es la mejor manera de medir la salud forestal.

Entre varios C&I, como LUCID (EUA), el proceso europeo y algunos más generales como los del FSC, destacan los C&I del denominado “proceso de Montreal” (www.montrealprocess.org), al cual está adherido México.

En éste, el criterio 3, con sus correspondientes indicadores, atiende inicialmente la necesidad sobre salud forestal.

Criterio 3: Mantenimiento de salud del ecosistema forestal y su vitalidad.

Este criterio está subdividido y expresado de la siguiente manera:

3.1. Área y porcentaje de bosques afectados por procesos bióticos y agentes naturales (por ejemplo, enfermedades, insectos, especies exóticas invasivas), más allá de las condiciones de referencia.

3.2. Área y porcentaje de bosque afectados por agentes abióticos (por ejemplo, fuego, fenómenos meteorológicos, cambio de uso del suelo), más allá de las condiciones de referencia.

En apariencia, los dos indicadores anteriores pueden resultar insuficientes. Sin embargo, el proceso de Montreal no limita el desarrollo de más indicadores que permitan medir con mayor fidelidad el grado de salud de un bosque, para el caso de un manejo integrado de plagas y enfermedades, por ejemplo, que evidentemente variará con el tipo de ecosistema principal y con el escenario de bosque considerado.

En la siguiente dirección electrónica es posible encontrar los C&I del MFS del proceso europeo, cuyo indicador 2, más amplio que el de Montreal, corresponde con el “mantenimiento de la salud y vitalidad de los ecosistemas forestales” (www/foresteurope.org/sfm-criteria-indicators2/). USDAF (2002), por otra parte, generó indicadores

de salud, específicos a los bosques estadounidenses, mismos que son aplicables a ciertos bosques mexicanos, con algunas adiciones y ampliaciones, porque cubren exclusivamente bosques boreales. Tales indicadores cubren aspectos como:

- Condición de la copa del árbol
- Lesiones por ozono
- Daños en el árbol
- Mortalidad de árboles
- Comunidades de líquenes
- Restos de madera en el suelo
- Diversidad y estructura de la vegetación.
- Condición del suelo

Otro esfuerzo más ambicioso es el denominado genéricamente “índice de salud forestal”, en: <http://foresthealthindex.org>, cuya definición de salud forestal, resulta muy completa y puede ser expresada como: Bosque “sano” es aquel que es resiliente a cambios y puede proporcionar servicios ambientales o ecosistémicos, a la par de satisfacer necesidades humanas.

Como lo establecen sus autores, al definir así la salud de un bosque, no se presupone una noción definida de salud, sino una visión sanitaria amplia, desde cuatro perspectivas fundadas

en objetivos públicos ampliamente aceptados, como son:

- La integridad ambiental
- La salud pública y seguridad
- Los servicios ecosistémicos
- El uso sostenible y su gestión

De todos los aspectos antes indicados, se desprende que el “monitoreo” o seguimiento de los bosques en materia de salud forestal, es un componente importante del manejo forestal sostenible (MFS) por desarrollar en México, en el futuro próximo.

Una alternativa, dependiendo del grado de resolución deseado, es el uso de sensores remotos en la evaluación de salud forestal (<https://srs.fs.usda.gov/pubs/41280>), así como el empleo de “drones” en evaluaciones fitosanitarias específicas.

En la siguiente imagen (figura 37) se ilustra el monitoreo fitosanitario de los bosques de la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), de la UACH, al pie del volcán Iztaccíhuatl (www.sites.google.com/site/cultivodebosques/estacion-forestal-experimental-zoquiapan-ixtapaluca-mexico/sanidad-forestal).



Figura 37. Monitoreo fitosanitario, con dron, de los bosques de la EFEZ de Chapingo. Los árboles grises fueron infestados por el descortezador *Dendroctonus adjunctus*. (Fotografía: M. Zepeda)

Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF)

Fernando Miranda Piedragil



Figura 38. Plantación de *Pinus cembroides* para producción de semillas.
(Fotografía: D. Cibrián)

Las Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF) son áreas establecidas en rodales naturales, plantaciones o viveros, con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo y/o fenotipo, que posee una procedencia bien identificada, usada para la producción de frutos, semillas o material vegetativo (figura 38).

Actualmente, una gran parte del germoplasma forestal que se utiliza en la producción de planta a nivel nacional, para abastecer los programas de plantaciones con fines de restauración, proviene de poblaciones naturales o de plantaciones forestales que carecen de selección.

Los individuos de los que se recolecta el germoplasma son por lo general los más accesibles, sin considerar su calidad fenotípica y genotípica. Adicionalmente, parte de la planta producida se reforesta fuera de la zona natural donde se recolectó el germoplasma, disminuyendo los porcentajes de supervivencia de la planta en campo y alterando la dinámica evolutiva de los ecosistemas forestales.

A partir de la década de los años setentas, en nuestro país se establecieron los primeros huertos y áreas semilleras para obtener germoplasma forestal de mejor calidad con respecto al de las poblaciones naturales.

De manera significativa durante los últimos 20 años, las administraciones federal y estatales han invertido recursos económicos para el impulso de este tipo de proyectos; sin embargo, el uso de germoplasma forestal genéticamente mejorado en la reforestación nacional no se ha incrementado en proporción a lo invertido, debido, entre otros factores, a que no se han consolidado políticas públicas de largo plazo, que permitan asegurar que las plantaciones que se realizan anualmente en el país para recuperar áreas con pérdida de cubierta forestal, se hagan utilizando planta cuyo germoplasma provenga de fuentes con algún grado de selección fenotípica o preferentemente, mejoradas genéticamente (figura 39).



Figura 39. Conillos de *Pinus cembroides* recién polinizados.
(Fotografía: D. Cibrián)

Para atender esta condición se ha desarrollado una estrategia para la producción de semilla forestal relativamente sencilla y de pronta aplicación, consistente en el establecimiento y manejo de UPGF que, en el mediano plazo, permita satisfacer la demanda de germoplasma en cantidad y calidad, con la mayor ganancia genética posible, a menor costo y de forma permanente.

En estas UPGF se facilita la recolección de semilla al concentrar tal labor en un área manejada con ese fin, además de facilitar y propiciar condiciones específicas para la regulación del uso y movimiento de semillas en los programas regionales de plantación con fines de restauración.

Esta actividad se regula mediante una Norma Mexicana (NMX-AA-169-SCFI-2016, SEMARNAT 2016) de carácter voluntario, en la cual se establecen un conjunto de criterios técnicos que deben observarse para el establecimiento y manejo de las UPGF, con calidad genética superior a la de aquellas especies de poblaciones naturales o plantaciones sin selección.

También considera procedimientos técnicos y administrativos que deben observarse durante los procesos de recolección, transporte, acopio, beneficio, valoración y certificación, para contribuir a mejorar la calidad de la planta que se utiliza en las plantaciones con fines de restauración, favoreciendo una mayor supervivencia y productividad.

Es importante destacar que mediante esta NMX se regula el movimiento del germoplasma con base en una delimitación geográfica definida como **Zona de Movimiento de Germoplasma Forestal (ZMGF)** delimitada por las provincias y sub-provincias fisiográficas definidas por el INEGI (figura 40).

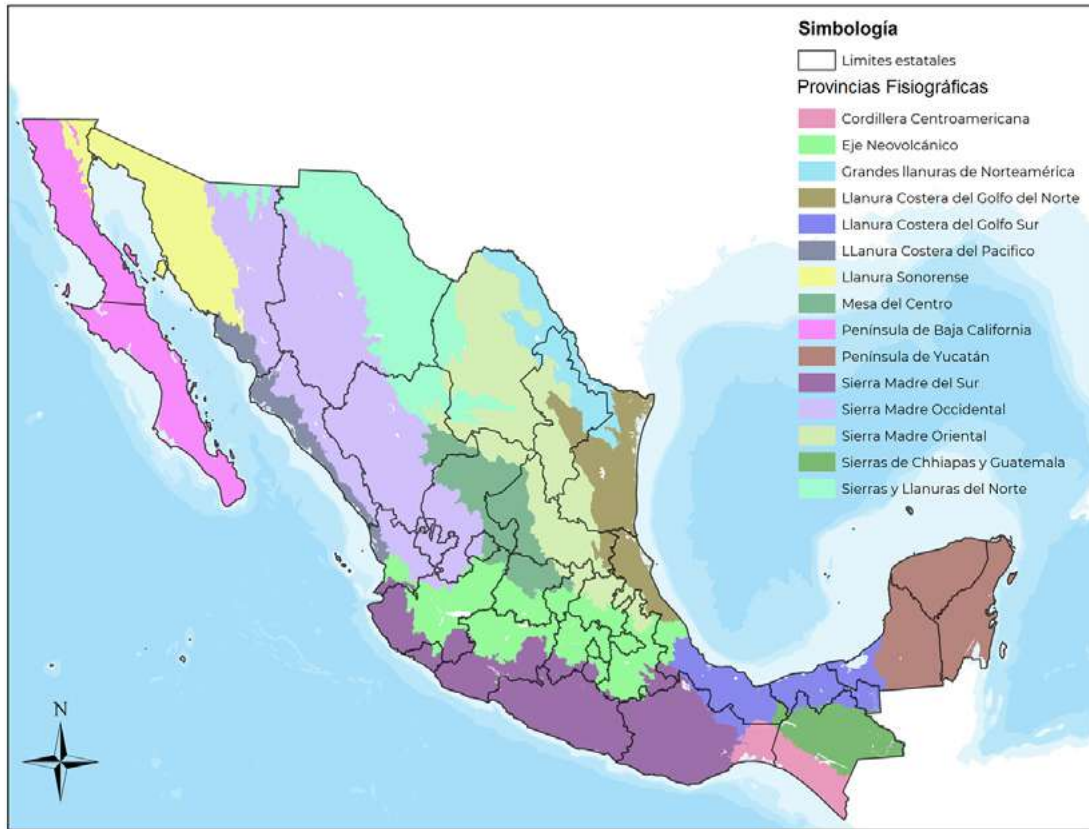


Figura 40. Mapa de provincias fisiográficas en la República Mexicana.
(Fuente: Ceballos y Flores 2019, con información del INEGI para CONAFOR)

Esta zonificación permitirá obtener mejores resultados en los trabajos de reforestación como acción fundamental para lograr una adecuada restauración de los ecosistemas forestales del país, asociando el origen y destino de la planta producida para territorios con similitud de condiciones y características.

A nivel nacional se cuenta con 126 UPGF distribuidas en diferentes provincias y sub-provincias fisiográficas (cuadro 1).

Una fortaleza intrínseca al limitar este movimiento de germoplasma e individuos produci-

dos en tales zonas, es la menor incidencia de plagas y enfermedades forestales, derivada de la adaptación de las especies a esas condiciones. Cuando se introducen especímenes de otras provincias, inclusive tratándose de las mismas especies, éstas tienden a sufrir limitaciones y dificultades para su establecimiento, lo que provoca fuertes condiciones de estrés, propiciando condiciones propicias para la proliferación de plagas y ataque de enfermedades.

Cuadro 1. Número de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal establecidas en las regiones fisiográficas de México.

ZMGF	Provincias fisiográficas	No. UPGF
I.1	Península de Baja California	4
I.2	Península de Baja California	3
II.1	Llanura Sonorense	1
II.2	Llanura Sonorense	4
III.1	Sierra Madre Occidental	2
III.2	Sierra Madre Occidental	9
III.3	Sierra Madre Occidental	11
III.4	Sierra Madre Occidental	5
IX.2	Mesa del Centro	2
V.1	Sierra Madre Oriental	2
V.2	Sierra Madre Oriental	2
V.3	Sierra Madre Oriental	7
VI.1	Grandes Llanuras de Norteamérica	1
VIII.1	Llanura Costera del Golfo Norte	1
X.1	Eje Neovolcánico	3
X.2	Eje Neovolcánico	8
X.3	Eje Neovolcánico	15
XI.1	Península de Yucatán	2
XI.2	Península de Yucatán	9
XII.2	Sierra Madre del Sur	2
XII.3	Sierra Madre del Sur	10
XII.4	Sierra Madre del Sur	6
XII.5	Sierra Madre del Sur	3
XIII.2	Llanura Costera del Golfo Sur	4
XIV.1	Sierras de Chiapas y Guatemala	7
XV.1	Cordillera Centroamericana	3
	Total	126

Tipos de UPGF

Acorde con la NMX-169 (SEMARNAT 2016) existen siete tipos de UPGF con características particulares, lo cual permite una adecuada identificación y manejo específico del germoplasma. En el cuadro 2 se incluyen los tipos de unidades consideradas en la norma.

Cuadro 2. Tipos de unidades productoras de germoplasma forestal y sus características.

Tipo	Particularidades
Rodal semillero (UPGF-RS)	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo 50 individuos de la misma especie. • Separación mínima de 20 m entre sí. • Conformadas por áreas compactas o franjas continuas.
Huerto Semillero Sexual (UPGF-HSS)	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta producida por semilla de individuos superiores de rodales naturales o plantaciones con registro de procedencia. • Los individuos superiores deben tener una separación mínima de 100 m entre sí. • Debe ubicarse a más de 100 m de rodales naturales, plantaciones o individuos aislados de la misma especie. • Debe conformar un área compacta y contener un mínimo de 100 individuos, pertenecientes a 20 o más familias.
Huerto Semillero Asexual (UPGF-HSA)	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta de propágulos vegetativos de individuos superiores en rodales naturales o en plantaciones con registro de procedencia. Los individuos superiores de los cuales se obtengan los propágulos para establecerlas, deben tener una separación mínima de 100 m entre sí. • El huerto debe ubicarse a más de 100 m de distancia de rodales naturales, plantaciones o individuos aislados de la misma especie, para prevenir contaminación con polen de individuos ajenos. • Debe conformar un área compacta con una población mínima de 100 individuos, pertenecientes a 20 o más clones. • Los rametos del mismo clon deben mantener una separación mínima de 20 m entre sí, para favorecer el cruzamiento entre clones. • Los individuos deben estar señalizados de manera específica con un código o número que identifique el clon.

Tipo	Particularidades
Banco clonal (UPGF-BC) (figura 41)	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta obtenida de propágulos vegetativos de individuos superiores de rodales naturales o plantaciones con registro de procedencia. Los individuos superiores de donde se obtengan los propágulos, deben tener separación mínima de 100 m entre sí. • Debe contener una población mínima de 100 individuos identificados, pertenecientes a 20 o más clones. • Los individuos que componen la UPGF deben estar señalizados de manera específica con un código o número que identifique el clon al que pertenecen.
Huerto Semillero Sexual Comprobado Genéticamente (UPGF-HSSCG)	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta producida por semilla de individuos superiores con una separación mínima de 100 m entre ellos, de los cuales se comprobó su superioridad mediante plantaciones denominadas “pruebas de progenie”. • Deben contar con registro de progenitores y los procedimientos utilizados para el establecimiento de “pruebas de progenie”. Adicionalmente, se debe contar con la información particular de los predios donde están establecidos, con sus características climáticas y edáficas relevantes. • Debe estar ubicado a más de 100 m de distancia de otros rodales naturales, plantaciones o individuos aislados de la misma especie, para prevenir contaminación con polen de individuos ajenos a la unidad. Excepto para huertos semilleros o bancos clonales de la misma especie, que pueden estar a menos de 100 m. • Debe conformar un área compacta y contener una población mínima de 100 individuos, procedentes de 15 o más familias. • Los individuos de la misma familia deben mantener una separación mínima de 20 m entre sí, para favorecer el intercambio de genes entre individuos de diferentes familias. • Los individuos deben estar señalizados de manera específica mediante código o número que identifique la familia a la que pertenecen.

Tipo	Particularidades
<p>Huerto Semillero Asexual Comprobado Genéticamente (UPGF-HSACG)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta producida de propágulos vegetativos de individuos superiores, seleccionados con separación mínima de 100 m entre ellos, de los cuales se comprobó su superioridad mediante plantaciones denominadas “pruebas de progenie.” • Contar con registro de progenitores y de los procedimientos utilizados para el establecimiento de “pruebas de progenie”. Adicionalmente, se debe contar con la información particular de los predios donde se establecieron, con sus características climáticas y edáficas relevantes. • Deben ubicarse a más de 100 m de distancia de rodales naturales, plantaciones o individuos aislados de la misma especie para prevenir contaminación con polen de individuos ajenos. Excepto para huertos semilleros o bancos clónales de la misma especie, que pueden estar a menos de 100 m. • Debe conformar un área compacta con población mínima de 100 individuos, procedentes de 15 o más clones. • Los rametos del mismo clon deben mantener una separación mínima de 20 m entre sí, para favorecer el intercambio de genes entre individuos de diferentes clones. • Los individuos deben estar señalizados de manera específica mediante un código o número que identifique el clon al que pertenecen.
<p>Banco Clonal Comprobado Genéticamente (UPGF-BCCG)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse con planta producida de propágulos vegetativos de individuos superiores, seleccionados con separación mínima de 100 m entre ellos, de los cuales se comprobó su superioridad mediante plantaciones denominadas “ensayos clónales.” • Contar con registro de progenitores y de procedimientos utilizados para el establecimiento de “ensayos clónales”. Adicionalmente, se debe contar con información particular de los predios donde se establecieron, con sus características climáticas y edáficas relevantes. • Debe conformar un área compacta con población mínima de 50 individuos, pertenecientes a 5 o más clones. • Los individuos deben estar señalizados de manera específica mediante un código o número que identifique el clon al que pertenecen.



Figura 41. Huerto clonal de Teca.
(Fotografía: D. Cibrián)

Consideraciones para el establecimiento de las UPGFs

Para identificar y establecer una Unidad Productora de Germoplasma Forestal es necesario:

- Definir con el dueño del paraje a evaluar, el o los motivos por los cuales se eligió la especie. Se debe tener claro que el objetivo primordial de la elección de la especie es la conservación y restauración de especies en sus ecosistemas; aunque podrán existir otros beneficios, económicos o culturales.
- Realizar un recorrido por el paraje propuesto para verificar si cumple con las características idóneas para ser considerado.
- El estado sanitario del paraje seleccionado es excluyente, lo que significa que en caso de detectarse la presencia de plagas y/o enfermedades, no debe considerarse para establecer una UPGF.
- Elegir parajes que tengan a la mayoría de su población en inicio o en plena edad reproductiva.
- Excluir parajes a orilla de carretera con mucho flujo vehicular (como carreteras federales), ya que son susceptibles a la contaminación de

polen de otras poblaciones de la misma especie con calidad genética desconocida, así como a disturbios en general, por ejemplo, saqueos de los individuos seleccionados. Se recomienda considerar una distancia de amortiguamiento de 100 m entre el predio y la carretera.

- Excluir los parajes que tengan problemas legales, de seguridad o susceptibles a cambio de uso de suelo.

Importancia de los insectos en las UPGFs

En este escenario de manejo, los insectos que se alimentan de conos, frutos y semillas son de gran importancia; por evidencias constantemente observadas se reconoce que el consumo de semillas es elevado durante su desarrollo, dichas semillas representan una fuente extremadamente rica de alimento.

La depredación de la cosecha de conos y semillas puede alcanzar más del 80 % de la producción y con frecuencia es superior al 50 % (Fatzinger 1983, Flores-Lara y Díaz-Esquivel 1985 y Yañez 1991). A nivel mundial se reconoce que solo en coníferas se han descrito más de 400 especies fitófagas que explotan este recurso (Turgeon *et al.* 1994).

En América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América y México), se reconocen más de 70 especies consumidoras de frutos, conos y semillas, la mayoría en los órdenes Hemiptera, Thysanoptera, Coleoptera, Lepidóptera, Diptera e Hymenoptera. En Internet es posible consultar dos publicaciones que describen los insectos que atacan conos y semillas de coníferas, la primera de Hedlin *et al.* 1980 "Cone and seed insects of North American conifers" y de Cibrián *et al.* (1986) "Insectos de conos y semillas de las coníferas de México".

En la nueva estrategia de mejorar la cadena productiva de germoplasma forestal, los dueños de UPGFs deben estar atentos y aplicar medidas preventivas y de control de plagas, sobre todo en aquellos predios que estén dentro del bosque o en su vecindad, ya que es altamente probable que sufran pérdidas importantes en el desarrollo de la cosecha de conos o frutos. Varios de los métodos descritos en este libro son aplicables para la protección fitosanitaria de la producción de semillas.

Un caso particular de gran importancia es la producción de piñón, semilla comestible de varios pinos, especialmente de *Pinus cembroides* Zucc. Los piñoneros en México se distribuyen en

más de 850,000 hectáreas en 17 entidades federativas (Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas) y su producto, el piñón rosa, es altamente apreciado como alimento humano y alcanza altos precios por kilogramo.

En estos bosques la depredación por insectos de los conos en desarrollo es inusualmente alta. En un registro de tabla de vida hecho por Martínez y Flores 1984, se demostró que, de 1,000 conillos marcados y seguidos en su desarrollo, solo 6 de ellos alcanzaron la madurez, los insectos *Conophthorus edulis* Hopkins y *Leptoglossus occidentalis* Heidemann fueron las principales causas de muertes con 50 y 30 % de mortalidad, respectivamente (figuras 42 y 43).



Figura 42. Cono de *Pinus cembroides* muerto por el barrenador *Conophthorus edulis*.
(Fotografía: D. Cibrián)



Figura 43. Chinche semillera, *Leptoglossus occidentalis* posada sobre cono de *Pinus cembroides*.
(Fotografía: D. Cibrián)

Producción de planta en viveros forestales

José Ricardo Sánchez Velázquez y Francisco Javier Cabrales Castellanos



Figura 44. Vivero forestal con trampas amarillas para captura de mosca fungosa.
(Fotografía: S. E. García)

La producción de planta forestal en viveros, dirigida a actividades de restauración, se ha realizado de manera sistemática en México durante más de 100 años; el primer vivero forestal con estos fines se estableció en 1907 (SEMARNAT s.f.). La planta representa uno de los insumos básicos en una plantación; la fase de producción, a su vez, es uno de los componentes principales en el ciclo de reforestación (Sánchez 2018).

La producción de planta forestal forma parte de las prioridades gubernamentales contenidas en diferentes esquemas de asignación de recursos económicos, vía el otorgamiento de subsidios (Reglas de Operación) para realizar actividades de restauración nacional. El marco de acción, defini-

do como programa sexenal que incluye un conjunto de políticas públicas para la protección, restauración y fomento a la producción (PRONARE, PROCOREF, ProÁrbol, PRONAFOR), responde de manera específica a las necesidades que tiene México de realizar actividades de rehabilitación en los diferentes ecosistemas forestales, como respuesta a los graves deterioros gestados por un uso acelerado de los recursos naturales carente de enfoques sostenibles. En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), como Organismo Público Descentralizado del Gobierno Federal, ha implementado acciones de apoyo al sector forestal con la finalidad de disminuir los efectos adversos de la pérdida de la cubierta

forestal. Además, promueve el aumento de la productividad de los bosques mediante la conservación del suelo, la sanidad forestal y la reforestación de áreas prioritarias (Garza *et al.* 2011).

En la actualidad son significativos los cambios y avances en los esquemas de producción de planta forestal de calidad, destacando el sistema intensivo en contenedores rígidos como el principal esquema de producción, en una amplia variedad de instalaciones, de tipos y características de envases, de esquemas y protocolos de fertilización, así como del uso de sustratos con componentes orgánicos e inorgánicos, tanto de origen local como de importación, para una gran diversidad de especies. La producción de planta de calidad, en función de parámetros morfológicos previamente establecidos a nivel de especies o grupo de especies, es el objetivo que todo viverista quiere alcanzar.

Producir planta que reúna las características de calidad integral de salud, es una premisa que ha sido planteada como táctica para el logro de los objetivos de la CONAFOR en torno a los trabajos de reforestación, como esquema básico para atender procesos de restauración, en los diferentes ecosistemas forestales.

Calidad y cantidad de planta

Durante el ciclo de propagación de la planta se realizan operaciones de cultivo que permiten al productor manipular algunas de las condiciones ambientales mediante prácticas de manejo, que influyen en la morfología y la fisiología de la planta (Birchler *et al.* 1998).

La importancia de la calidad de la planta producida en viveros es factor clave de supervivencia (figura 45).

En la determinación de la calidad de las plantas, los parámetros utilizados se basan en aspectos



Figura 45. Planta que cumple estándares de calidad.
(Ilustración: L. Arango)

fenotípicos (externos) denominados comúnmente morfológicos, o en los genotípicos (internos) denominados fisiológicos (Gómez *et al.* 2002).

Uno de los principales indicadores para inferir el éxito de las plantaciones con estos enfoques se orienta a fortalecer e incrementar los porcentajes de supervivencia de la planta en campo. Tal evaluación se realiza por lo menos al año de plantación, con lo cual se asume que las plantas han logrado superar las etapas más críticas de

secas y bajas temperaturas. Para que la planta tenga mayores probabilidades de vida después de su salida a campo, debe cumplir con ciertos estándares definidos de manera previa, mismos que el viverista o el mismo beneficiario considera que una especie o conjunto de especies, deben cumplir.

La mayoría de las veces solo se consideran aspectos morfológicos antes que los fisiológicos, dada la ventaja operativa que representa inferir la calidad de la planta con variables resultantes al final del ciclo de producción como altura, diámetro del cuello de la raíz, conformación del sistema radical, presencia de asociaciones simbióticas (micorrizas), conformación y color del follaje.

Si bien los aspectos fisiológicos permiten inferir la calidad de la planta con mayor certidumbre, su dificultad para determinarlos requiere de instalaciones específicas y mayor tiempo de análisis, por lo cual se vuelven imprácticos.

En lo específico, el componente de sanidad de la planta es un factor determinante para que sea considerada de calidad. Por ello, si bien no existe una variable morfológica específica que permita su determinación, cualquier condición evidente de afectación de un patógeno es motivo suficiente para que sea calificada no apta para su salida a campo, porque ello supone una forma de diseminar agentes nocivos a las áreas de plantación, pero además, si los daños son evidentes, no podrá superar una verificación técnica en términos de calidad.

Resulta necesario que los técnicos encargados de la producción y los beneficiarios tengan conocimiento de las potenciales afectaciones a la sanidad de las plantas, gestadas por agentes causales en los viveros, así como su eventual tratamiento y manejo.

Certificación de viveros

Algunos de los viveros forestales se encuentran en proceso de certificación conforme a la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016, "Certificación de la operación de viveros forestales" (SEMARNAT 2016). Aunque una buena parte de la norma se orienta a las instalaciones, también considera el componente de sanidad como factor de evaluación.

Los viveros militares ya están realizando grandes esfuerzos para mejorar las instalaciones y procesos productivos para dar cumplimiento a lo especificado en la norma; sin embargo, las reducciones en las metas de reforestación y por ende, las necesidades de producción, desincentivarán este proceso.

Tendencia en la producción de planta

En términos del número de viveros y cantidad de planta producida, la tendencia presenta un decremento significativo en los últimos años, debido básicamente a la baja presupuestal de recursos fiscales dedicados a las actividades de restauración forestal.

En 2013 se contaba con una red de 358 viveros en los cuales se producía cerca de 275 millones de plantas por año (Burney *et al.* 2015).

Para 2016, la cantidad de planta producida fue de 213.6 millones, en 291 viveros, de los cuales 182 eran privados, 34 pertenecientes a gobiernos estatales, 2 a gobiernos municipales, 19 a ejidos y comunidades, 6 de instituciones de enseñanza e investigación y 48 del gobierno federal; de estos últimos, 25 fueron manejados por la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y 23 por la CONAFOR (Sánchez 2018). Para el 2018, hubo 258 viveros, de los cuales 209 correspondieron

a asociaciones u organizaciones sociales (la mayoría integradas como pequeñas empresas productivas), gobiernos estatales y municipales; 25 a la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y 24 a la CONAFOR.

La CONAFOR, como entidad requirente, concerta la producción de planta con terceros, vía convenios, para cumplir con el objetivo y metas del programa de reforestación anual (figura 46).

Para el 2019, tanto el número de viveros como la producción de planta continuó con una tendencia a la baja. El comparativo en número de viveros, producción anual e instancias productoras se presenta en el cuadro 3.

La planta en producción asciende a 81 millones en 160 viveros, y sirvió para las actividades de reforestación (figura 47).



Figura 46. Distribución de viveros en la República Mexicana por tipo de instancia productora (Fuente: Sánchez 2018).

Cuadro 3. Número de viveros por tipo de instancia productora en los años 2016 y 2018

Instancia productora	Viveros (No.)		Planta producida (millones)	
	Año 2016	Año 2018	2016	2018
SEDENA	25	25	59.9	33.27
Ejidos y Comunidades	19	15	7.8	4.33
Gobiernos de los Estados	34	19	11.3	4.56
Gobiernos Municipales	2	2	1.0	0.39
Institutos de Enseñanza e Investigación	6	4	1.4	1.19
Organizaciones y particulares	182	169	130.8	101.36
CONAFOR	23	24	1.5	1.63
Total	291	258	213.6	146.3

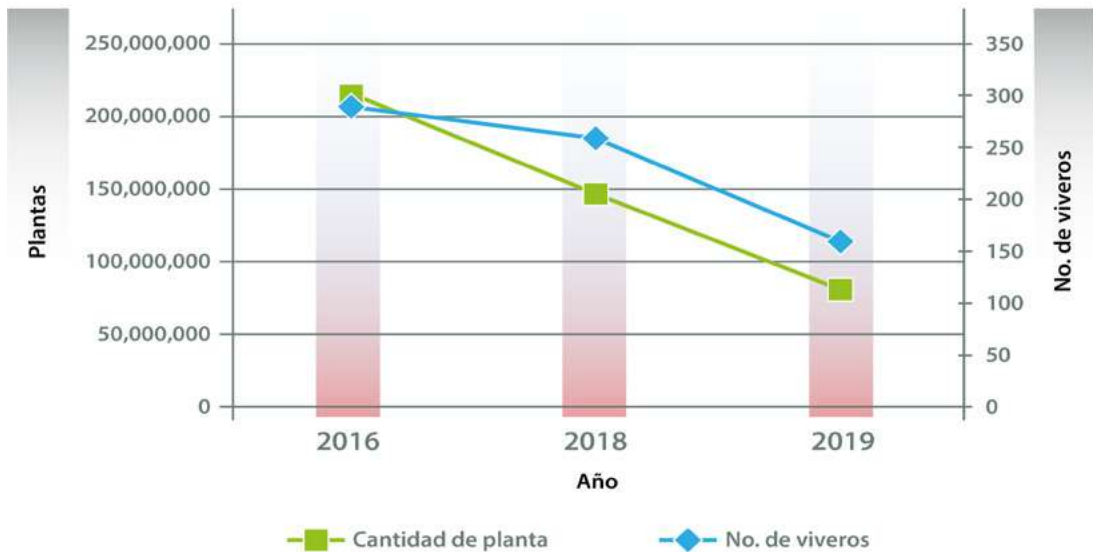


Figura 47. Tendencia de producción de planta forestal y número de viveros para los años 2016, 2018 y 2019.

Nuevo enfoque de restauración forestal

A partir del 2020 se proyecta que las actividades de restauración forestal se realicen considerando como unidad de gestión a la microcuenca, encausando los esfuerzos en un esquema de Manejo Integral del Territorio (MIT), en el cual converjan actividades productivas y de restauración en torno a los sectores forestal y agropecuario, como una amalgama de acciones.

Derivado de ello, las actividades de reforestación y, por ende, la producción de planta considerará una menor producción en términos de cantidad, sin embargo, se incrementará el número de especies a reproducir.

Se pretende abordar la problemática con una visión integral de la restauración, priorizando áreas compactas de paisaje, mediante la ubicación de zonas elegibles potenciales, evitando la reforestación dispersa, en un enfoque mul-

tianual, para lo cual se usarán solo especies nativas; con este enfoque y una estricta focalización de acciones de restauración en zonas de alto interés, se pretende recuperar bienes y servicios ambientales propios de los ecosistemas degradados.

Para la puesta en marcha de este nuevo esquema de abordaje territorial, es necesario continuar desarrollando paquetes tecnológicos en torno a la reproducción de especies de tipo arbóreo, arbustivo y herbáceo que, a la fecha, no se han utilizado con estos fines.

Aunado a ello, será necesario desarrollar nuevos protocolos para el manejo y control de plagas y enfermedades en torno a los nuevos nichos reproductivos, y a la vez, continuar desarrollando esquemas de inocuidad para especies clave.

La evaluación y seguimiento en vivero y en la plantación de campo debe considerar aspectos morfológicos como altura, diámetro a la base del tallo y color del follaje, también de integridad

(posibles afectaciones o daños producidos por incendios o pastoreo) y el aspecto visual en términos de salud y que no presente condiciones evidentes de afectaciones derivadas de alguna plaga o enfermedad, ni condicione de manera significativa su supervivencia en campo, es decir, mantenga adecuado vigor para sobrevivir y desarrollarse.

Adicionalmente, la certificación y actualización de conocimientos sobre Sanidad Forestal debe ser una constante para el personal técnico, lo cual permitirá la identificación de síntomas y signos por plagas y enfermedades para realizar acciones preventivas y detectar problemas fitosanitarios en etapas tempranas.

Importancia de los insectos en la producción de planta forestal

En 2008 se realizó un diagnóstico de la condición fitosanitaria de 129 viveros forestales en 29 Estados de la República Mexicana (CONAFOR 2009). En dicho diagnóstico se identificaron 69 especies de insectos fitófagos, algunos de ellos fueron plaga que requirió atención fitosanitaria.

Estas especies se agruparon de acuerdo con hábitos y formas de alimentación, reconociendo cinco tipos, en cada uno de ellos se identificaron los de mayor importancia quedando como sigue:

Insectos del suelo. Las larvas de las mosquitas fungosas de los géneros *Bradysia* y *Lycoriella* son importantes en los viveros que usan contenedores y sustratos artificiales (figura 48); en cambio las larvas de gallina ciega de los géneros *Phyllophaga* y *Anomala* son plagas importantes en viveros tradicionales.

Insectos defoliadores. Se reconocieron varios tipos, hormigas arrieras, diabroticas y otros cri-

sómelidos, chapulines, gusanos peludos, gusanos cortadores y gusanos minadores de hojas entre los de mayor importancia.

Chupadores de savia. Chinchas, chicharritas, mosquitas blancas, pulgones, pulgones lanígeros, filoxeras, escamas y piojos harinosos fueron frecuentes y, en algunos casos, importantes.

Agalladores. Varias especies de psílidos son de importancia, como *Calophya rubra* (Blanchard).

Barrenadores. Se reconocieron dos especies de gran importancia fitosanitaria, *Hypsipyla grandella* Zeller en viveros de meliáceas y *Rhyacionia frustrana* (Comstock) en viveros de pinos tropicales.

La información recabada en este diagnóstico se publicó en un manual de identificación y manejo por la CONAFOR, (Cibrián 2008) el cual está disponible en la página de esa institución.

En los últimos años, los viveros que utilizan "peat moss" y otros sustratos como corteza de pino han padecido severas infestaciones por mosquitas fungosas del género *Bradysia*, las cuales han causado pérdidas de hasta el 25% de la producción anual de planta, lo que ha obligado a realizar aplicaciones continuas de insecticidas, químicos y biológicos.



Figura 48. Adulto de la mosquita fungosa *Bradysia impatiens*, principal plaga en los viveros que utilizan sustratos procesados. (Fotografía: E. Llanderal)

La reforestación con fines de restauración

José Ricardo Sánchez Velázquez y David Cibrián Tovar



Figura 49. Plantación de restauración con *Pinus patula*, la plantación se hizo para rehabilitar el predio que tuvo encinos *Quercus affinis* infestados y matados por la avispa agalladora *Andricus quercuslaurinus*. (Fotografía: D. Cibrián)

Una actividad que ha recibido atención y financiamiento importante en las últimas dos décadas es la reforestación para promover procesos de restauración y rehabilitación ecológica de terrenos.

De acuerdo con los datos de SEMARNAT, tan solo entre 2012 y 2018 se liberaron apoyos para establecer plantaciones de reforestación en casi un millón de hectáreas, establecidas en terrenos afectados por cambio de uso del suelo, tala ilegal, incendios forestales, plagas y eventos catastróficos como huracanes, entre otros. El dato de planta superviviente después del primer año de plantada es del 70%, aunque en los siguientes años esta cifra se reduce drásticamente (figura 49).

Hasta la fecha, la gran mayoría de este tipo de plantaciones se han realizado con fines de recuperación de la cubierta forestal, sin considerar en el mediano y largo plazo un objetivo económico al final del turno de crecimiento de los árboles; tampoco se busca preservar la flora y fauna o el restablecimiento de los procesos ecosistémicos para incrementar los bienes y servicios.

El apoyo que se otorga a los dueños y poseedores de estos predios en forma de subsidio no contempla objetivos de manejo bien establecidos, ni un financiamiento complementario que permita conducir estas masas plantadas hacia un horizonte que derive en una determinada rentabilidad.

Las plantaciones así establecidas se dejaron a su libre desarrollo; hubo cierto éxito cuando se plantó la especie de árbol adecuada a las condiciones climáticas y de sitio y en la temporada de lluvias; sin embargo, hubo fracaso cuando se plantó una especie no apropiada al sitio o fuera del tiempo recomendado. En este escenario, la salud de los árboles tiene mayor probabilidad de ser baja, ya que no existe monitoreo, prevención y supresión de plagas o enfermedades y los árboles enfrentan condiciones de estrés por estar en suelos degradados, falta de cultivo y protección.

Una estrategia que se condujo para paliar esta situación es la creación de las Normas Mexicanas (NMX) de producción de germoplasma y de producción de planta de vivero.

La primera pretende, mediante esquemas de aplicación voluntaria, asegurar que la semilla con que se produce la planta en los viveros forestales y se establece en campo, deba provenir de terrenos forestales de la misma subprovincia fisiográfica marcada por el INEGI.

Con la segunda se busca cumplir con ciertos estándares de calidad establecidos para incrementar la calidad de planta que se lleva a campo. Sin embargo, una gran parte de esta última norma se orienta al equipamiento e instalaciones de los viveros y, en menor proporción, a los procesos biológicos de las plantas.

En la presente administración (2019-2024) se pretende cambiar sustancialmente este enfoque, mediante rigurosa planeación, determinación de áreas prioritarias y un enfoque integral de atención de microcuencas. Mediante la determinación de factores prioritarios como los niveles de degradación, fragmentación, tipo de ecosistemas, clima, tipos de vegetación, cobertura forestal, marginación y población indígena, entre otros, se pretende focalizar superficies para

ser sometidas a prácticas de restauración. La caracterización del sitio será el punto de partida para la proyección del tipo de intervención, priorizando aquellos terrenos que se encuentren en la parte alta y media de la cuenca. Se determinarán las acciones a realizar, el tipo y cantidad de especies a incorporar (arbóreas, arbustivas y herbáceas) y obras de conservación de suelos para captar agua de lluvia e incrementar la humedad del sitio, cuando sean necesarias. Los propietarios de los terrenos participarán de manera informada en el uso potencial de sus predios (productivo, conservación), lo cual debe contribuir a perfilar las acciones técnicas a realizar.

La restauración forestal será vista desde una perspectiva económico-financiera, donde la incorporación de actividades culturales, mano de obra y costos directos asociados a la actividad, serán considerados como inversión que es necesario cuidar e incrementar en el tiempo. Se buscará que se mantengan diferentes apoyos (subsidios) en diferentes fases del turno, hasta que sea posible asegurar su crecimiento y desarrollo. Así, el objetivo de manejo y cosecha final en los predios restaurados se fundamentan en criterios iniciales de la restauración, con mayor participación de los dueños y los técnicos, con lo cual la salud forestal será mejor atendida mediante acciones de monitoreo, prevención y pronta respuesta ante infestaciones por plagas.

Programa “Sembrando Vida”

Es un programa federal de reciente creación orientado a atender una problemática tanto social como ambiental. Busca incentivar a los sujetos agrarios a establecer sistemas productivos agroforestales, combinando la producción de los cultivos tradicionales con árboles frutícolas y maderables, referido como sistema de Mil-

pa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF), con lo que se busca contribuir en la generación de empleos, incentivar la autosuficiencia alimentaria, mejorar los ingresos de los pobladores y recuperar la cobertura forestal de un millón de hectáreas en el país. El Programa tiene cobertura en las siguientes 19 entidades federativas: Campeche, Chiapas, Chihuahua, Colima, Durango, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán. Los lineamientos de operación se publicaron en el Diario Oficial de la Federación del 24 de enero de 2019 (Secretaría de Bienestar 2019) (figura 50).

El modelo se basa en otorgar apoyos económicos a sujetos agrarios, mayores de edad, que habitan en localidades rurales, con ingreso inferior a la línea de bienestar rural, propietarios o

poseedores de 2.5 hectáreas disponibles para ser intervenidas en un proyecto agroforestal. Los requisitos son: ser mayor de edad, firmar la solicitud de ingreso al programa, copia simple de identificación, copia simple de la CURP y tener disponible una unidad de producción de 2.5 hectáreas para el proyecto agroforestal. Las personas inscritas recibirán un apoyo de \$5,000.00 (cinco mil pesos 00/100 M.N.) mensuales, del cual \$500.00 (quinientos pesos 00/100) se destinarán como ahorro, y de estos, \$450.00 (cuatrocientos cincuenta pesos 00/100) serán destinados a una cuenta de ahorro y \$50.00 (cincuenta pesos 00/100 M.N.) podrán ser destinados al Fondo de Bienestar.

Los dueños de los terrenos junto con los técnicos involucrados en la operación del programa, conducirán el desarrollo de las plantaciones.



Figura 50. Plantación mezclada, cafetal a cielo abierto con hileras de plantación utilizando cedro rojo, *Cedrela odorata*. (Fotografía: D. Cibrián)

Una característica relevante para el manejo es la poca superficie plantada donde se tendrán especies de importancia agroforestal, inmersas en un ambiente natural, que permite la interacción de los organismos desde y hacia el bosque, por lo cual se considera que la presencia de plagas y enfermedades en este entorno puede ser relevante, con altas probabilidades de afectar la supervivencia y desarrollo de las plantas.

En este marco de importancia se sugiere que el enfoque de atención sea preventivo y, de ser necesario, se apliquen tratamientos de combate o control de bajo costo y bajo impacto ecológico, para lo cual se deben favorecer opciones de control biológico o cultural en primera instancia.

El enfoque de Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF) es apropiado para este tipo de esquemas productivos; sin embargo, requiere de una labor intensa de capacitación y transferencia tecnológica.

Especial atención requerirá el proceso de producción de planta (recolección de semilla, siembra y crecimiento), transporte y plantación de especies arbóreas, considerando el conjunto de actividades inherentes que pueden representar un factor importante para la diseminación de agentes patógenos. El sitio de producción (vivero), la distancia y manejo del material vegetal serán factores importantes a considerar.

Importancia de los insectos en la restauración productiva

El impacto de plagas insectiles en este escenario dependerá de las especies a utilizar, de las condiciones de los terrenos seleccionados, de la intensidad de cultivo que provea el dueño, del origen del material vegetal que se use para la plantación y de las condiciones climatológicas. En el caso de meliáceas, cedro rojo y caoba,

existe la amenaza del barrenador (*Hypsipyla grandella*), que puede hacer fracasar plantaciones de pequeño tamaño como las que se plantean en este programa; ya lo ha hecho a lo largo del territorio nacional en donde está presente.

En el pasado este insecto ha causado grandes frustraciones en personas que establecieron estas especies de árboles en sitios inapropiados. Para su atención se debe tener un programa MIP que sea fácilmente entendido por los productores. En la dirección electrónica de la CONAFOR, se encuentra el “Manual de plagas en plantaciones forestales comerciales” de Cibrián 2013, en el cual se ofrece información básica y de control de este insecto y otros que afectan plantaciones forestales tropicales.

En la Península de Yucatán las plantaciones de meliáceas son afectadas por el barrenador *Chrysobothris yucatanensis* Van Dyke, (figura 51) plaga de gran importancia en plantaciones establecidas en suelos calcáreos, la atención fitosanitaria será de gran importancia para el desarrollo exitoso de las plantaciones.

En el programa Sembrando Vida se utilizará una gran diversidad de especies frutales y maderables; para muchas de estas últimas no se tiene la información de agentes fitosanitarios de importancia, por lo cual es prioritario realizar los estudios de diagnóstico en las especies que se sugiera establecer en este modelo de producción.



Figura 51. Adulto del barrenador *Chrysobothris* en tallo de cedro rojo *Cedrela odorata*. (Fotografía: D. Cibrián)

Plantaciones comerciales

Hugo Medrano Farfán



Figura 52. Plantación comercial de teca, *Tectona grandis*, en Tabasco.
(Fotografía: D. Cibrián)

En el ámbito internacional existe un claro contraste entre la tendencia de incremento o reducción de la superficie forestal de los países desarrollados y la de aquellos en proceso de desarrollo. Este contraste se manifiesta claramente en los últimos 20 años; la superficie forestal en los primeros se ha incrementado, mientras que ha disminuido en los países en vías de desarrollo, sobre todo en áreas tropicales.

Por esto, el establecimiento de plantaciones forestales juega un papel principal en la solución del grave problema de la deforestación y del desabasto de bienes y servicios derivados del bosque, ya que por un lado permite restaurar

la cobertura arbórea y quizá detener el avance de la agricultura y la ganadería extensivas al convertirse en una actividad rentable en el largo plazo, mientras que por otro lado permite incrementar la producción maderable por unidad de superficie (Torres y Magaña 2001) (figura 52).

De acuerdo con la FAO 2010, los bosques plantados están compuestos de árboles establecidos por medio de plantación y/o de siembra deliberada de especies nativas o introducidas. El establecimiento se hace a través de forestación en terrenos desprovistos de bosques, dedicados a otros usos o denudados por fenómenos sociales o naturales o mediante reforestación de áreas ya

clasificadas como bosques y que sufrieron un incendio, una plaga o una tormenta.

El concepto de bosques plantados es más amplio que el de plantaciones forestales, utilizado en anteriores evaluaciones mundiales de este mismo organismo.

Las plantaciones forestales tienen importancia creciente para satisfacer las necesidades de madera y subproductos, útiles en todo el mundo, y para mejorar los niveles de vida, asimismo para compensar la menor disponibilidad de madera y otros productos forestales provenientes de los bosques naturales (figura 53).

También se necesitan plantaciones para rehabilitar zonas despojadas de vegetación arbórea, como páramos afectados por la salinidad, y donde se necesita la regeneración rápida de la cubierta vegetal como, por ejemplo, en el caso de

la protección de cuencas, represas y canales, o la estabilización de laderas o arenas móviles (Palmberg y Ball 1998).

En México, de acuerdo con la legislación, el concepto de plantación forestal comercial ha tenido históricamente varias connotaciones.

En el periodo de 2003 al 2018, la mayoría de las plantaciones comerciales establecidas en el país, se efectuaron prácticamente en el marco de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) de 2003 (abrogada en 2018), que en su artículo 7° fracción XIX define a la PFC como “el establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización”



Figura 53. Plantación de caoba, *Swietenia macrophylla*, en la región de Las Choapas, Veracruz.
(Fotografía: D. Cibrián)

Antecedentes

Los países de América Latina otorgan subsidios para promover la forestación, son heterogéneos y se basan en la trayectoria histórica de cada país y sus políticas.

A continuación se mencionan algunas ventajas de dichos subsidios (Haltia y Keipi 1997):

- Modificar el sesgo anti-forestal de los agricultores quienes tradicionalmente han considerado a los bosques como enemigos del desarrollo agrícola.
- Aumentar las tasas de rendimiento de las inversiones que puedan tener una rentabilidad privada relativamente baja pero que ofrezcan beneficios externos para toda la sociedad.
- Reducir el riesgo y la incertidumbre que surgen especialmente de los largos períodos de gestión de las inversiones forestales.
- Reducir los problemas de flujo de fondos durante los períodos largos que se requieren para recobrar los costos de establecimiento y mantenimiento de una plantación hasta que se comienzan a percibir ingresos.
- Establecer una masa crítica de plantaciones necesaria para el crecimiento inicial de industrias forestales competitivas.
- Acelerar el desarrollo inicial de las plantaciones ya sean para propósitos de silvicultura industrial o social.

Los subsidios se han justificado en base a argumentos tradicionales de la teoría del desarrollo, tales como la sustitución de importaciones o el fomento de las industrias de exportación.

Algunos países con ventajas comparativas en forestación usan los incentivos para acelerar la tasa de establecimiento inicial de plantaciones. Sin embargo, no está claro si los gobiernos pueden controlar las presiones para extender los subsidios también a otros sectores.

Chile, cuyo sistema de incentivos ha sido muy exitoso, está teniendo dificultades en dejar de usar subsidios cuando la inversión en plantaciones ya ha recibido el impulso inicial deseado para lograr una forestación masiva del país (Haltia y Keipi 1997).

Sosa 2012 establece que “diversos grupos industriales, en 1994, solicitaron al Gobierno Federal mexicano incentivos para invertir en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, señalando que otros países como Brasil y Chile contaban con estos apoyos, y los industriales de México estaban en desventaja competitiva. Derivado de lo anterior, se estableció la conveniencia de promover un Sistema Integral de Estímulos y Apoyos al Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PFC), a fin de contar con un tratamiento fiscal preferencial, así como apoyar la consolidación de proyectos de plantaciones comerciales en marcha y promover la incorporación de nuevos proyectos. En 1996 se iniciaron las negociaciones con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, para establecer un programa de incentivos a las PFC, tomando como base para su diseño los proyectos de PFC que estaban en marcha, las experiencias chilena y brasileña en materia de incentivos a PFC y los diagnósticos en la materia entre 1998 y 2000.

En México, la Ley Forestal de 1992, reformada en 1997, institucionalizó los subsidios para las plantaciones en el marco jurídico forestal.

Dichos subsidios se otorgaron hasta por siete años, y por un monto de 250 millones de pesos, (SEMARNAP 1997).

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo y del Programa Forestal y de Suelo 1995-2000, se estableció el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), que prevé el otorgamiento de subsidios transi-

torios para fomentar el establecimiento y desarrollo de plantaciones forestales comerciales, que contribuyan a mejorar las condiciones ambientales, proveer materias primas forestales en condiciones de mayor competitividad e impulsar el desarrollo sustentable a nivel regional (SEMARNAP 1999).

Así, en 1997, fue creado el PRODEPLAN. Primero en su tipo en México para satisfacer la demanda interna de productos maderables y no maderables, disminuyendo las importaciones, y para crear alternativas de diversificación productiva mediante la reconversión al uso forestal de terrenos desmontados con fines agropecuarios.

El principal objetivo del PRODEPLAN fue apoyar, en 25 años, el establecimiento de 875,000 hectáreas de plantaciones forestales comerciales; tenía como propósito reducir las importaciones de productos forestales, creando al mismo tiempo alternativas de desarrollo sustentable y diversificación productiva en México (Sosa 2012).

Este programa inició proporcionando subsidios directos, como compensación parcial de hasta el 65 % de los gastos efectuados en el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones, por un período máximo de siete años. Los subsidios, en un inicio, se asignaban a través de licitaciones públicas. Los recursos del PRODEPLAN se manejaban a través de un Fideicomiso constituido en Nacional Financiera, lo cual implicaba que no se dependía de los ejercicios fiscales anuales y se tenía la seguridad de que los proyectos beneficiarios, tendrían asegurados y disponibles los recursos que les fueran asignados (CONAFOR 2012). Posteriormente el término “subsidio”, se convirtió al de “apoyos”, y se define como los recursos económicos que el gobierno federal prevé en el Presupuesto de Egresos de la Federación, y las transferencias y aportaciones que ingresen al Fondo Forestal Mexicano, que

se otorgan por conducto de la Comisión Nacional Forestal a las personas beneficiarias de los proyectos de plantaciones forestales comerciales (CONAFOR 2014).

El Programa Estratégico Forestal para México 2025 (CONAFOR 2001), destaca la importancia de las PFC en el aumento de la producción maderable, buscando que se logre el abastecimiento a la industria forestal, la reducción de la presión sobre los bosques naturales, el fomento de la inversión privada y social al sector forestal, y la conversión de áreas degradadas o improductivas en bosques productivos, contribuyendo al mejoramiento del ambiente.

En 2001, con la creación de la CONAFOR, se presentó un nuevo contexto de política forestal del país, y por ello en el PEF 2025 se tuvo un nuevo documento rector de política federal forestal; en este marco el PRODEPLAN fue rediseñado a fin de poder responder a las expectativas en materia de plantaciones forestales.

De conformidad con las estrategias y líneas de acción definidas en el Programa Nacional Forestal 2014-2018 (PRONAFOR), en el Programa Institucional de la CONAFOR, así como en el Programa Específico de Intervención institucional de Plantaciones Forestales Comerciales, se implementaron acciones que permitieron fortalecer lo siguiente:

- Diseñar estímulos económicos que fomenten el desarrollo de PFC para reducir costos de establecimiento.
- Integrar alianzas público-privadas que permitan transferir paquetes tecnológicos para el desarrollo de PFC de alta productividad, vinculadas con la industria.
- Fomentar la participación de los gobiernos estatales y municipales, así como de organizaciones relacionadas con las PFC.

- Fomentar el acceso al crédito para complementar el costo de las inversiones e incrementar su rentabilidad.

Como estrategia para que el esquema de apoyos y estímulos económicos, tuviera mas impacto en la expansión del establecimiento de PFC con fines maderables y de doble propósito, y a fin de evitar la dispersión de recursos y proyectos por todo el país, a partir del año 2014, los apoyos del PRONAFOR, para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, se focalizaron mediante el uso de especies de rápido crecimiento y alto valor comercial,

Ubicadas en regiones con clima tropical y templado que tienen las mejores condiciones para el desarrollo de PFC (solo 11 Estados de la república; Campeche, Tabasco, Chiapas, Veracruz,

Oaxaca, Puebla, México, Tamaulipas, Chihuahua, Durango y Michoacán (figura 54).

De manera general, y solo con base en criterios agroecológicos, topográficos y fisiográficos, sin considerar los aspectos sociales como la tenencia de la tierra, entre otros, la CONAFOR determinó que en México existen 7 millones de hectáreas con potencial para el desarrollo de plantaciones comerciales.

Según información de CONAFOR al 31 de noviembre del 2018, durante el periodo 2000 al 2018, se establecieron en el país 349,235 hectáreas de PFC con apoyos del Gobierno Federal. De la superficie total, el 63.8% correspondió a plantaciones con especies maderables (222,909 ha) y 36.2% a especies no maderables (126,326 ha), estas últimas incluyen las plantaciones de doble propósito (cuadro 4).



Figura 54. Plantación comercial de *Eucalyptus urophylla* en la región de Las Choapas, Veracruz. Está defoliada parcialmente por larvas de *Sarsina violascens*. (Fotografía: D. Cibrián)

Las principales entidades federativas con superficies de PFC maderables establecidas son: Tabasco (44,188 ha), Veracruz (36,125 ha), Campeche (25,914 ha), Chiapas (15,887 ha), Michoacán (14,904 ha), Puebla (13,900 ha) y Oaxaca (12,978 ha), que concentran el 74% del total de la superficie establecida.

Las entidades de Coahuila (41,353 ha), San Luis Potosí (17,331 ha), Veracruz (14,505 ha), Zacatecas (8,216 ha), Chiapas (12,734 ha), Yucatán (5,118 ha), Oaxaca (3,536 ha) y Tabasco (3,480 ha) concentran 84% de las superficies de PFC no maderables y de doble propósito.

Las especies más utilizadas en las plantaciones maderables en México son: Eucalipto (*Eucalyptus urophylla* (S. T. Blake), *E. grandis* Hill ex Maide, *E. camaldulensis* Dehnh, entre otros) con 42,305 ha; Cedro rojo (*Cedrela odorata* Linnaeus) con 37,219 ha; Pino (*Pinus patula* Schl. et Cham, *P. greggii* Engelm, *P. pseudostrobus* Lindl, entre otros) con 34,009 ha; Teca (*Tectona grandis* L. f.) con 30,775

ha y Melina (*Gmelina arborea* Roxb) con 28,062 ha; Rosa morada (*Tabebuia rosea* (Bertol)) con 9,656 ha; Mezquite (*Prosopis* spp.) con 9,102; caoba (*Swietenia macrophylla* King) con 8,433 ha y otras con 23,344 ha. Las primeras concentran 90% de la superficie establecida en el mismo periodo.

Para el caso de las plantaciones no maderables, las principales especies utilizadas son: Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Tor.), Piñón de aceite (*Jatropha curcas* Linnaeus, Palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart., así como las empleadas para árboles de Navidad (*Pinus ayacahuite* Ehr. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) (figura 55).

Así mismo las especies de doble propósito establecidas fueron hule (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg.) con 19,952 ha y pinos resineros (*Pinus caribaea* Morelet y *P. elliottii* Engelm. entre otros) con 4,646 hectáreas.



Figura 55. Plantación de árboles de Navidad con *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*.
(Fotografía: D. Cibrián)

Cuadro 4. Plantaciones forestales establecidas por entidad federativa en el periodo 2000-2018 y resumen por año.

Fuente: Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. CONAFOR, 2018.

SUPERFICIES (HA) DE PFC ESTABLECIDAS 2000-2018			
	TIPO DE PFC		
ESTADO	MADERABLE	NO MADERABLE	TOTAL
Aguascalientes	782	5	787
Baja California	90	276	366
Campeche	25,914	165	26,078
Chiapas	15,887	12,734	28,621
Chihuahua	6,140	1,752	7,892
Coahuila	725	41,353	42,078
Colima	197	85	281
Distrito Federal	265	234	499
Durango	4,362	1,773	6,135
Guanajuato	1,472	1,291	2,763
Guerrero	6,003	258	6,261
Hidalgo	1,376	1,816	3,193
Jalisco	6,084	226	6,310
México	6,652	1,333	7,985
Michoacán	14,904	2,326	17,230
Morelos	0	10	10
Nayarit	2,831	2,412	5,242
Nuevo León	837	1,685	2,522
Oaxaca	12,978	3,536	16,513
Puebla	13,900	3,124	17,024
Querétaro	486	74	560
Quintana Roo	3,048	73	3,121
San Luis Potosí	1,749	17,331	19,080
Sinaloa	1,421	46	1,467
Sonora	10	30	40
Tabasco	44,188	3,480	47,668
Tamaulipas	10,075	803	10,879
Tlaxcala	1,000	256	1,257
Veracruz	36,125	14,505	50,630
Yucatán	2,677	5,118	7,795
Zacatecas	732	8,216	8,947
TOTAL	222,909	126,326	349,235

SUPERFICIES (HA) POR AÑO		
AÑO	TIPO DE PLANTACIÓN	
	MADERABLE	NO MADERABLE
2000	2,796	300
2001	4,174	250
2002	4,644	400
2003	6,119	1,234
2004	11,293	899
2005	13,838	1,518
2006	18,135	5,661
2007	12,915	5,381
2008	22,398	9,709
2009	18,774	17,496
2010	12,766	12,691
2011	16,279	12,571
2012	11,478	18,431
2013	12,216	15,294
2014	9,770	10,295
2015	12,644	5,357
2016	13,789	4,215
2017	10,085	1,917
2018	8,797	2,703
TOTAL GENERAL	222,909	126,326

Fondo Nacional Forestal (FONAFOR)

El FONAFOR se constituyó en el año de 2011 con un capital de 1,100 millones de pesos aportados por la CONAFOR y administrado por FIRA, con el propósito de desarrollar un instrumento financiero que apoyara el incremento de la superficie de PFC en México, mediante la concesión de crédito con características tales que disminuyera el riesgo crediticio y apoyara la capacidad de pago de los proyectos en las etapas iniciales. Para ello, se consideraron, por una parte, la aportación de garantías de recuperación de los créditos y, por otra, la aportación de recursos para cubrir los intereses devengados por los créditos en tanto que los proyectos generan sus propios ingresos por la venta de los productos obtenidos.

En este sentido se pretendía enfrentar y resolver la problemática que prevalece en los proyectos de PFC, principalmente la falta de créditos adecuados a proyectos con largos periodos de maduración; las inversiones son tan cuantiosas que se requiere crédito como complemento a los recursos de los plantadores; también son indispensables los periodos de gracia, tanto en capital como en intereses, dado que los proyectos no generan ingresos en los primeros años; aunado a ello la problemática de carácter técnico, desconocimiento e inexperiencia en el negocio del cultivo de árboles por los inversionistas, falta de material genético de calidad, ausencia de paquetes tecnológicos y el minifundio en general de la tenencia de la tierra.

El FONAFOR, en su origen se constituyó por dos fondos: el Fondo de Garantía Líquida (FGL), que aportó 20% del importe de cada crédito como garantía líquida para la recuperación del mismo, y el Fondo de Reserva para Pago de Intereses (FRPI), que garantiza el pago de intereses generados por el crédito, hasta por 15 años como

plazo máximo, a una tasa máxima del 10% anual sobre saldos insolutos. En caso de que el proyecto se siniestre, pierda viabilidad o no se recupere el crédito, tanto el FGL como el FRPI, asociados a ese proyecto, asumirán el carácter de garantía y fuente alterna de pago, disminuyendo así el riesgo crediticio.

Mediante este fideicomiso, al 2018 se han apoyado 23 proyectos que ejercieron el crédito en una superficie de 36,947 hectáreas con especies como teca, pino resinero, eucalipto, hule y melina (CONAFOR 2018).

El FONAFOR permitió la concesión de crédito para proyectos de PFC que tienen largo periodo de maduración. Con el apoyo a proyectos de PFC, considerado de alto impacto económico, el FONAFOR promovió el desarrollo regional en amplias zonas del sureste mexicano. Tuvo su inicio en 2011, con un crecimiento lento al principio, con un máximo en el año 2015; a partir del cual se desplomó, al grado que después del 2016 no hubo colocación de fondos para apalancar proyectos de PFC.

Aspectos destacados en Plantaciones Forestales Comerciales

- La CONAFOR (2018), estimó de acuerdo con datos preliminares de la SEMARNAT para el anuario estadístico 2017, que las PFC contribuyeron con 726 mil m³ a la producción forestal maderable, lo que representó una contribución nacional del orden del 8.1%.
- Las PFC establecidas con apoyo de CONAFOR de las empresas como: Proteak (Huimanguillo, Tabasco), Santa Genoveva (Campeche, Chiapas y Tabasco), Uumbal (Las Choapas, Veracruz), Proplanse (Tabasco), Agropical (Huimanguillo, Tabasco), entre otras, son referente nacional. Estas empresas plantadoras, han desarrollado

una importante infraestructura de viveros y de personal altamente calificado para la producción de planta de calidad, que utilizan para su propia producción de planta y que podría surtir a terceros en caso de demandas emergentes.

- Las PFC son actualmente una fuente importante de fuentes de trabajo, especialmente en el medio rural de las regiones donde se han impulsado con mayor fuerza, como es el caso del sureste del país.
- Se ha impulsado el desarrollo de industria específica a partir de materias primas provenientes de PFC como son: industria de tableros de MDF, industria resinera mediante plantaciones de pinos de clima tropical y templado, industria de chapa y triplay, así como industria mueblera.
- Se han fortalecido esquemas de apoyo para PFC vinculando empresas industriales con ejidos y comunidades (como los casos de la organización denominada Ejido verde-Unión Nacional de Resineros en Michoacán y recientemente con el Ejido Tres Garantías en Quintana Roo).
- Se inició con la promoción de PFC que proveen esquemas de compromiso de compra-venta de materias primas celulósicas con empresas consumidoras de estas (Biopapel-Scribe).
- Algunos proyectos empresariales han incurrido en el mercado de certificados de carbono (Proteak).

Oportunidades y retos

Como ya se mencionó, las plantaciones forestales comerciales es una actividad que requiere inversiones altas, con periodos largos de recuperación y riesgo alto involucrado. Adicionalmente, los requerimientos tecnológicos (producción de planta, preparación de terrenos y manejo de las plantaciones) también son altos, por lo que históricamente la actividad ha estado acompañada

por incentivos gubernamentales que tienen como objetivo reducir los costos y el riesgo de las inversiones. A pesar de que se han tenido avances y aprendizajes muy importantes en el diseño y aplicación de la política pública en materia de PFC, se tienen identificados factores que han limitado el desarrollo de las plantaciones forestales comerciales. El bajo dinamismo en el desarrollo de PFC en México, y por ende su baja contribución en la actualidad a la producción nacional de productos forestales maderables, se debe a una serie de factores de carácter social, económico, y de política pública (CONAFOR 2012). Torres y Magaña 2001 refieren que el establecimiento de PFC en México, se ha enfrentado a grandes problemas técnicos, financieros y de organización. En este sentido, se identifican las siguientes oportunidades y retos en PFC:

Con respecto a las metas originalmente establecidas en cuanto a superficie de PFC, para 2022 se proyectaba el establecimiento de 875,000 ha; Sin embargo, solo se lograron 349,235 ha, lo que representa 40% de la meta programada y en consecuencia los niveles de producción previstos no pueden ser alcanzados. Aunado a esto, persiste el déficit de la producción forestal de los bosques y selvas nativas del país, ya que no se ha podido abastecer la demanda nacional y cada día se incrementan las importaciones.

Es importante continuar con este esfuerzo, retomar el aprendizaje adquirido después de 23 años del inicio y redefinir una política pública de PFC estable y coherente, con una participación del gobierno federal, que promueva y permita el involucramiento de los gobiernos estatales y municipales para la gestión de proyectos en al menos dos líneas de producción focalizada (maderable y mixta). Por lo que se considera que el desarrollo de PFC a nivel nacional, es una opción importante para lograr el incremento de la pro-

ducción forestal maderable que requiere el país. Para ello se requiere:

- Redefinir regiones y áreas aptas, incluyendo aspectos agroecológicos, topográficos, altitudinales, sociales y económicos.
- Cuidar la armonía con otras políticas no forestales, de manera que las inversiones en PFC puedan hacerse en igualdad de condiciones, o más bien preferenciales, dados los turnos largos para su aprovechamiento.
- Fortalecer y expandir los proyectos de PFC ya en operación, a fin de que estas superficies se constituyan en PFC permanentes.
- Fortalecer y ampliar esquemas de PFC mediante proyectos específicos que estén vinculados a una cadena productiva y de valor; ya sean productos para celulósicos, madera aserrada, resina y doble propósito; a través de la vinculación: con los dueños de las tierras, con las empresas o industrias procesadoras de la madera y con los gobiernos estatales, en aquellas entidades con potencial productivo, como pueden ser:
 - Esquemas Llave en Mano (transferencia de tecnología a pequeños plantadores, como el caso Tabasco).
 - El establecimiento de PFC por contrato de volúmenes (empresas industriales-plantadores).
 - La creación y promoción de esquemas de apoyos a ejidos y comunidades.
 - El fomento a la inversión, conjuntamente con los gobiernos de los Estados, alineados con una política de desarrollo de PFC en todos los niveles (pequeño a industrial).
- Considerar los costos reales de las inversiones, definiendo las aportaciones y el acompañamiento técnico.
- Desarrollar estímulos fiscales que reconozcan las condiciones de los proyectos de inversión

de PFC, sobre todo por la condición de largos periodos de maduración y altos costos de inversión en las etapas de inicio de los mismos.

- Promover la capitalización de los beneficios ambientales que producen los proyectos de PFC, como son la incursión de las PFC en el mercado de certificados de carbono. Aspecto que ha sido poco evaluado y dimensionado; aun cuando es sabido que las plantaciones son sistemas muy eficientes en la captura de carbono y la generación de oxígeno.
- Promover y fortalecer esquemas de aseguramiento a los proyectos de PFC
- Promover e impulsar la Certificación Forestal de PFC.
- Fomentar un Programa Nacional de Mejoramiento Genético de especies de rápido crecimiento para PFC.
- Apoyar fuertemente la investigación y la extensión para el desarrollo de PFC.
- Impulsar y fortalecer esquemas de alerta temprana contra plagas y enfermedades en PFC.

Importancia de los insectos en las plantaciones forestales comerciales

Como se describió en los párrafos anteriores, plantar árboles es una táctica ampliamente utilizada para abastecer industrias basadas en la producción de madera y pulpa.

De menor escala, pero también de gran importancia, son las plantaciones para productos no maderables que producen árboles de navidad, resinas, piñones, fibras, etc.

En ambos tipos de plantaciones existen insectos fitófagos que son plaga; muchas ocurren en los bosques naturales, aunque también hay exóticas.

Para cada una de las especies de eucaliptos, teca, cedro rojo, pinos, Pseudotsugas, etc. ya se conoce al grupo de insectos que generan impac-

tos económicos de gran importancia; las infestaciones severas causan incertidumbre en los propietarios y administradores y obligan al control inmediato; varias empresas plantadoras están certificadas y por ello no deben utilizar insecticidas químicos, lo cual favorece el control biológico, cultural y genético. Cibrián 2009 y 2013 describe las principales especies de insectos y patógenos que afectan las plantaciones comerciales de árboles de navidad y maderables y no maderables establecidas en ambientes tropicales. Los manuales producidos por este autor están disponibles en la página de la CONAFOR, en cada uno se aporta información de la identidad, daños, ciclo biológico y control de las principales plagas en plantaciones comerciales.

Tomando como referencia dichos manuales, se enlistan algunas de las plagas más importantes, nativas y otras exóticas:

- Las que afectan todas las especies de árboles comerciales tropicales son hormigas arrieras del género *Atta* (figura 56), termitas de madera húmeda *Coptotermes* y gallinas ciegas de los géneros *Phyllophaga* y *Anomala*.
- En las plantaciones de eucaliptos tropicales las más importantes son los gusanos defoliadores *Sarsina violascens* (Herrich-Schäffer) y *Thyrinteina arnobia* (Stoll.).
- En las de ambientes templados, varios insectos originarios de Australia y de reciente ingreso a México son plaga en el mundo y en nuestro país, destacando los barrenadores cerambicidos *Phoracantha recurva* Newman y *P. semipunctata* Fabricius, la chinche del eucalipto *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero y Dellapé y la avispa agalladora del eucalipto *Leptocybe invasa* Fisher y La Salle.
- En las plantaciones de teca, las plagas son el gusano defoliador *Hyblaea puera* Cramer; los coleópteros defoliadores *Walterianella* y la cochinilla rosada *Maconellicoccus hirsutus* Green, esta última también de gran importancia en cultivos frutales, agrícolas y ornamentales.
- En las plantaciones de meliáceas el barrenador *Hypsipyla grandella* Zeller es un factor limitante que genera mortalidad, además de afectar la conformación del tronco de los árboles y alargar el tiempo de la cosecha de madera.
- En plantaciones tropicales de pinos resineros los barrenadores del género *Rhyacionia* afectan la tasa de desarrollo de los árboles en sus primeras etapas de crecimiento.
- En las plantaciones de árboles de navidad que se establecen en terrenos forestales de montaña y clima templado frío existen insectos que son plaga en el proceso de producción, como las gallinas ciegas de los géneros *Phyllophaga* y *Anomala*, los pulgones laníferos de los géneros *Pineus* y *Adelges*, los barrenadores de tronco del género *Retinia*, los picudos defoliadores del género *Pandeleiteius* y los gusanos defoliadores *Neodiprion* y *Lophocampa*.



Figura 56. Dibujo de soldado de *Atta cephalotes*, defoliador en las plantaciones tropicales del sureste de México. (Ilustración: L. Arango Caballero)

Espacios verdes urbanos

Lorena Martínez González y David Cibrián Tovar



Figura 57. Árboles en ambiente urbano, en primer plano un eucalipto infestado y muerto por el barrenador *Phoracantha recurva*. Chapingo, Estado de México. (Fotografía: D. Cibrián)

Antecedentes

Bajo el concepto “espacios verdes urbanos” se agrupa un conjunto diverso de áreas localizadas dentro de una ciudad, cuya vegetación puede ser original o plantada por el ser humano. En él se incluyen bosques urbanos, parques, jardines, huertos comunitarios, barrancas, glorietas, camellones y espacios abiertos (Martínez 2008).

El crecimiento de las ciudades no ha ido de la mano de una proporción equilibrada entre espacios verdes y áreas edificadas; por el contrario, se evidencia una carencia de ellas, a pesar de que es una de las necesidades más sentidas por los

habitantes, tan es así que, son un parámetro de sostenibilidad mundial, como lo señala la primera generación de indicadores comunes europeos, elaborado por el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano de la Unión Europea, indicando que la existencia de espacios verdes urbanos se encuentra entre los primeros cinco indicadores obligatorios para la sostenibilidad de las ciudades europeas (Gómez Lopera 2005).

De acuerdo con la Nueva Agenda Urbana que recoge los acuerdos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (mejor conocida como

Hábitat III), celebrada en Quito, Ecuador en octubre de 2016, la población urbana mundial se duplicará para el 2050, lo que será una de las tendencias más transformadoras del siglo XXI (ONU 2017). Esto implicará un enorme reto para la sustentabilidad de las ciudades, formando por ello parte de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas; específicamente en el objetivo 11, referente a las Ciudades y Comunidades Sostenibles, que señala la importancia de “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (ONU s/a-a, Röbbel s/a).

La promoción de los espacios verdes urbanos, está considerada como parte de las metas de este objetivo, señalando que: “...de aquí a 2030, [se debe] proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad” (ONU, s/a-b); evidenciando que dichos espacios son un recurso indispensable para lograr salud sostenible en las zonas urbanas, ya que brindan beneficios sociales, econó-

micos y ambientales muy importantes (Daniel s/a; Röbbel s/a).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud señala que cada habitante debería contar con un espacio de 9 a 12 m² de área verde urbana, el cual debería quedar a menos de 15 minutos a pie de su vivienda (Martínez 2008), a fin de que sea accesible y con una distancia-tiempo mínima para vencer la distancia psicológica que permita facilitar su uso (Gómez Lopera 2005). Sin embargo, un estudio realizado por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, sobre las áreas verdes de la Ciudad de México, señala que, de acuerdo con el inventario general de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México del 2003 y actualizado en el 2017, existen un promedio de 7.54 m² de área verde por habitante, las cuales están desigualmente distribuidas y no todas ellas están arboladas (Checa-Artasu 2016) (figura 58).

Otras grandes ciudades de México tienen valores que no alcanzan a rebasar 9 m², como Guadalajara con 6.5 m² y Monterrey con 3.9 m², aunque en cada caso hay fuerte variación en las colonias que las forman.

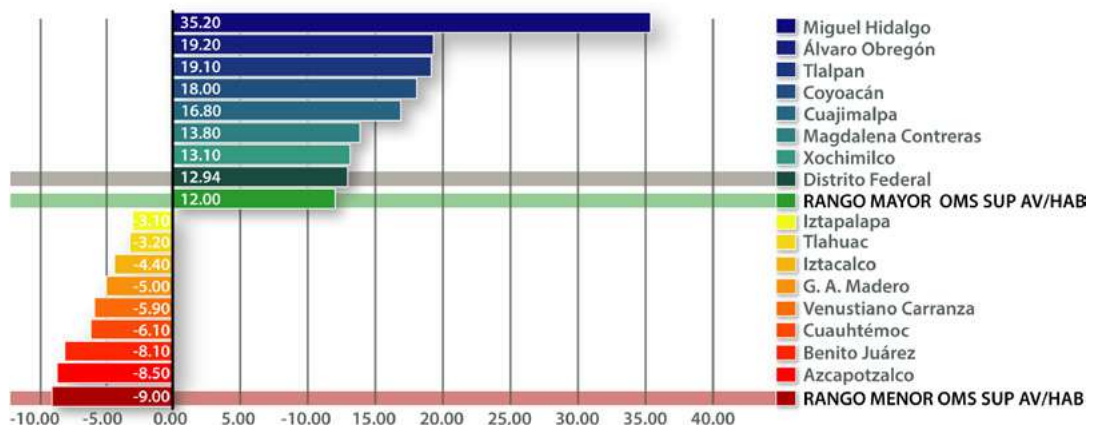


Figura 58. Relación rango/superficie área verde (m²/habitante) de acuerdo con la OMS en las alcaldías de la Ciudad de México (2009). (Tomado de: Checa-Artasu 2016)

La vegetación arbórea que se utiliza es diversa, desde ambientes xéricos en ciudades con clima seco, hasta vegetación tropical en ciudades en bajas altitudes, o vegetación de bosque mesófilo en climas húmedos en altitud intermedia y vegetación de clima templado-frío en ciudades de mayor altitud.

Los siguientes autores describen las especies arbóreas recomendadas para las ciudades que mencionan y aspectos de su conservación y manejo: Chávez *et al.* 2010 para un barrio de Zapopan, Jalisco; Navarro y Moreno 2016 para Hermosillo, Sonora; Ruiz Montiel *et al.* 2014 para

Jalapa, Veracruz; Alanís y Flores 2005 para Monterrey, Nuevo León; Orellana, Carrillo y Franco 2007 para las ciudades de la península de Yucatán; Velasco 2014 para Oaxaca, Oaxaca; Martínez 2008, Chacalo, Corona y Nava 2009 y Chacalo 2017 para la Ciudad de México.

En cada una existen áreas verdes con arbolado establecido y en desarrollo.

Como se muestra en el cuadro 5, en general, la dotación de espacios verdes urbanos en muchas otras ciudades del país con más de 400 mil habitantes no es mejor que la de la Ciudad de México.

Cuadro 5. Superficie en m² de área verde por habitante, en ciudades de México con más de 400,000 habitantes.

Ciudad	Entidad Federativa	Población	m ² de área verde por habitante
Ciudad de México	CDMX	8 851 080	5.4
Ecatepec	México	165 5015	1.0
Guadalajara	Jalisco	149 5182	3.0
Puebla	Puebla	1 434 062	2.8
Juárez	Chihuahua	1 321 004	4.4
Tijuana	Baja California	1 300 983	0.4
León	Guanajuato	1 238 962	4.5
Zapopan	Jalisco	1 142 483	4.8
Monterrey	Nuevo León	1 135 512	3.9
Nezahualcóyotl	México	1 104 585	0.5
Chihuahua	Chihuahua	809 232	5.0
Naucalpan	México	792 211	4.6
Mérida	Yucatán	777 615	6.9
San Luis Potosí	San Luis Potosí	722 772	4.6
Aguascalientes	Aguascalientes	722 250	4.6
Hermosillo	Sonora	715 061	4.2
Saltillo	Coahuila	709 671	6.5
Mexicali	Baja California	689 775	1.5
Culiacán	Sinaloa	675 773	5.2
Guadalupe	Nuevo León	673 616	6.7
Acapulco	Guerrero	673 479	7.2

Tlalnepantla	México	653 410	1.5
Cancún	Quintana Roo	628 306	2.0
Querétaro	Querétaro	626 495	4.6
Chimalhuacán	México	612 383	1.0
Torreón	Coahuila	608 836	9.3
Morelia	Michoacán	597 511	4.3
Reynosa	Tamaulipas	589 466	3.0
Tlaquepaque	Jalisco	575 942	2.4
Tuxtla	Chiapas	537 102	7.0
Durango	Durango	518 709	4.2
Toluca	México	489 333	8.4
Ciudad López Mateos	México	489 160	1.0
Cuautitlán Izcalli	México	484 573	1.0
Apodaca	Nuevo León	467 157	1.7
Matamoros	Tamaulipas	444 815	0.9
San Nicolás de los Garza	Nuevo León	443 273	6.3
Veracruz	Veracruz	428 323	15.0
Xalapa	Veracruz	424 755	168.0
Tonalá	Jalisco	408 759	4.5

Beneficios y servicios ambientales de los árboles urbanos

Los beneficios y servicios ambientales de las AVU son innegables, tanto para la salud y bienestar de los seres humanos, como para la estabilidad de los ecosistemas y el clima, como se describe brevemente a continuación.

Los árboles urbanos y la calidad del aire

Las plantas son los únicos seres vivos que elaboran su propio alimento a través del proceso de la fotosíntesis, en el que utilizan el bióxido de carbono del aire y el agua del suelo y, como productos de desecho de este proceso, se obtiene oxígeno y agua.

Las plantas, y más en específico, los árboles, se convierten en uno de los principales sumideros de carbono al secuestrar este gas mediante el

proceso fotosintético, el cual pasa a formar parte de las ramas, hojas y, principalmente, la madera del tronco de los mismos. Se ha cuantificado que un árbol maduro puede absorber hasta 150 kg de CO₂ al año (ONU-Hábitat s/a) (figura 59).

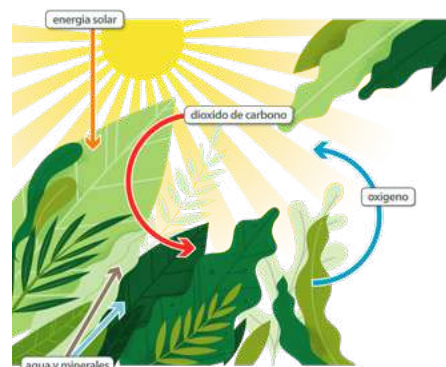


Figura 59. El proceso de la fotosíntesis realizado por las plantas permite captar el bióxido de carbono de la atmósfera, secuestrando este gas, principal causante del efecto invernadero, para formar el tejido y la madera de los árboles. (Ilustración: E. Llanderal)

Los árboles y la reducción de la contaminación del aire

Incrementar la extensión y calidad de los espacios verdes permite reducir los contaminantes atmosféricos que contribuyen al efecto de calentamiento global y, por ende, a disminuir las enfermedades de las vías respiratorias relacionadas con la contaminación del aire. Esto se debe a que las plantas, a través de sus estomas, son capaces de remover gases contaminantes del aire, como fluoruros, bióxido de azufre y bióxido de nitrógeno; también la superficie de hojas, ramas y tallos atrapan partículas suspendidas, como polvo, cenizas y humo presentes en el aire (figura 60). Sin embargo, hay que saber elegir las especies adecuadas; por ejemplo, en lugares de alto aforo vehicular, es preferible emplear especies caducifolias por encima de las perennifolias, a fin de que, al tirar su follaje, en el periodo de otoño e invierno, eliminen las sustancias contaminantes atrapadas en el árbol;

ello evitará daños a su salud, ya que el acumular los contaminantes atmosféricos reduce la capacidad fotosintética e incluso, el ozono puede penetrar y dañar a las células, mermando en el tiempo la salud del árbol (Martínez 2008).

Los árboles urbanos y el microclima

La contaminación atmosférica, así como la densidad de construcciones y calles pavimentadas en las ciudades, contribuyen al aumento de la temperatura, olas de calor y al efecto conocido como "islas térmicas"; este último refiere al incremento de la temperatura, de hasta cinco grados centígrados por encima del promedio, debido a la falta de vegetación en las zonas urbanas. Sin embargo, los árboles, a través de su sombra y del fenómeno de la evapotranspiración, en la que se produce vapor de agua como subproducto de la fotosíntesis, influyen muy favorablemente en el microclima, lo cual propicia ambientes más húmedos y una temperatura del

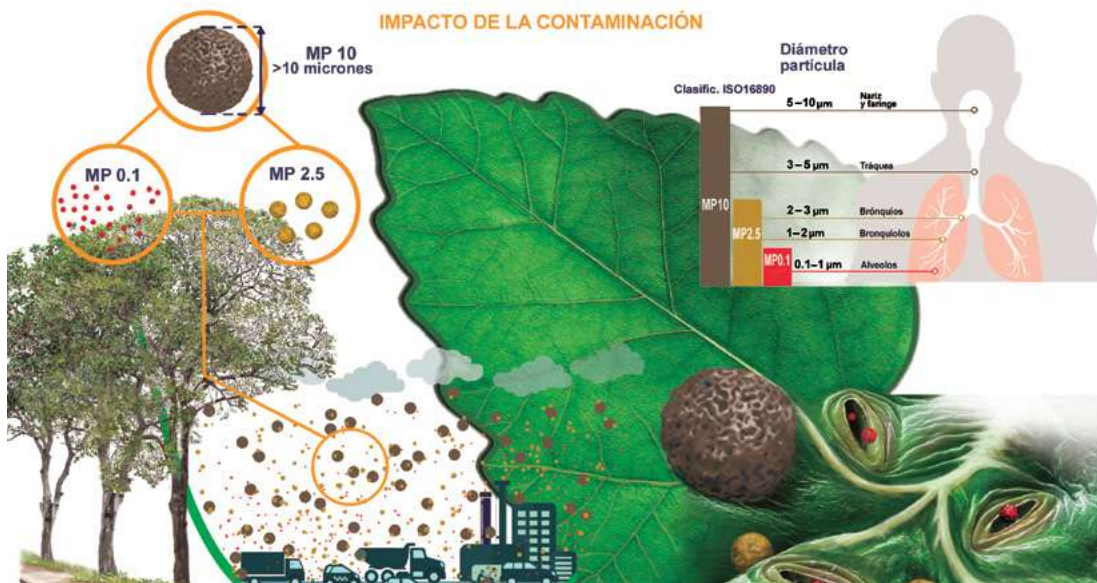


Figura 60. Las plantas, a través de sus estomas, hojas y tallos, retienen alguno de los contaminantes del aire, aunque muchas veces esto sucede a costa de su salud. (Infografía: L. Arango)

aire menor a la del aire circundante, además de que reducen la evaporación de la humedad del suelo (Martínez 2008).

Los árboles urbanos y la conservación de energía

Plantar árboles adecuadamente para brindar sombra a las construcciones, permite reducir las necesidades de energía para calentar o enfriar, contribuyendo con ello a la disminución del uso de la calefacción, de ventiladores y del aire acondicionado (Röbbel s/a). Asimismo, en el verano permiten disminuir la temperatura del aire y en el invierno, bloquea los vientos fríos, además de que reducen la radiación solar hasta en un 90 % (figura 61) (Martínez 2008).

Los árboles y la absorción del ruido

Las ramas y hojas de los árboles, por su cantidad y volumen, atenúan el ruido a través de su absorción termoviscosa, pero para que este efecto

sea exponencial, los árboles deben estar dispuestos en masas densas y cerca de la fuente de ruido, a fin de atenuarlo. El sonido del movimiento de las hojas de los árboles y el de las aves que habitan en ellos, también contribuyen a dicha disminución. En conjunto, se contribuye a la filtración de ruidos indeseables, permitiendo una mayor capacidad de concentración y de calma, lo que reduce el estrés y beneficia la salud humana (Martínez 2008).

Los espacios verdes urbanos como áreas idóneas para promover la diversidad vegetal

El Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CDB), que entró en vigor en 1993, aborda la biodiversidad como un asunto de importancia mundial para la viabilidad de la vida en la Tierra y el bienestar humano, incluyendo las ciudades.

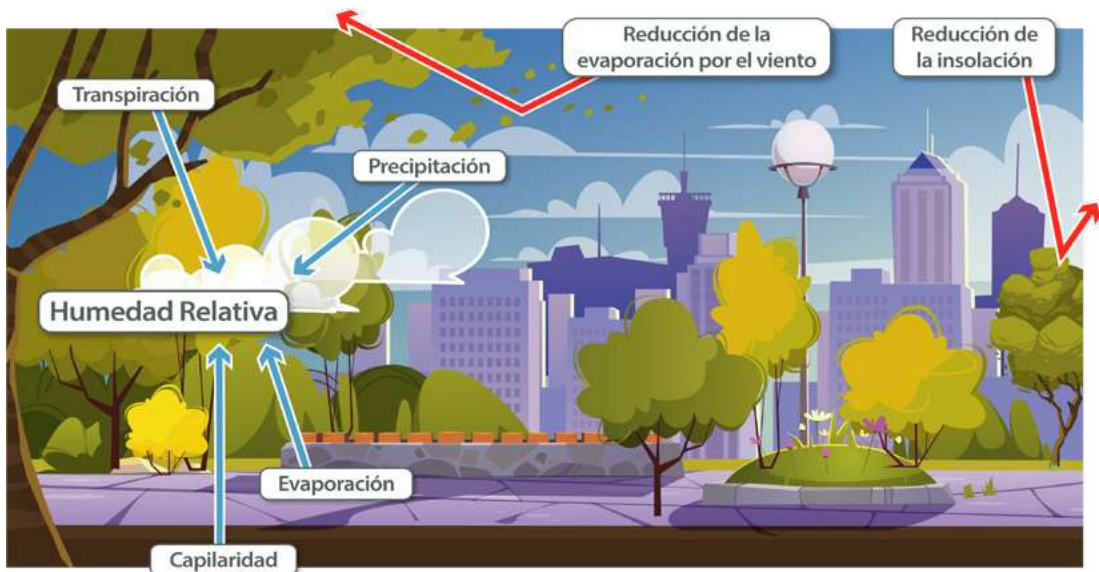


Figura 61. La sombra de los árboles sobre las edificaciones disminuye el uso de calefacción, ventiladores y aire acondicionado; asimismo, reducen hasta el 90 % de la radiación solar. (Infografía: E. Llanderal)

La Estrategia Mexicana de Conservación Vegetal (CONABIO 2012), derivada del CDB, plantea la importancia de los espacios verdes urbanos; pues independientemente de que tengan un origen natural o bien, sean producto de una intervención humana, son espacios privilegiados para que esté presente la diversidad vegetal de la región en la que están inmersos (figura 62).

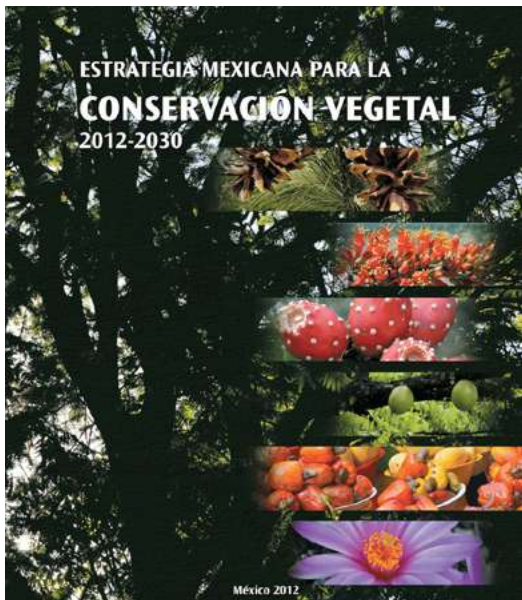


Figura 62. Portada de la publicación Estrategia Mexicana de Conservación Vegetal. (CONABIO 2012)

En la reforestación urbana es pertinente incluir especies de la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la que se enlistan las especies en peligro de extinción en México, a efecto de que la comunidad las conozca y se sensibilicen sobre su importancia y la necesidad de su conservación.

La presencia de espacios verdes urbanos biodiversos, permite la interconexión de especies de fauna, tanto dentro del espacio específico como con otros similares; incrementando la presencia de la fauna nativa, especialmente insectos y aves y, de entre ellos, muchos polinizadores.

Los espacios verdes urbanos y la salud física

La mejora de la calidad ambiental que ofrecen los espacios verdes urbanos incide en la calidad de vida de los ciudadanos ya que permiten aumentar las relaciones interpersonales, siendo un escenario para el desarrollo de diversos acontecimientos de participación social; asimismo, son espacios idóneos para el contacto y el tiempo libre, sin importar edad o condición social (Gómez Lopera 2005).

La urbanización conlleva cambios en la ocupación y en los estilos de vida asociados a niveles más bajos de actividad física. Sin embargo, los espacios verdes urbanos ofrecen a la gente la oportunidad de caminar, hacer ejercicio y desplazarse en bicicleta más a menudo, así como realizar actividades físicas de ocio y mantener el contacto social, lo que mejora la salud mental, reduciendo la tensión, depresión y tasas de morbilidad y mortalidad cardiovascular, obesidad y diabetes (WHO 2016). Asimismo, tras la apertura de los parques durante la pandemia por el SARS-COV2 responsable de la enfermedad del COVID 19, se evidenció que el número de visitantes creció sustantivamente, como una medida para evitar trastornos de ansiedad y depresión (Nieuwenhuijsen 2020) (figura 63).

Es por ello que una de las metas de la Nueva Agenda Urbana de Hábitat III establece el compromiso de que al 2030 se proporcione acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de la tercera edad y las personas con discapacidad, ayudando a elevar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, transformando a las ciudades en lugares más atractivos para vivir y trabajar (Röbbel s/a).



Figura 63. Parque La Mexicana en la Ciudad de México, los árboles en este ambiente tienen un alto valor escénico.
(Fotografía: D. Cibrián)

Situación general de los espacios verdes urbanos

Quando se habla de espacios verdes urbanos, se debe tener en mente que la columna vertebral de los mismos es la presencia de árboles, más allá de la existencia de arbustos, flores y pastos, ya que es la cobertura foliar y la madera que desarrollan los árboles, lo que les permite cubrir los propósitos para los que fueron plantados. De ahí la importancia de contar con una buena calidad de los árboles de la ciudad; ello implica considerar diversos aspectos, entre otros: la producción de los árboles, los cuidados en la plantación y en el mantenimiento fitosanitario

de los mismos, las condiciones ambientales en que viven y el vandalismo ocasionado por la población.

Daños abióticos de los árboles urbanos

Se debe considerar que los árboles que viven en los espacios verdes urbanos están bajo la presión de factores abióticos que pueden llegar a provocar el estrés y la muerte de los mismos; no tienen la capacidad de desplazarse, por lo que enfrentan las adversidades del clima, lo que puede alterar sus funciones cuando se hallan en rangos fuera de lo normal, predisponiéndolos a enfermedades y al ataque de plagas; pues, para

que una enfermedad se manifieste, es necesario un cambio desfavorable en las condiciones del lugar donde la planta habita. Entre estas causas pueden encontrarse (Martínez 2008):

- El exceso de agua, limita la capacidad de las raíces para absorber el oxígeno del suelo, por lo que se asfixian y mueren.
- La falta de agua ocasiona que el árbol no realice adecuadamente sus funciones biológicas normales, lo que produce su estrés o muerte.
- Cuando los vientos son fuertes pueden ocasionar la ruptura de sus ramas o incluso el derribo de árboles, principalmente cuando no están bien enraizados, debido a que estén en un suelo poco profundo o bien a que el sistema radical esté afectado por hongos pudridores.
- Las heladas frecuentes y temperaturas excepcionalmente bajas pueden dañarlos en forma severa.
- Los contaminantes atmosféricos pueden ocasionar un daño foliar significativo, que se agrava con otros factores, como deficiencias en nutrimentos, plagas y temperaturas extremas. Los daños van desde el causado por ozono (la destrucción celular); al causado por bióxido de nitrógeno (crecimiento lento del árbol y sus raíces, inhibición del desarrollo de las hojas, caída prematura de las mismas, baja en la producción de semillas, reducción de la tasa de fotosíntesis y cambios en el metabolismo, aparición de manchas necróticas, etc.); el caso de daño por fluoruros o de partículas suspendidas (clorosis y/o muerte de las hojas).

Deficiencia en la producción de árboles para la reforestación urbana

Hay una escasez de viveros dedicados a la producción adecuada de árboles con fines de forestación urbana, en los que se debe tener cuidado para que el sistema radical no presente raíces

enroscadas, causantes del efecto de “cola de cochino”, cuyas consecuencias se verán hasta años después, cuando las raíces lleguen a estrangular la base del tronco, causando su muerte (figura 64).



Figura 64. Un problema de los árboles para forestación urbana es la mala calidad de la producción en vivero, como el crecer con raíces enredadas que, eventualmente pueden matar el árbol o crear una condición de declinación y mala salud. (Fotografía: D. Cibrián)

Cuando son árboles de buena talla, es importante cuidar que el sistema radical se haya desarrollado de manera controlada y compacta a fin de evitar un crecimiento desmedido y por ende, ocasionar más tarde daños en bardas, edificios, banquetas, tuberías y ductos del subsuelo.

También se debe procurar que el tamaño y el porte del árbol sean adecuados a fin de que el individuo tenga la capacidad de impactar positivamente en el paisaje, además de soportar las condiciones adversas del entorno en el que se desarrollará.

Mala planeación y manejo del arbolado urbano

Es frecuente que se presenten situaciones como:

- Las especies elegidas no son las adecuadas para el lugar donde se plantan, ya sea por su forma de crecimiento o bien porque no corresponden a las condiciones climáticas en que se desarrollarán.
- Hay una sobrepoblación de árboles por superficie, lo que ocasiona la competencia entre ellos por luz, agua y nutrientes, creciendo débiles y con troncos muy delgados, inestables y de corta vida.
- Se presenta una deficiencia en el mantenimiento adecuado de los árboles (riego, podas, fertilización, aireación, compactación del suelo y atención oportuna de plagas y enfermedades).
- Los inventarios son deficientes o inexistentes, lo que no permite hacer un adecuado manejo a largo plazo de los espacios verdes urbanos, por lo que en la mayoría de ellos se encuentran árboles viejos y en mal estado, sin que se cuente con un programa de sustitución de los mismos.
- Afectación derivada de las actividades de construcción, de introducción de cableado aéreo y subterráneo que afectan sustantivamente la calidad de la copa y del sistema radical, originando problemas como, desbalanceo de la copa que los hace estructuralmente inestables, heridas que permiten la entrada de plagas y enfermedades.
- Pérdida de la permeabilidad del agua por la colocación de concreto y mutilación de las raíces primarias, lo que afecta la forma y reduce vigor.

Riesgo de los árboles

Los árboles enfermos y mal cuidados se vuelven un problema de seguridad para la población,

por el riesgo de que sus ramas o individuos enteros se desgajen, en perjuicio de las personas y los bienes materiales (figura 65).

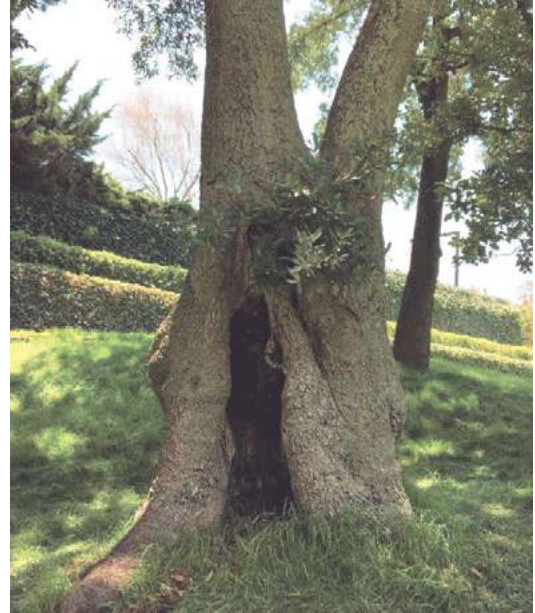


Figura 65. Encino (*Quercus crassipes*) con pudrición en la base del árbol, de alto riesgo por posible caída ante la presencia de vientos fuertes. (Fotografía: D. Cibrián)

Deficiente reglamentación y falta de personal capacitado y equipo

Es, hasta años recientes, cuando se han promovido normas ambientales en algunos Estados, que regulan las actividades de poda, plantación, trasplante y remoción de los árboles urbanos. Sin embargo, hace falta una normatividad federal que sea obligatoria para todas las entidades del país. Aunque, las normas existentes establecen la necesidad de que el manejo de los árboles sea realizado por personal capacitado, aún hay un gran rezago en esta materia. Esta brecha se empieza a cerrar gracias al importante trabajo que, desde hace más de 20 años, realiza la Asociación Mexicana de Arboricultura, filial de la

Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA) con presencia en varios estados del país, brindando cursos de capacitación y de certificación de arboristas, a fin de trabajar con estándares que garanticen la calidad de los árboles intervenidos (figura 66). Hace falta la formación de profesionistas en el campo de la arboricultura; hasta ahora solo existen la carrera de Ingeniero en Restauración Forestal en la Universidad Autónoma Chapingo y la carrera de Técnico Superior Universitario en Arboricultura en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma del Estado de México.



Figura 66. Arborista certificado en labor de poda de ramas. (Fotografía: D. Rivas)

Daños ocasionados por los habitantes

Hay diferentes causas en donde el daño a los árboles es provocado por el ser humano, aquí mencionamos solo algunas:

- El vandalismo por lesiones con herramientas punzocortantes que se convierten en importantes vías de entrada de agentes patógenos que a su vez provoca el desgarre y ruptura de ramas o caída de árboles (figura 67).



Figura 67. El vandalismo por parte de la población es una de las amenazas constantes a la integridad de los árboles urbanos.

- Causar la muerte de un individuo por considerarlo dañino (por ruptura de banquetas, producción de polen, o de residuos de hojas y flores) (figura 68).



Figura 68. La mala selección de especies de árboles en vialidades provoca daños en la infraestructura urbana, promoviendo su remoción. (Fotografía: D. Cibrián)

- La escasa oferta de espacios verdes urbanos en zonas altamente pobladas ocasiona que haya una sobrepoblación de visitantes en ellas, lo que provoca un impacto severo por compactación del suelo, además de una alta generación de residuos sólidos que propician la proliferación de fauna nociva.
- La defensa a ultranza, por parte de la comunidad poco enterada sobre el adecuado manejo de árboles enfermos o dañados, dificulta la poda o el derribo de aquellos que representan riesgo de daño a personas o bienes.

Políticas públicas, normatividad y herramientas para favorecer los espacios verdes urbanos

El papel social y ambiental de los espacios verdes urbanos ha ido en aumento en las últimas décadas, así como la percepción pública y el interés en ellos debido, principalmente, al modelo poco sustentable de ciudad que prevalece en la actualidad.

Los retos, sin embargo, son enormes, a fin de garantizar la cantidad, calidad, distribución y acceso equitativo a todos los habitantes, con el propósito de reducir las desigualdades socio-económicas existentes.

Ello implica el fortalecimiento de las políticas públicas y la normatividad para regular el conflicto de intereses que priva entre los espacios verdes y el desarrollo urbano, principal enemigo. También se debe fortalecer el respeto y vigilancia de la normatividad, tanto por parte de las autoridades como de los diferentes sectores de la sociedad, cuya participación se vuelve prioritaria. La sociedad civil debe exigir y trabajar a la par de los gobiernos tanto en la participación comunitaria para el diseño y creación de parques y áreas verdes, como para su construcción y

manejo a fin de preservarlos, protegerlos y valorarlos (Röbbel, s/a). Para lo cual se requiere:

- Contar con planes estratégicos municipales, estatales y nacionales, así como una estructura administrativa, en la que se consideren aspectos legales, financieros, ambientales técnicos y de talento humano.
- Fortalecer políticas públicas “con dientes” que permitan equilibrar el desarrollo urbano con la conservación y promoción de las áreas verdes, ya que a medida que aumenta el valor del suelo, las zonas verdes van cediendo lugar a desarrollos inmobiliarios residenciales y de empresas.
- Promover políticas de participación social, gubernamental y de la iniciativa privada.
- Documentar y sistematizar las experiencias en el manejo de cada una de las áreas verdes urbanas.

Sin duda, hay un gran rezago en la materia, aunque deben reconocerse y aplaudirse los esfuerzos hasta hoy alcanzados; se destacan dos esfuerzos relevantes, uno de normatividad y otro de valoración económica de árboles individuales.

Normatividad para el manejo de los espacios verdes urbanos

Desde el inicio del siglo XXI varios Estados del país, como la Ciudad de México, México, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca y Querétaro han estado a la vanguardia para regular el manejo de los espacios verdes urbanos, estableciendo normas ambientales para el cuidado, fomento y manejo de las áreas verdes, específicamente para las labores de poda, derribo, trasplante, sustitución de árboles, así como la protección, conservación, creación, rehabilitación y mantenimiento de las áreas verdes y macizos arbóreos.

I-Tree Eco y la valoración de los servicios ambientales de los árboles urbanos

El programa I-Tree Eco ha sido desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (USFS) y la empresa Davey Tree Expert Company con el objetivo de caracterizar la estructura del bosque urbano y cuantificar los servicios ambientales que provee. La idea de expresar la influencia del arbolado urbano en términos económicos, puede facilitar la comprensión de su valor por parte de los habitantes urbanos, así como de los funcionarios, y administradores vinculados con su gestión, lo que, eventualmente, permitirá contar con los recursos necesarios para su protección, conservación y mejoramiento (I-Tree 2018).

En 2016 el United States Forest Services (USFS) y la Comisión Forestal de América del Norte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), acordaron adaptar a México el modelo I-Tree, con el objeto de promover una herramienta que permita a los encargados de los espacios verdes urbanos tomar decisiones que mejoren la condición del arbolado, el ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos.

Ello implicó un arduo trabajo para la búsqueda y procesamiento de información e integración de datos al modelo, tomando en cuenta:

- Las especies arbóreas urbanas de nuestro país (alrededor de 6,400 especies).
- Información demográfica y climática de 335 estaciones del Sistema Meteorológico Nacional.
- Los registros anuales de los Sistemas o Estaciones de Monitoreo Atmosférico (SINAICA del INECC), principalmente para los años 2015 y 2016.
- La información de 18 zonas metropolitanas de México, distribuidas a lo largo del país: Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Juárez, La Laguna, Querétaro, San Luis Potosí–Soledad de Graciano, Mérida, Chihuahua, Morelia, Xalapa, Oaxaca, Tepic y Durango.

El trabajo se concluyó en agosto de 2018 y prácticamente, desde entonces, se inició con su uso en diversas ciudades del país. Los principales datos que arroja el programa son (figura 69):

Estructura: composición de especies, número de árboles, densidad y condición de salud del arbolado, entre otros.

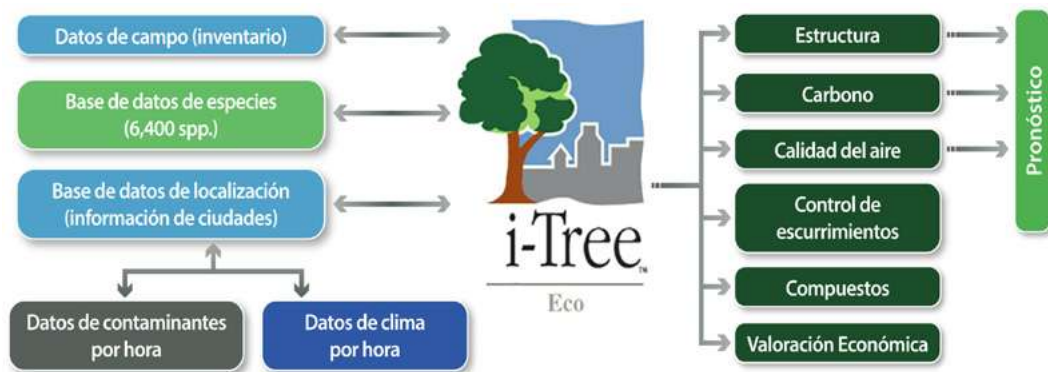


Figura 69. El programa I-Tree Eco, adaptado a nuestro país, es una herramienta muy útil para hacer la caracterización del bosque urbano, así como la cuantificación económica de los servicios ambientales que brinda.

(Fuente: I-Tree, 2018. Ilustración: E. Llanderal)

Control de escurrimientos: cantidad de escurrimientos controlados y los atribuidos a cada especie arbórea o estrato.

Carbono: reservorio de carbono total del arbolado y tasa de captura anual.

Reducción de contaminantes: cantidad de contaminantes removidos (O_3 , NO_2 , SO_2 , CO y $PM_{2.5}$).

Bioemisiones: compuestos volátiles orgánicos (VOC por sus siglas en inglés) por especie y género.

Valoración: estimación del valor económico de los servicios ambientales. Cabe señalar que México no cuenta aún con modelos de valoración económica de diversos servicios ambientales, por lo que, para la valoración de la remoción de contaminantes, se emplean los precios en los Estados Unidos, ajustados mediante los Índices de Precios al Productor Nacionales (IPPNN). Asimismo, el valor monetario de los árboles (estructural) y del control de escorrentías se calcula con métodos y precios de los Estados Unidos, estimaciones que luego se convierten a pesos.

Pronósticos: modela el crecimiento de los árboles y del bosque urbano en el tiempo; considera factores como la mortalidad, tasa de crecimiento, nuevas plantaciones e impactos de plagas y enfermedades. Además, permite estimar en el tiempo el reservorio de carbono y la remoción de contaminantes.

Son varias las ventajas que ofrece I-Tree Eco: es una herramienta que está traducida al español, se basa en investigación científica revisada por pares de cada país y se encuentra en proceso de mejora continua, emplea los datos de contaminación y de clima locales, se puede aplicar a diferentes escalas, proporcionando resultados por individuo, especie y estrato, cuenta con soporte técnico y recursos disponibles para su operación internacional, así como con protocolos y opcio-

nes flexibles (dispositivos móviles) para el registro de datos y, por último, es gratuito.

Del 2018 a la fecha, varias entidades como la Ciudad de México, Yucatán y el Estado de México han empezado a trabajar sus inventarios urbanos utilizando esta valiosa herramienta.

Salud forestal en los ambientes urbanos

En los entornos urbanos la condición de salud de los árboles está influenciada por un mayor número de agentes de perturbación que los que ocurren en los ambientes naturales. Los principales agentes de disturbio, además de los ya señalados arriba son:

- Las condiciones modificadas del suelo, tanto en estructura como en nutrición.
- La llegada de insectos fitófagos exóticos y nativos de otras regiones.
- La menor disponibilidad de enemigos naturales de los insectos fitófagos; muchos de éstos son de pequeño tamaño y vulnerables al impacto abrasivo de polvos.

Todo ello hace que exista mayor vulnerabilidad de los árboles al ataque de los insectos. Por ende, es posible comprender que el valor individual de los árboles ciudadanos es mayor que el que alcanza en escenarios forestales naturales y los impactos a su salud son percibidos y valorados más fácilmente por la sociedad.

Importancia de los insectos en la vegetación forestal urbana

En los ambientes urbanos varias especies fitófagas se desarrollan mejor que en sus condiciones naturales; como los chupadores de savia: chicharritas, pulgones, psílidos, filoxeras, escamas y mosquitas blancas (figura 70).



Figura 70. Adultos de la mosquita blanca del encino, *Aleuroplatus gelatinosus* sobre hoja de *Quercus crassipes* en el poniente de la Ciudad de México.
(Fotografía: E. Llanderal)

También es cierto que especies consideradas “secundarias” en condiciones naturales, se vuelven más agresivas en el ambiente urbano.

De los insectos descortezadores se citan como ejemplos a los del cedro blanco *Phloeosinus*, del aile *Alniphagus* y del fresno *Hylesinus*; este último ha matado a muchos árboles en el área conurbada del Valle de México (figura 71).

De los barrenadores de la madera, son de importancia las termitas de madera húmeda, de los géneros *Coptotermes*, *Reticulitermes* y *Heterotermes* que afectan la raíz y tronco de árboles en ciudades por debajo de 2300 msnm. Los barrenadores cerambícidos y bupréstidos de Coleóptera y sesiidos de Lepidóptera que afectan tronco y ramas de árboles estresados o de edad avanzada.

Algunos defoliadores lasiocámpidos también son plaga en árboles caducifolios como los sauces (ahuejotes) del sur de la Ciudad de México.

Los cinípidos, inductores de agallas de rama, hoja, yema y bellota, desarrollan enormes poblaciones en encinos de ambiente urbano causando deformaciones en la copa, reducción de crecimiento y muerte de punta (figura 72).



Figura 71. Fresnos infestados y muertos por el descortezador *Hylesinus aztecus*; en el árbol verde se aprecian los grumos de resina ocasionados por los ataques.
(Fotografía: D. Cibrián)



Figura 72. Agalla de rama causada por la avispa cinípidae *Loxaulus hyalinus*. (Fotografía: D. Cibrián)

Toda esta gama de insectos nativos, es favorecida por el estrés en los árboles hospedantes, pero no son los únicos; como se mencionó arriba, los insectos exóticos llegan primero a la ciudad vía aeropuertos, centrales de abasto, terminales de autobuses y trenes, vehículos de turistas, etc.

Por ejemplo, el barrenador *Phoracantha recurva* de reciente ingreso al área urbana del Valle de México, en donde está matando eucaliptos rojos y azules (figura 73).

Otros insectos son peligrosos para algunas especies árboles de importancia urbana, como la chicharrita *Haplaxius crudus* (Van Duzee) (figura 74), vector del amarillamiento letal en palma canaria y palma datilera; sus infestaciones han diezmando las poblaciones en muchas ciudades del trópico y altiplano mexicano.



Figura 73. Larvas de *Phoracantha recurva* en eucaliptos de áreas urbanas. (Fotografía: D. Cibrián)

Los psílicos de origen australiano *Glycaspis brimblecombei* Moore y *Ctenarytaina eucalypti* Maskell, tuvieron impactos de gran magnitud en los eucaliptos de muchas ciudades de México y obligaron a un replanteamiento y limitación del uso de este tipo de árboles en las ciudades (figura 75).



Figura 74. Palmas canarias (*Phoenix canariensis*), muriendo por amarillamiento letal. (Fotografía: D. Cibrián)

Insectos dentro de madera procesada

En el interior de muchos inmuebles se utiliza madera como parte estructural de las construcciones, pueden ser vigas, pilotes, pisos; también, muebles, objetos de decoración, cercas, etc. Esta madera procesada es atacada por insectos es-



Figura 75. Adulto de *Glycaspis brimblecombei*, introducido de Australia en 2000, plaga que modificó el uso de eucaliptos en México. (Fotografía: E. Llanderal)

pecializados, destacando las termitas de madera seca y las de madera húmeda, los barrenadores coleópteros bostríquidos, anóbiidos y líctidos y las hormigas carpinteras.

Las termitas de madera seca *Incisitermes* (figura 76) y *Cryptotermes* afectan xilema de troncos y ramas de árboles vivos, comiendo la madera con menor contenido de humedad del duramen

y generando riesgo de lesiones a personas por caída de ramas y puntas.

Las infestaciones por este gran grupo de insectos son atendidas por los controladores de plagas urbanas, para lo cual utilizan insecticidas químicos como principal método de combate, en (Cibrián *et al.* 1995) se puede encontrar información sobre algunos de estos insectos.



Figura 76. Adultos reproductores de la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis*, emergiendo de un techo de tablas de oyamel. (Fotografía: D. Cibrián)

IDENTIDAD DE INSECTOS

Omar Alejandro Pérez Vera y David Cibrián Tovar

En la atención de un problema fitosanitario causado por insectos forestales, reconocer la identidad específica es el primer paso, imprescindible en la mayoría de ocasiones; solo sabiendo quien es el organismo causal se pueden planificar acciones de monitoreo, evaluación de daños y tratamientos de prevención y control; en el MIPF es la base de toda la estrategia a seguir.

Sin embargo, reconocer la identidad de un insecto no es tarea fácil, frecuentemente se requiere la ayuda de un experto en taxonomía; actualmente, con mayor frecuencia es necesario el aporte de la biología molecular. Ambos campos, la taxonomía tradicional y biología molecular se presentan con breves resúmenes.

Taxonomía tradicional

En este libro no se abunda en la parte taxonómica de cada grupo de insectos, se prefiere remitir al lector a una referencia útil en aspectos básicos de la Entomología; se trata del libro Fundamentos de Entomología Forestal editado por Cibrián 2017, (figura 77) disponible de manera gratuita en la liga: http://redtematicasaludforestal.com/DBSXSystem/biblioteca/dc_fundamentos.pdf.

Esta publicación se dedicó a aspectos básicos de la Entomología Forestal de México; en su redacción participaron 63 especialistas en morfología, fisiología, biología y taxonomía de este grupo de artrópodos.

El libro está escrito en un lenguaje ágil, acompañando la palabra con la imagen, para lograr mejor comprensión de los temas.

Por primera vez se tratan aspectos básicos de 122 familias de insectos; en cada una hay especies de importancia forestal, sean fitófagas, enemigas de insectos perjudiciales o de valor económico o ecológico.

En el cuadro 6 se enlistan los taxónomos que pueden ayudar al interesado que tenga muestras de insectos por identificar.



Figura 77. Libro Fundamentos de Entomología Forestal. (Fotografía: L. Arango)

Cuadro 6. Taxónomos especialistas en la identificación y clasificación de insectos.

Orden	Familias	Taxónomo	Institución	Correo
Orthoptera	Gryllidae Tettigoniidae Acrididae Romaleidae	Dra. Ludivina Barrientos Lozano	Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Tamps.	ludivinab@yahoo.com ludibarrientos@prodigy.net.mx
	Isoptera	Kalotermitidae Rhinotermitidae Termitidae	Dr. J. Tulio Méndez Montiel	Universidad Autónoma Chapingo (UACH)
Dr. Timothy George Myles			Universidad de Toronto, Canadá	tim.myles@guelph.ca
Hemiptera	Reduviidae Thaumastocoridae Miridae Tingidae Anthocoridae Pentatomidae Scutelleridae Lygaeidae Largidae Pyrrhocoridae	M.C. Jezabel Báez	Instituto de Ecología (INECOL) Xalapa, Ver.	derophthalma@gmail.com
	Coreidae	Dr. Harry Brailovsky Alperowitz	Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM).	coreidae@ib.unam.mx
	Cercopidae	Dr. Ulises Castro Valderrama	Universidad de Sonora (UNISON)	ucastro@cenicana.org
	Psyllidae Aleyrodidae	Dra. Laura Delia Ortega Arenas	Colegio de Postgraduados (CP)	ladeorar@colpos.mx
	Aphididae, Phylloxeridae Adelgidae	Dr. Rebeca Peña Martínez	Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	rebekapena@gmail.com
		M. C. Ana Lilia Muñoz Viveros	Facultad de Estudios Superiores Iztacala, (UNAM)	analiliamunoz@hotmail.com
	Margarodidae Pseudococcidae Stigmaticococcidae Coccidae Diaspididae	Dr. Héctor González Hernández	Colegio de Postgraduados (CP)	hgzzhdz@colpos.mx
	Dactylopididae	Dr. Juan Manuel Vanegas Rico	Colegio de Postgraduados (CP)	juanmanuel@colpos.mx
Thysanoptera	Phloeothripidae Thripidae	Dr. Roberto Miguel Johansen Naime	Universidad Nacional Autónoma de México.	naime@ib.unam.mx
		M. C. Áurea Mojica Guzmán	Universidad Nacional Autónoma de México.	aurea@ib.unam.mx

Orden	Familias	Taxónomo	Institución	Correo
Coleoptera	Staphylinidae Nitidulidae Silvanidae Cucujidae Colydiidae Tenebrionidae	Dr. José Luis Navarrete Heredia	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara	glenusmx@gmail.com snavarre@cucba.udg.mx
	Scarabeidae Melolonthidae Cethoniidae	Dr. Aristeo Cuauhtémoc Deloya López	Instituto de Ecología (INECOL). Xalapa, Ver.	Cuauhtémoc.deloya@inecol.mx
	Buprestidae	Dr. Richard L. Westcott	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (USDA) Portland, Oregon	rwestcott@oda.state.or.us
	Bostrichidae Ptinidae	M.C. Eduardo Jiménez Quiroz	Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México	ejquirozbiol@gmail.com
	Lampyridae	M.C. Rodolfo Campos Bolaños	Universidad Autónoma Chapingo (UACH)	camrodolfo@gmail.com
		Dr. Santiago Zaragoza Caballero	Universidad Nacional Autónoma de México	zaragoza@ib.unam.mx
	Bruchidae	Dr. Jesús Romero Nápoles	Colegio de Postgraduados (CP)	romero.napoles.jesus@gmail.com y jnapoles@colpos.mx
	Trogossitidae Cleridae	Dr. Alan Burke Roco	FABI, Pretoria, South Africa	burke.roco@gmail.com.mx
	Cerambycidae	Dr. Felipe Noguera Martínez	Universidad Nacional Autónoma de México,	fnoguera@unam.mx
		Biol. Nayeli Gutiérrez Trejo	Universidad Nacional Autónoma de México,	pinedaaa@gmail.com
	Chrysomelidae	Dr. Santiago Niño Maldonado	Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)	coliopteranino@hotmail.com
	Curculionidae	Dr. Robert Wallace Jones Schueneman	Universidad Autónoma de Queretaro (UAQ)	rjones@uaq.mx posgrado.mrb@uaq.mx
	Curculionidae- Scolytinae	Dr. Thomas Harris Atkinson	University of Texas at Austin (UTA)	thatkinson.austin@gmail.com
		Dr. Francisco Armendáriz Toledano	Universidad Nacional Autónoma de México	onirica.2@hotmail.com

Orden	Familias	Taxónomo	Institución	Correo
Hymenoptera	Diprionidae Tenthredinidae Siricidae	Dr. Guillermo Sánchez Martínez	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	scolytido21@yahoo.com sanchezm.guillermo@inifap.gob.mx
	Braconidae Trichogrammatidae Eulophidae Encyrtidae Eupelmidae Torymidae Ormyridae Pteromalidae Chalcididae	Dra. Juana María Coronado Blanco	Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)	jmacoronado@hotmail.com y jmacoronado@docentes.uat.edu.mx
	Ichneumonidae	Dr. Enrique Ruíz Cancino	Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)	eruib@uat.edu.mx
	Aphelinidae	Dra. Svetlana Nikolaevna Myartseva	Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)	smyartse@docentes.uat.edu.mx y myartse@uat.edu.mx
	Ibaliidae Liopteridae Figitidae Cynipidae	Dr. Juli Pujade Villar	Universidad de Barcelona (UB)	jpujade@ub.edu
	Apidae Vespidae	Dr. Ricardo Ayala Barajas	Universidad Nacional Autónoma de México	rayala@ib.unam.mx barajas@servidor.unam.mx chamela@ibiologia.unam.mx
		Dra. Virginia Meléndez Ramírez	Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)	virginia.melendez@correo.uady.mx.
	Formicidae	Dr. Miguel Vázquez Bolaños	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara	mvb14145@hotmail.com

Orden	Familias	Taxónomo	Institución	Correo
Lepidoptera	Hepialidae	Héctor David Jimeno-Sevilla	Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ)	bpdjimeno@gmail.com
	Psychidae Gracillariidae Gelechiidae Limacodidae Sesiidae Lymantridae Arctiidae Danaidae Tortricidae Pyrilidae Nymphalidae Geometridae Lasiocampidae Sphingidae Notodontidae	Dr. Manuel Artemio Balcázar Lara	Universidad de Colima (UCOL)	mabl@ucol.mx
	Sphingidae	Dra. Olga Lidia Gómez Nucamendi	Universidad Autónoma de Queretaro (UAQ)	ogomeznucamendi@yahoo.com.mx
Diptera	Cecidomyiidae	M. C. Herón Huerta Jiménez	Secretaría de Salud, Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (SSA. INDRE)	cerato_2000@yahoo.com y aga1000@yahoo.com
	Sciaridae	Dr. Víctor Hugo Marín Cruz	Universidad Autónoma Chapingo (UACH)	victormarin@hotmail.com

Técnicas moleculares en la Entomología

En la Entomología taxonómica se utilizan marcadores morfológicos para describir y caracterizar especies de insectos, y con la aparición de las técnicas de biología molecular, como la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR: Polymerase Chain Reaction, por sus siglas en inglés) y la secuenciación automatizada del ADN (ácido desoxirribonucleico), se ha podido corroborar la identidad de organismos.

El marcador molecular más útil para estudios de genética de poblaciones y filogenia es el ADN mitocondrial (ADNmt) por poseer poliplasmía, ser de herencia materna, tener elevada tasas de evolución, y regiones conservadas y variables (Bejarano 2001). Estos genes se pueden amplificar fácilmente mediante la PCR porque existen múltiples copias en cada célula y son más fáciles de purificar que un segmento específico de ADN nuclear (John 2008).

El ADNmt en los insectos está constituido por una molécula circular de doble cadena con una longitud de 16,000 pares de bases (pb).

Este ADN codifica 37 genes: 2 ARN ribosómicos (ARNr 12s y 16s), 22 ARNs de transferencia (tARNs) y 13 polipéptidos que forman parte del complejo enzimático del sistema de fosforilización oxidativa (OXPHOS, por sus siglas en inglés); adicionalmente existen 7 subunidades (ND1, ND2, ND3, ND4L, ND4, ND5 y ND6) de las 46 que forman el complejo I (NADH deshidrogenasa), una subunidad (citocromo b, Citb) de las 11 presentes en el complejo III (complejo bc₁), tres subunidades (COI, COII, COIII) de las que constituyen el complejo IV (citocromo C oxidasa) y dos subunidades (ATP6 y ATP8) de las 16 proteínas que forman el complejo V (ATP sintasa); el resto de las subunidades polipeptídicas de estos com-

plejos están codificadas por el ADN nuclear (Bejarano 2001, Bornstein *et al.* 2005 y López y Montoya 2012).

Para la sistemática de insectos, los genes con mayor frecuencia utilizados son citocromo oxidasa I (COI) y citocromo oxidasa II (COII) dentro de los genes mitocondriales de la citocromo c oxidasa (Catarino *et al.* 2000, Lanteri 2007 y Tan *et al.* 2010).

En la conferencia internacional de Barcoding Life celebrada en Londres, se propuso usar una secuencia de 500 nucleótidos del gen mitocondrial de la citocromo oxidasa I (COI), como identificador universal para especies animales haciendo analogía con los códigos de barras de uso comercial (Hebert *et al.* 2003, Lanteri 2007), con el propósito de generar una biblioteca de secuencias con 5 millones de códigos de barras de 500,000 especies de acceso libre, facilitando a los no taxónomos identificar cualquier ejemplar biológico a partir de un fragmento de tejido del cual se pueda extraer ADN (Burelo *et al.* 2012).

En el 2007 se creó la red temática de Código de Barras de la Vida en México (MexBOL, <http://mexbol.com.mx>) como nodo regional del International Barcode of Life (iBOL) para extracción de ADN, amplificación mediante la PCR y secuenciación de una región específica de ADN (código de barras) con el objetivo de generar una biblioteca nacional de estos genes.

El MexBOL, está conformado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (CIBNOR) en el norte, El Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM) en el centro, y El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal (ECOSUR-CHET) en el sur.

Estas tres instituciones sede conforman el Laboratorio Nacional de Códigos de Barras donde se generan cerca de 50,000 códigos por año

(Gutiérrez y León 2013). Los investigadores mexicanos han contribuido, hasta 2019, con cerca de 86,199 registros de códigos de barras en la base de datos del iBOL, principalmente con los órdenes: Araneae, Coleoptera, Diplostraca, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera y Lepidoptera.

Una de las técnicas más utilizadas en la biología molecular es la PCR convencional. Esta técnica consiste en amplificar segmentos de ADN en forma selectiva, partiendo de una pequeña cantidad de ADN, multiplicar, varios millones, el gen de interés (Hing y Chong 2012). Para llevar a cabo esta técnica es necesario contar con la enzima polimerasa, el ADN del organismo de interés, oligonucleótidos o primers (generalmente de 18 a 22 nucleótidos), desoxinucleótidos trifosfato (dNTPs: dATP, dTTP, dGTP y dCTP), cloruro de magnesio ($MgCl_2$), buffer de la enzima y agua (Hernandez y Gomez 2012, Serrato *et al.* 2014a).

Todos estos componentes se mezclan, y colocan en un termociclador donde se llevará a cabo la PCR; esta consta de tres etapas principales: desnaturalización, hibridación y extensión; al final, se corrobora la amplificación del fragmento de interés mediante electroforesis en gel de agarosa y se visualiza mediante la tinción con bromuro de etidio (Marjorie 2003).

La PCR ha sido usada para estudios de filogenia e identificación de los descortezadores del género *Dendroctonus* con la amplificación de los genes COI y COII del ADNm (Catarino *et al.* 2000 y Rios 2007). Gijón *et al.* 2016 mencionan que los primers LCO1490/HCO2198 son útiles para identificar descortezadores (Coleoptera: Scolytinae), al amplificar un fragmento de 710 pb (pares de bases) del gen Citocromo c Oxidasa, subunidad I (COI). Sin embargo, para garantizar un buen diagnóstico molecular de los insectos, SENASICA-SAGARPA 2017 recomienda utilizar dos juegos de

primer (LCO1490/HCO2198 y C1-J-1718/C1N-2191 con un fragmento de 510 pb) ya que la región de anclaje de cada uno es distinta en el COI.

Otras técnicas moleculares basadas en la PCR son la PCR-RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*, por sus siglas en inglés), el análisis de microsatélites o SSR (*Simple Sequence Repeats*, por sus siglas en inglés), El RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*, por sus siglas en inglés) y las huellas digitales de AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*, por sus siglas en inglés) (Álvarez *et al.* 2005, Hing y Chong 2012, Lanteri *et al.* 2007). A continuación, se describe, de manera general, cada una de estas técnicas.

Los RFLPs fueron los primeros marcadores moleculares utilizados para el desarrollo de mapas genéticos.

En esta técnica se amplifica el ADN por la PCR tradicional y posteriormente el ADN se corta con enzimas de restricción para producir fragmentos de ADN de diferentes longitudes, se lleva a cabo la electroforesis y se visualiza mediante la tinción con bromuro de etidio.

El patrón de bandas generado es específico para cada especie y puede ser usado para la identificación (Hing y Chong 2012, López y Montoya 2012).

La PCR-RFLP se ha utilizado para diferenciar Biotipos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Biotipo-maíz y B-arroz) en México (Chávez *et al.* 2017); por su parte Garrick *et al.* 2015, lograron identificar con PCR-RFLP el gen mitocondrial COII en cinco especies del género *Reticulitermes* (*Reticulitermes flavipes* (Kollar), *R. virginicus* (Banks), *R. nelsonae* Lim & Forschler, *R. hageni* Banks y *R. mallei* Howard & Clement); estas termitas subterráneas son difíciles de distinguir por marcadores morfológicos.

Los microsatélites o SSR son marcadores codominantes que consisten de segmentos cortos de

ADN de 1 a 6 pb, que se repiten en tándem, y de forma aleatoria en el genoma de los seres vivos (Aranguren *et al.* 2005). Generalmente se han utilizado para estudios de genómica comparativa, genética poblacional, identificación de individuos dentro de una población, mapas genéticos y pruebas de paternidad (Aranguren *et al.* 2005, Wang *et al.* 2009).

Los RAPDs son tipos de PCR donde se amplifican fragmentos de ADN genómico mediante la PCR y donde se utilizan iniciadores de 9 a 10 nucleótidos de longitud, con secuencias aleatorias no palindrómicas con un contenido de guanina + citosina de 50-80% (Marjorie 2003, Williams *et al.* 1990); se han utilizado para desarrollar mapas genéticos, identificar marcadores moleculares en poblaciones o especies, y para estudiar insectos en que se dispone de muy poca información genética (Marjorie 2003).

La ventaja de este método es su simplicidad, bajo costo, no requiere de sondas específicas para cada especie y demanda poca cantidad de ADN, aunque tiene el inconveniente de ser un marcador de tipo dominante (Becerra y Paredes 2000).

Gómez *et al.* 2008 utilizaron esta técnica para identificar larvas de tres especies de *Anastrepha*: *A. ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart) y *A. striata* (Schiner). Sánchez y Prieto 2018 encontraron un alto grado de polimorfismo en *Anastrepha distincta* (Greene), utilizando esta técnica molecular.

España *et al.* 2006 confirmaron la identificación morfológica con análisis RAPD para las especies: *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, *T. exiguum* Pinto & Platner, *T. fuentesi* Torre, *T. pintoi* Voegelé, *T. pretiosum* Riley, consideradas especies crípticas.

La técnica molecular descrita por Vos *et al.* 1995 denominada AFLP, se considera una de las más

rápidas y de menor costo. Se basa en la amplificación selectiva de fragmentos de restricción obtenidos a partir de la digestión de ADN genómico mediante la PCR. Los AFLP son marcadores que segregan en forma mendeliana, igual que los RFLP; esta técnica permite la exploración de los polimorfismos del genoma, es altamente reproducible, es sensible para caracterizar el ADN cualquiera que sea su origen y complejidad, no necesita información previa del genoma y permite crear mapas genéticos; una de sus desventajas es que requiere ADN de alta calidad (Marjorie 2003). Serrato y Ramos 2014b reportan las etapas básicas para la técnica de AFLP que se describe a continuación:

- Extracción de ADN genómico.
- Su digestión con enzimas de restricción.
- Unión de adaptadores a los fragmentos digeridos.
- Amplificación preselectiva y evaluación en gel de agarosa.
- Amplificación selectiva.
- Electroforesis automática y análisis de resultados.

Esta técnica ha sido muy útil para estudios de diversidad genética en plantas, bacterias, hongos, y en menor grado en algunos invertebrados, peces, aves y mamíferos. Ejemplo de ello, es el estudio llevado a cabo por Rosas *et al.* 2010 donde confirmaron que existen polimorfismos en el DNA de 11 poblaciones de *Maconellicoccus hirsutus* (Green) provenientes de tres diferentes hospedantes.

Laboratorio de biología molecular

Para establecer un pequeño laboratorio de biología molecular e implementar la técnica de PCR es necesario que el laboratorio cumpla con tres requisitos: instalaciones, equipamiento y personal.

Instalaciones

Las áreas de trabajo deben de contar con una buena ventilación e iluminación, con instalaciones de agua, gas y electricidad, integradas de manera segura al mobiliario. Las superficies de trabajo tienen que ser impermeables, resistentes a ácidos y al calor moderado y fáciles de limpiar.

El personal debe usar el equipo básico de protección personal (bata blanca de manga larga, guantes, mandiles y lentes de protección), lava ojos y duchas. Para trabajar de forma segura en cada área es importante tener la señalización apropiada y de fácil comprensión de acuerdo a las normas de protección civil.

El laboratorio de biología molecular requiere de tres zonas físicamente separadas, para mantener un flujo de trabajo unidireccional y evitar retroceder de áreas sucias hacia áreas limpias:

- Zona de manipulación de muestras y extracción de ácidos nucleicos con protocolos tradicionales y comerciales.
 - Zona limpia, donde se llevará a cabo la preparación, amplificación y técnicas de PCR.
 - Zona de electroforesis y lectura de geles.
- Estas áreas deberán garantizar la integridad y seguridad de las muestras, así como las medidas oportunas para evitar la contaminación exógena.

Equipamiento

El equipo básico con que debe contar el laboratorio de biología molecular es el siguiente: agitador, autoclave, balanza analítica, cámara de electroforesis con fuente de poder (figura 78), campana de bioseguridad clase II (figura 79), campana de extracción de gases, congelador

(-20 °C), ultracongelador (-80 °C), foto documentador de geles o transiluminador con cámara digital, microcentrífuga convencional y refrigerada (figura 80), termociclador para la amplificación de ácidos nucleicos mediante PCR para 96 muestras (figura 81), NanoDrop, microondas, microscopio, gradillas, gradilla refrigerante, morteros con pistilo, cristalería, micropipetas (20, 100, 200 y 1000 µl), termoblock, vórtex y sistema de cómputo equipado con la paquetería de análisis de datos.

Para el buen funcionamiento de los equipos es necesario mantener los manuales de uso y establecer un programa de mantenimiento anual o en función del uso del equipo.



Figura 78. Cámara de electroforesis con fuente de poder.
(Fotografía: O. A. Pérez)



Figura 79. Campana de seguridad.
(Fotografía: O. A. Pérez)



Figura 81. Termociclador de PCR.
(Fotografía: O. A. Pérez)



Figura 80. Centrífugas.
(Fotografía: O. A. Pérez)

Personal

El personal para trabajar en un laboratorio de biología molecular debe demostrar conocimientos y experiencia necesaria para desarrollar las pruebas de PCR en el laboratorio, además tener capacidad de concentración y trabajo en equipo.

La capacitación y actualización del personal debe ser constante sobre nuevas técnicas moleculares para el diagnóstico de plagas.

IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ASPECTOS POBLACIONALES DE LOS INSECTOS

David Cibrián Tovar y Felipe Romero Rosales

Los insectos forman parte de los ecosistemas forestales; están presentes desde los inicios de una sucesión ecológica, en la que influyen directa o indirectamente en la producción de materia vegetal, en los flujos de energía, en la recirculación de nutrientes y en la diversidad, distribución y abundancia de las plantas. Su papel ecosistémico es permanente, con la herbivoría como principal interfase con sus hospedantes; de esta relación se crea una red compleja de interacciones que culmina en redes tróficas que orientan la sucesión ecológica.

Su importancia ecológica se comprueba al comparar la homeóstasis de los ambientes naturales con la de los agroecosistemas: en los bosques las poblaciones de insectos y sus asociados se mantienen a niveles que solo ocasionalmente, y bajo la influencia de condiciones climáticas o ausencia de manejo forestal, alcanzan nivel de plaga; en cambio; en los ambientes forestales modificados, como viveros, plantaciones o árboles en ambientes urbanos, los factores de regulación están disminuidos o ausentes, permitiendo el desarrollo de plagas a combatir, lo cual es todavía más evidente en los cultivos agrícolas, en los que se hace necesaria una intervención humana constante.

Los insectos herbívoros como elementos de transformación en los bosques

Los insectos tienen funciones importantes en el ambiente. En su relación con las plantas, participan en la polinización de muchas especies, en la eliminación de individuos suprimidos o débiles, en el reciclamiento de nutrientes y en las tasas de crecimiento y forma del tronco de sus hospedantes vegetales. A la vez son utilizados por consumidores secundarios y propician el establecimiento de cadenas tróficas.

Un ejemplo de su relación con otras plantas es el de las hormigas arrieras en ambientes cálidos del trópico americano donde cosechan hasta el 50% de hojas de las especies presentes, remue-

ven y utilizan hasta el 15% del total producido en ese ambiente (Carrano-Moreira 2014). Esta herbivoría modifica la diversidad ecológica e induce evolución de nuevas especies.

En los bosques de encino afectados por avispa agalladora, las infestaciones crónicas promueven copas multiramificadas, deformadas, abiertas, y de menor porte que en los árboles sanos.

Concepto de nicho ecológico

El concepto de nicho ecológico ha cambiado a lo largo de cien años de existencia, con múltiples

significados, aunque, siempre siguieron el punto de vista darwiniano que afirma que los ecosistemas están estructurados por la lucha por la supervivencia (Pocheville 2015).

Hutchinson 1957 definió al nicho como el volumen en el espacio que tiene variables ambientales que le permiten a una especie vivir indefinidamente, este concepto lo llamó nicho fundamental y lo consideró libre de interacciones con otras especies; cuando introdujo la interacción de otras especies (competidores, depredadores, parasitoides) el volumen del nicho se redujo, a este le llamó nicho realizado.

Chase y Leibold 2003 revisaron el concepto y lograron corregir los problemas de la definición de Hutchinson, para estos autores “nicho ecológico” es un conjunto de variables ambientales que permiten que una especie tenga una tasa de crecimiento demográfico (r) mayor o igual a cero, junto con los efectos de esa especie en esas variables ambientales.

Soberón y Peterson 2005, Peterson y Soberón 2012 y Soberón, Olvera y Peterson 2017 revisaron los conceptos de distribución y nicho ecológico de las especies. En este grupo de artículos se establece claramente la diferencia entre ambos conceptos y por ello se remite al lector a una revisión para su mejor comprensión.

Estos autores utilizan un diagrama BAM (marco biótico-abiótico y movilidad) para describir la distribución, reconociendo que las tolerancias ambientales en que la especie puede permanecer y la presencia o ausencia de especies asociadas, en el caso de insectos son: depredadores, parasitoides, patógenos, competidores, dispersores, etc. junto con la capacidad de dispersión, son factores que determinan la distribución (figura 82).

Los mismos autores indican que una especie tiene altas probabilidades de ser observada en una región del mundo donde:

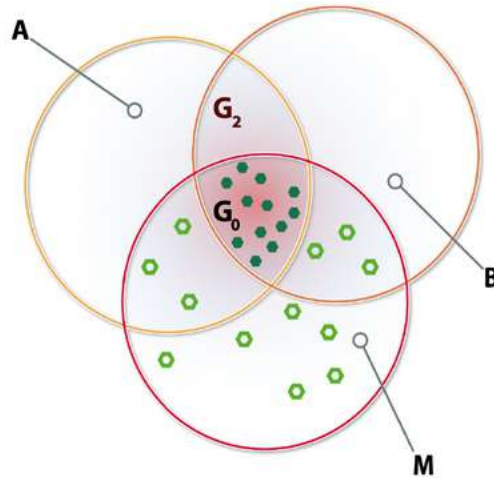


Figura 82. Diagrama BAM para definir nicho ecológico: el área gris-rojizo G_0 es el NR o Nicho Realizado; G_2 es el N^*F o Nicho Fundamental. **A**, **B** y **M** se describen abajo. (Ilustración: E. Llanderal. Redibujado de Peterson y Soberón 2012)

- Existan las condiciones abióticas necesarias, simbolizadas con **A**.
- Existan condiciones bióticas favorables, **B**.
- Encuentre un estado accesible para la dispersión desde su región de origen histórico o desde otra región, definida en un momento temporal relevante, **M**.
- La zona G_0 , ocupada actualmente por la especie, es la intersección biótica y abiótica históricamente favorable, donde se puede observar o recolectar. Las variables ambientales constituyen el Nicho Realizado N_R , el nicho que la especie en realidad utiliza.
- La zona G_2 tiene condiciones favorables, pero por alguna razón quedó fuera de las capacidades de la especie para colonizarla. Esta zona es denominada por Hutchinson 1957, Nicho Fundamental; Soberón, Olvera y Peterson 2017 la llaman Nicho Fundamental de una región por tiempo determinado o Nicho Existente y lo simbolizan N^*F_0 . El área que ocupa una especie puede cambiar por modificaciones climáticas o humanas.

Eficiencia ecológica de los insectos

La Eficiencia Ecológica es la capacidad óptima de adaptación y de utilización de los recursos en un ecosistema para lograr un máximo aprovechamiento de la materia y la energía.

Los insectos se caracterizan por tener alta eficiencia ecológica, representada por su alta tasa de ingesta y baja tasa de asimilación; es decir, que gran parte de la ingesta pasa sin ser digerida y se deposita como excrementos en el suelo, permitiendo el desarrollo de detritívoros. Por ejemplo, durante infestaciones de defoliadores, (moscas sierras), capaces de defoliar árboles en miles de hectáreas, sus excrementos aportan nutrientes que benefician la cadena de saprófagos en el suelo. En contraste, los vertebrados de sangre caliente tienen una tasa alta de ingesta-asimilación, de baja eficiencia ecológica.

En un ejemplo de Odum, Connell y Davenport (1962), quienes trabajando un campo abandonado y en las primeras etapas de la sucesión, estudiaron los flujos de energía de cinco consumidores primarios: un ave *Passerculus sandwichensis* (Gmelin) y un ratón *Peromyscus polionotus* (Wagner), consumidores de semillas; los chapulines herbívoros *Melanoplus femur-rubrum* (De Geer) y *Melanoplus bilituratus* (Walker) así como el grillo de los árboles *Oecanthus nigricornis* F. Walker.

Los flujos de energía promedios de los tres grupos fueron: para las aves de 3.6 kcal/m², para los ratones de 6.7 kcal/m² y para los ortópteros de 25.6 kcal/m², lo que demuestra la gran importancia de los insectos en el nivel trófico herbívoro.

Efectos de los insectos en el ecosistema forestal

Los insectos, al consumir plantas, afectan la producción de biomasa, la síntesis bioquímica, disminuyen la producción de materia orgánica y reducen las tasas de evaporación y fotosíntesis.

Cuando causan defoliación, entre más joven sea la planta atacada mayor será el impacto en ella, reduciendo su capacidad competitiva, incluso pudiendo causar su muerte; en contraste, en plantas maduras una defoliación ligera puede estimular el crecimiento al promover el desarrollo de nuevos brotes revitalizando al individuo. A través del tiempo darwiniano, los insectos representan fuerzas de selección natural en favor de las especies más aptas en un sitio.

Los insectos fitófagos, por medio de sus excrementos, porciones del material vegetal o sus propios cuerpos, proveen al suelo con nutrientes; estos materiales aportan, entre otros elementos, el nitrógeno que estimula el proceso de nitrificación y desarrollo de raíces.

En la hojarasca y las primeras capas del suelo existen insectos y otros artrópodos detritívoros, coprófagos y descomponedores, que fragmentan mecánicamente y químicamente los detritos, poniéndolos a disposición de bacterias, hongos y nematodos.

Los barrenadores de madera recién muerta o ya descompuesta, junto con sus simbiontes, aceleran la descomposición y permiten reducir la a humus disponible para las plantas.

Cada vez está más documentado el papel que juegan los grupos de barrenadores de madera, termites, hormigas carpinteras, escarabeidos y pasálidos en su degradación y descomposición de troncos caídos.

En los ambientes tropicales los termites son particularmente importantes porque, con sus

propios sistemas enzimáticos o por medio de sus microorganismos asociados, descomponen la celulosa facilitando el retorno del carbono al ciclo natural.

Otras funciones de los insectos

Los insectos contribuyen en la dispersión de polen, frutos y semillas; es conocida la importancia de las abejas, avispas, abejorros y muchas especies de moscas en la polinización de muchas especies de plantas. Las hormigas son importantes acarreadoras de semillas.

Según Szabolcs *et al.* 2010, más de 80 familias vegetales con eleosomas (apéndices ricos en lípidos que ciertas hormigas utilizan como alimento) tienen este mecanismo, para facilitar su dispersión.

Los fitófagos son depredados o parasitados por otros insectos responsables de la regulación poblacional de herbívoros, incluso hay hiperparasitoides que ocuparán un nivel trófico superior, responsables de la regulación poblacional de herbívoros, incluso hay hiperparasitoides que ocuparán un nivel trófico superior.

Fundamentos de dinámica de poblaciones de insectos

Una población se define como “grupo de organismos de la misma especie que ocupan un área dada en tiempo determinado”; aunque sus límites, tanto en espacio como en tiempo, son difíciles de establecer y con frecuencia se establecen arbitrariamente.

Sistemas de población

Un sistema de población se refiere a las variables que determinan su abundancia y distribución en tiempo y espacio. Se acepta que los componentes básicos del sistema son cuatro:

- Los miembros de la población.
- Las variables que describen su tamaño y estructura.
- Los procesos que afectan tamaño, estructura.
- Por último, el ambiente.

La suma e interacción de estos elementos determinan su capacidad para incrementar el número y mantenerse en el paisaje cambiante de hábitats y recursos fraccionados.

Se describen con cierto detalle: la estructura poblacional y los procesos que intervienen en la definición de un tamaño poblacional.

Estructura de la población

La estructura de una población se caracteriza por su densidad, distribución geográfica, disposición espacial, estructura de edades, proporción de sexos y composición genética.

Densidad

Este término se utiliza para expresar el tamaño o la abundancia de una población; una definición de Coulson y Witter 1984 indica que es el número de individuos por unidad de área o volumen. La estimación absoluta de una población incluye al número total de individuos, difícil de obtener; por ello, con frecuencia se utiliza el término intensidad de la población, el cual se refiere al número de individuos por unidad de hábitat, por ejemplo, número de individuos por hoja, que se

puede expandir al total de hojas y entonces se tendrá una estimación “absoluta”.

La estimación relativa se obtiene al utilizar unidades que no incluyen área o volumen, por ejemplo, la captura de insectos, durante un periodo de tiempo en trampas pegajosas de luz, cebadas con feromonas.

Por último, se pueden utilizar índices de población, los cuales se basan en productos derivados de la actividad de los insectos, por ejemplo, galerías de insectos descortezadores, yemas o brotes barrenados por larvas, bolsas de seda, heces fecales, exuvias, cápsulas cefálicas, etc.

Distribución geográfica

La definición del concepto “distribución geográfica” ha variado, recientemente Maciel-Mata *et al.* (2015) toman la siguiente definición de Zanino y Palestrin 1991: “el área de distribución se define como la fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa de manera no efímera con el ecosistema”. A lo largo del tiempo dicha fracción del espacio geográfico pudo haber tenido fluctuaciones importantes; se acepta que, en casi cualquier especie, a lo largo del tiempo, hay contracción y expansión.

La distribución geográfica de una especie se refiere al área que ocupa, latitudinal, longitudinal y altitudinalmente; dentro de ese polígono tridimensional se tendrán subáreas donde la especie logrará las mejores condiciones de desarrollo, en cuanto temperatura, precipitación, cantidad y calidad de alimento o refugio.

En los límites de distribución de una especie se tendrán más probabilidades de limitaciones severas al desarrollo, principalmente por factores climáticos. En cambio, dentro del área de distribución, se tendrán sitios que permitan el mejor desarrollo de la especie y sus especies asociadas, sean depredadores, parasitoides o

competidores. Lo anterior conlleva a que dentro del rango geográfico puede haber poblaciones aisladas (demes) que se van diferenciando, y conforman metapoblaciones. Las actividades antropogénicas son de importancia en la distribución de algunas especies de insectos.

Disposición espacial

Este término se refiere a como se acomodan las poblaciones en el espacio, que patrón siguen para ubicarse en relación de unos con otros.

Se reconocen tres patrones básicos: aleatoria, regular y de contagio (figura 83); aunque también hay regular de contagio.

- La forma aleatoria o al azar de disposición es rara u ocurre cuando se inician infestaciones; por ejemplo, la colonización de hembras pioneras de *Dendroctonus adjunctus* Blandford en un árbol. En general esta disposición requerirá que el entorno ambiental sea homogéneo y que los insectos no muestren tendencias de agregación o antagonismo.
- La regular o uniforme también es rara en insectos, y se alcanza cuando altas poblaciones colonizan un ambiente restringido.

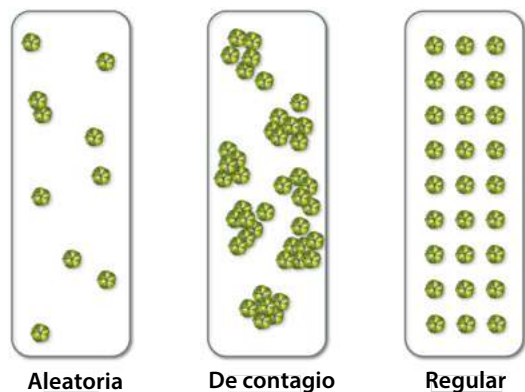


Figura 83. Patrones básicos de distribución de poblaciones de insectos. (Ilustración: E. Llanderal)

- La mayoría se distribuye en forma contagiosa, casi siempre bajo factores que la inducen, desde olores, alimento, sonido, sitios de refugio, etc.
- Aunque no es frecuente, se puede presentar más de un patrón, en poblaciones de la misma especie.

La densidad y disposición espacial están estrechamente relacionadas y es de gran importancia conocerlas para entender la fluctuación poblacional de una especie.

Estructura de edades

Una población de insectos incluye individuos en diferente estado de desarrollo; la proporción de cada estado respecto al total se conoce como "estructura de edades".

- En general, una población con mayoría de individuos en sus primeras etapas se considera "en crecimiento".
- Cuando predominan las últimas etapas se considera "en declinación".
- Una población estable tiene la mayoría de individuos en etapa reproductiva.

Estos patrones cambian con la especie. Casi siempre, los insectos tienen su estructura adaptada a las condiciones ambientales y disponibilidad de recursos; por ejemplo, las larvas del barrenador *Eucopeia sonomana* (Kearfott) solo están

presentes durante el desarrollo de brotes, porque cuando éstos se lignifican, ya están en el suelo en forma de pupa (Cibrián *et al.* 1995).

La estructura de edades se ejemplifica con la población humana y sus posibles variaciones (figura 84).

Proporción de sexos

En la mayoría de las especies de insectos la proporción de sexos es similar, 1:1, resulta del apareamiento de hembras y machos diploides, tener 50% de machos y de hembras maximiza la heterogeneidad genética, lo cual es importante en la supervivencia de poblaciones sometidas a ambientes distintos; sin embargo, se reduce la cantidad de hembras y por lo tanto la capacidad de competir por recursos alimenticios o de otra índole; en cambio, en especies partenogénicas, las hembras no tienen que buscar machos y en ambientes propicios, en poco tiempo, pueden alcanzar grandes poblaciones (Schowalter 2016).

Cuando las hembras no apareadas se logran reproducir lo hacen en dos formas, partenogénesis arrenotokia (solo producen machos haploides) y partenogénesis telitokia (solo producen hembras), ambos sistemas se determinan en los cromosomas del genoma nuclear de los insectos; en ocasiones, la proporción de sexos es altera-



Figura 84. Tipos más comunes de estructura de edades en poblaciones humanas.

(Ilustración: E. Llanderal)

da por microorganismos, la bacteria *Wolbachia* puede inducir telitokia en varias familias de Hymenoptera, varias de parasitoides y de inductores de agallas (Hoy 2008).

Composición genética

Las especies, a lo largo de su rango de distribución y a través del tiempo tienen variaciones en su información genética; dichas variaciones dependen de factores ambientales, tasa de mutación, tamaño poblacional, aislamiento y movilidad. Esta información genética puede afectar parámetros poblacionales y se espera que una especie que tiene distribución amplia muestre mayor variación a lo largo del rango de distribución que una con rango restringido (Schowalter 2016).

Reconocer la composición genética auxilia en la identificación de origen y patrones de distribución de especies introducidas en otros países.

Se muestra un ejemplo con *Dendroctonus valens* Le Conte (Taerum *et al.* 2016), (figura 85) en las últimas décadas del siglo XX este descortezador americano se descubrió en China, en la provincia de Shaanxi; se presume que fue introducido en



Figura 85. *Dendroctonus valens*, esta especie mexicana no presenta ataques masivos, por lo que, en su área de distribución nativa se considera inocua. Se introdujo accidentalmente a China, donde tiene un comportamiento agresivo por falta de enemigos naturales y lograr nuevas asociaciones con hongos patógenos. (Fotografía: E. Llanderal)

madera no tratada procedente del oeste de Norteamérica (NA) (Sun *et al.* 2013).

Para 1999 ya había matado millones de árboles y se le consideró una nueva plaga de importancia (Yan *et al.* 2005); en contraste, dentro de su rango nativo de distribución, Canadá, Estados Unidos, México y Guatemala, es calificado como un insecto secundario que solo contribuye en la muerte de árboles severamente dañados por otros factores (Cibrián *et al.* 1995). En China existe la preocupación que pueda colonizar los extensos bosques de Eurasia (Sun *et al.* 2013).

Mediante estudios con marcadores moleculares con la enzima citocromo oxidasa I, se postuló que el origen de la invasión fue el oeste de NA (Cognato *et al.* 2005); sin embargo, en China se encontró que *D. valens* estuvo asociado con tres hongos: *Grossmania koreana* Kim & Kim, *Leptographium procerum* (Kendr.) Wingf, y *Ophiostoma abietinum* Marm. & Butin, los cuales no son llevados por el insecto en el oeste de NA, pero sí en el este; para completar el cuadro de asociados, otro hongo, *Ophiostoma floccosum* Math.-Käärik que se asocia con *D. valens* en el oeste de NA, también se encontró en China; por último, se determinó que *Leptographium procerum*, es un patógeno débil en NA, se convirtió en patógeno severo en China; concluyendo que *L. procerum* contribuye en el comportamiento agresivo de *D. valens*, al causar que el hospedante produzca más 3-careno, principal atrayente del descortezador (Lu *et al.* 2011 y Taerum *et al.* 2013); por lo anterior se identificó una relación compleja que obligó a realizar un nuevo estudio por Taerum *et al.* 2016 utilizaron microsátelites como marcadores moleculares, ya que son efectivos para estimar la diversidad de poblaciones, la estructura poblacional en rangos geográficos y determinar los movimientos históricos de especies invasivas.

Se recolectaron adultos y larvas, en un amplio rango de distribución de *D. valens* en Estados Unidos, México y China. De las recolectas se identificaron cuatro “clústers” bien diferenciados en América que fueron:

- **Oeste de Estados Unidos:** Arizona, California, Idaho, Montana, Oregon y Washington.
- **Centro de Estados Unidos:** Wisconsin.
- **Noreste de Estados Unidos:** Massachusetts, New Hampshire y Vermont.
- **México:** Durango e Hidalgo.
- Estos se compararon con las poblaciones de **China:** Shaanxi1 y Shanxi2.

Hubo gran similitud de las poblaciones chinas con las poblaciones del oeste, mediana similitud con las poblaciones del centro y nula relación con las poblaciones del noreste y de México.

En el estudio se demostró que hubo mayor cantidad de alelos en las poblaciones del oeste, seguido por las del noreste, las de México, las de China y por último las del centro. Todos los alelos encontrados en China estuvieron presentes en el oeste y gradualmente menos en el noreste, México y centro. Por lo anterior se concluyó que la población china de *D. valens* se originó en el oeste. Esta información soporta resultados previos (Cognato *et al.* 2005 y Cai 2008), así como el histórico de las importaciones de madera a China desde el oeste de EU.

También reveló que en el área de distribución nativa de *D. valens* existen cuatro clusters genética y geográficamente distintos. La población china de *D. valens* tiene menos diversidad que la población del oeste, lo cual sugiere que hubo múltiples eventos de entrada o que ésta fue numerosa. Es posible que el hongo *L. procerum* haya sido introducido desde el noreste de EU y en China se estableció una nueva asociación con las poblaciones del descortezador que llegaron del oeste (Taerum *et al.* 2016).

Procesos poblacionales

El tamaño de las poblaciones de insectos, al igual que las de otros animales, se define por cuatro procesos naturales: natalidad, mortalidad, emigración e inmigración.

- La natalidad + inmigración son las “ganancias” de la población.
- La mortalidad + la emigración son las “pérdidas” de la población.

La suma de efectos negativos y positivos de cada proceso, determina la densidad de población en un tiempo y un lugar determinados. Para este libro se presenta un resumen de los procesos y se sugiere al lector profundizar en el tema en obras especializadas (Price 1997, Southwood 1978, Schowalter 2016).

Natalidad

Es la capacidad de cada especie para producir descendencia. En el caso de los insectos se refiere al número de huevos puestos.

- **Fertilidad.** Es el número de huevos viables.
- **Fecundidad.** Es la producción total de huevos. se calcula mediante la disección de hembras para extraer los ovarios y separar los huevos (Southwood 1978).
- **Potencial reproductivo.** En el caso de los insectos, la tasa de nacimientos en un periodo de tiempo, estará definida por el potencial reproductivo, que se determina por la proporción de sexos, el número de generaciones en el mismo periodo y el número de descendientes por hembra; este es genéticamente definido para cada especie y se conoce como tasa intrínseca de incremento (r).

Cuando el tamaño de una población varía en un intervalo mínimo de tiempo, se tiene una tasa per capita infinitesimal de incremento (r), que en la ecuación 1 se define como:

Tasa instantánea de crecimiento:

$$r = dN/dt; r = \Delta N/\Delta t$$

donde ΔN es la variación poblacional en el intervalo de tiempo Δt .

Malthus 1798, propuso la ecuación diferencial:

$$dN/dt = rN$$

conocida como ley de Malthus y que expresa crecimiento geométrico o exponencial de una población que vive en un **ambiente ilimitado** dN/dt representa la variación de densidad por unidad de tiempo; N es el número de individuos en la población y r es la tasa intrínseca de incremento, la cual es la máxima expresión de crecimiento de una especie.

Mediante la integración de la ecuación $dN/dt = rN$, se obtiene la ecuación:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

donde N_t = número de individuos en el tiempo final (t)

N_0 = número de individuos en el tiempo inicial

e = base de los logaritmos naturales ($e=2.71828$)

r = tasa intrínseca de crecimiento

t = periodo de tiempo considerado para la especie estudiada.

Esta ecuación representa condiciones ideales de desarrollo exponencial de una especie.

La ecuación anterior se puede transformar a:

$$Pb = [d(nh)/(nh+nm)]^n$$

donde Pb = potencial biótico

nh = número de hembras

nm = número de machos

d = número de descendientes hembra por hembra madre

n = número de generaciones en un periodo de tiempo. Esta fórmula se conoce como **Potencial Reproductivo**.

Un ejemplo de crecimiento sin limitaciones se ilustra con la mosca fungosa negra *Bradysia impatiens* (Johannsen) (cuadro 7). Se inicia con una pareja, hembra y macho, cuya proporción

sexual es 50/50, ovipostura de 300 huevos/hembra y sabiendo que se requieren 30 días para completar una generación.

$nh=1$

$nm=1$

$d=150$

$Pb=75^6$

$n=6$ (6 generaciones en 6 meses)

$$Pb = [150(1/(0.5))]^6$$

En apenas seis meses el potencial reproductivo de la mosquita fungosa alcanzaría en condiciones ideales una población de más de 2,373 millones de individuos hembra.

Cuadro 7. Desarrollo exponencial de *Bradysia impatiens* en seis generaciones.

Generación	Población de hembras
1	1
2	75
3	5625
4	421,875
5	31,640,625
6	2,373,046,875

La mayoría de los insectos inician su proceso reproductivo con igual proporción de hembras y machos; sin embargo, existen variaciones en este patrón, en varios de los órdenes de Insecta, especialmente Isoptera, Hemiptera, Coleoptera, e Hymenoptera; incluso hay especies que tienen partenogénesis que incrementa el potencial reproductivo.

Las especies, al inicio de una sucesión ecológica, tienen alto potencial reproductivo; buenos ejemplos de ello son los pulgones, psílidos y cóccidos; a este tipo de especies se les conoce como **estrategas r**, se caracterizan por alta fecundidad y baja probabilidad de supervivencia.

En contraste, aquellas en etapas avanzadas de la sucesión, tienen un potencial reproductivo más bajo; por ejemplo, barrenadores de tejidos vivos, moscas parásitas y algunos lepidópteros; estas poblaciones tienen baja fecundidad, pero mayor probabilidad de supervivencia, a estos insectos se les conoce como **estrategas K**.

Mortalidad

En la naturaleza nunca ocurre un crecimiento ilimitado, como se muestra en la figura 86. Las poblaciones se enfrentan a factores ambientales extremos, a restricciones en calidad y cantidad de alimento y a enemigos naturales; la suma del impacto de estos factores genera mortalidad. Verhulst 1838 estableció límites para el crecimiento poblacional de una especie.

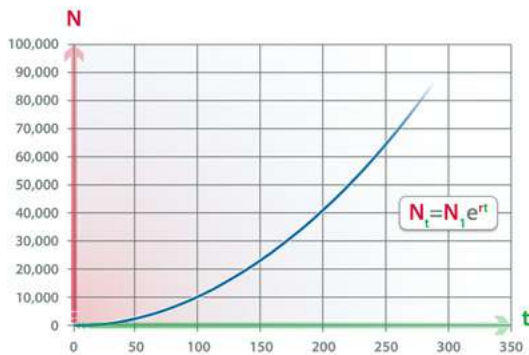


Figura 86. Curva de crecimiento exponencial, ocurre en condiciones ideales. (Ilustración: E. Llanderal)

En un medio limitado una especie crecerá hasta agotar los recursos, su curva exponencial de crecimiento se modificará en la pendiente para mantenerse debajo de cierto valor (K), denominado **densidad de equilibrio de la población** (figura 87).

Una población que está creciendo en un medio limitado describe una curva logarítmica-expo-

nencial, llamada de **crecimiento logístico**, en donde el factor K expresa la capacidad sustentable del medio, es decir, a la máxima población que es capaz de ser mantenida con los recursos disponibles.

En la medida que una población se acerca a los límites de sostenibilidad, la tasa de crecimiento se desacelera rápidamente.

Si en la ecuación exponencial de crecimiento $dn/dt=rn$, se incorpora el término $(k-n/k)$, que representa la “**capacidad de carga**”, es decir la máxima población que puede ser sostenida por los recursos disponibles, la ecuación de crecimiento logístico queda:

$$dN/dt=rN(K-N/K)$$

Para el cálculo de una población con datos de campo, la ecuación $Pb=[d(nf/(nf+nm))]^n$ se modifica a:

$$Pb=[d(nf/(nf+nm))]^n - R_a$$

donde R_a representa el número de muertes por factores ambientales.

Describiendo esta ecuación, el crecimiento poblacional será exponencial cuanto mayor sea

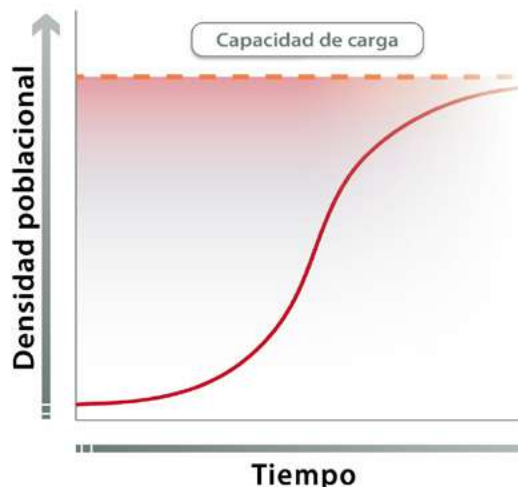


Figura 87. Curva de crecimiento logístico. Ocurre cuando existen limitaciones determinadas por la capacidad de carga. (Ilustración: E. Llanderal)

la diferencia entre n y k , pero, al aproximarse n a k el crecimiento tenderá a estabilizarse hasta ser constante cuando alcancen valores iguales. Si n rebasa k la población decrece.

En la naturaleza existen otros factores de mortalidad distintos a la cantidad de alimento disponible; dichos factores pueden reducir la población antes de que alcance la capacidad de carga, por ello es difícil que una especie llegue al tamaño que agote todos los recursos alimenticios o espaciales.

Esos "otros factores" son diversos; destacan la depredación, el parasitoidismo, los patógenos, los factores genéticos intrínsecos y climáticos, etc. La suma de ellos se conoce como **resistencia ambiental**.

El modelo logístico tiene limitaciones en su aplicación práctica; sirve bien como modelo general, pero falla por los supuestos en que se basa, los cuales son:

- Todos los individuos son iguales en su potencial reproductivo. En este aspecto, los inmaduros no aportan nuevos individuos y los maduros varían en su productividad.
- La reproducción es constante, independiente del clima y de otras variaciones.
- La capacidad de carga es constante; K no se puede modificar por sobrealimentación o por influencias cambiantes en los niveles tróficos inferiores.
- La resistencia ambiental por medio de la competencia es una función lineal de la densidad.

Los supuestos anteriores solo se cumplen en condiciones controladas; por ejemplo, en crías de insectos en medios de cultivo.

En la naturaleza las poblaciones tienen periodos específicos en los cuales crecen, se reproducen o se protegen de ambientes desfavorables; bajo estas circunstancias el ajuste de una población al modelo logístico es irregular; es decir, el

modelo es útil como generador de ideas de regulación de la población, pero no es útil en la predicción de cambios poblacionales precisos.

Debido a estas limitaciones se han generado modelos específicos que se pueden consultar en la literatura especializada. Un ejemplo es el conjunto de modelos para predecir fluctuación de poblaciones del descortezador *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Saunders *et al.*1985).

Factores de mortalidad

Se reconocen dos grandes factores de mortalidad, uno es independiente de la densidad poblacional y el otro, depende de ella.

- **Los factores de mortalidad independientes de la densidad (FMID)** son aquellos en los que no influye la densidad poblacional; por ejemplo, la resistencia genética del hospedante, la presencia de eventos climáticos extremos como sequías, heladas, inundaciones, incendios; estos factores son más frecuentes en los extremos latitudinal y altitudinal de las áreas de distribución natural de las especies.
- **Los factores de mortalidad dependientes de la densidad (FMDD)** son de mayor importancia cuando las poblaciones incrementan su tamaño; se presentan con mayor eficacia al interior de las zonas de distribución de las especies. La depredación, el parasitoidismo, los entomopatógenos y la competencia son de este tipo.

Tablas de vida

La construcción de tablas de vida permite entender la fluctuación y dinámica de poblaciones de una especie. Su uso en ecología se derivó del trabajo de los actuarios que, con ellas podían determinar la esperanza de vida de sus clientes y calcular el costo de los seguros de vida. Los insectos son distintos, la mayoría tiene generaciones discretas y poblaciones no estacionarias.

Se reconocen dos tipos de tablas de vida, verticales de tiempo específico y horizontales o de edad específica, solo estas últimas se describen.

Tablas de vida horizontales

Este tipo de tabla, por conveniencia, se inicia con una cohorte de individuos, normalmente 1,000 aunque hay variaciones a este número.

Las columnas que la componen son:

- **x** se refiere al intervalo de una clase de edad; pueden ser unidades de tiempo (días, semanas, estados de desarrollo, etc)
- **l_x** se refiere al número de individuos que entran al inicio de la clase de edad x
- **d_x** es el número de muertos durante el intervalo de edad x
- **fd_x** es el agente causal de mortalidad en el intervalo de edad x
- **e_x** es la esperanza de vida que aún queda para los individuos de la edad x
- Para el cálculo de **e_x** se incluyen dos columnas adicionales **L_x** y **T_x**
- **L_x** es el número de individuos que viven entre las edades x y x+1, se calcula mediante **L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2**
- **T_x** es el número de unidades de edad x que quedan por vivir más allá de la edad x; se calcula por **T_x = L_x + L_{x+1} + L_{x+2} ... L_w**, donde w es el último estado.
- **e_x** se calcula por **e_x = T_x / l_x**
- Para propósitos prácticos la columna de **L_x** se construye sumando de abajo hacia arriba.

En el cuadro 8 se muestra una tabla hipotética. La tabla de vida permite identificar la mortalidad en los diferentes intervalos de edad.

Cuando se incorpora **fd_x** se sabe qué factor de mortalidad es de mayor importancia.

Con los datos se puede construir una curva de supervivencia (figura 88), la cual puede asumir tres formas como:

Cuadro 8. Tabla de vida horizontal típica e hipotética.

x	l _x	d _x	fd _x	L _x	T _x	e _x
1	1000	200		900	2,890	2.89
2	800	150		725	1,990	2.49
3	650	150		575	1,265	1.95
4	500	250		375	690	1.38
5	250	150		175	315	1.26
6	100	50		75	140	1.4
7	50	20		40	65	1.3
8	30	20		25	45	1.5
9	20	10		15	20	1.0
10	10	10		5	5	0.5

- La curva tipo I indica mayor supervivencia en los intervalos iniciales de edad
- La II muestra mortalidad constante.
- La III una mortalidad acentuada en los primeros intervalos de edad.

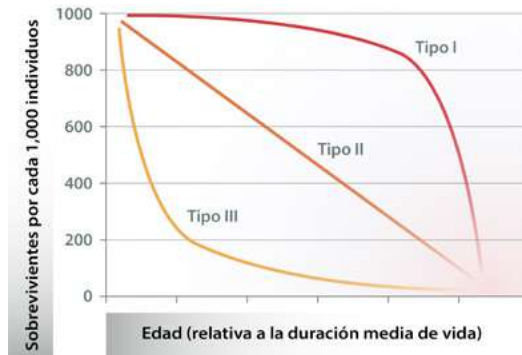


Figura 88. Curvas de mortalidad. En el tipo I, los jóvenes tienen mayor probabilidad de supervivencia que los individuos viejos. En el tipo II, la tasa de mortalidad es constante. En el tipo III, la mayor mortalidad se presenta en los individuos jóvenes. (Ilustración: E. Llanderal)

Emigración e inmigración

Se considera que las tasas de emigración e inmigración de individuos de una población son características de cada especie. Ambas constituyen mecanismos de colonización de nuevos territorios y de escape de condiciones adversas.

La capacidad de desplazamiento será muy distinta entre los grupos de insectos, algunos con capacidad de vuelo de miles de kilómetros, como la mariposa monarca (figura 89); en cambio, otros de apenas pocos centímetros o metros, como los insectos ápteros, en estos casos ya no sería migración sino dispersión.

La importancia de la migración en la dinámica de poblaciones de insectos es relevante, aunque poco incorporada en los planes de manejo integrado de plagas, debido a que se tiene poco conocimiento sobre el comportamiento de vue-

lo de cada especie plaga, lo cual no permite la generación de modelos precisos que permitan predicciones realísticas sobre la presión que pueden ejercer las plagas en los recursos forestales.

Se reconocen dos patrones de dispersión, uno de largo y otro de corto alcance; es posible que ambos tengan impactos en los comportamientos de plagas de importancia económica:

La migración es un fenómeno ampliamente presente y ha evolucionado independientemente en muchos ordenes de insectos, una definición del comportamiento migratorio la ofrece Kennedy 1975: "El comportamiento migratorio es persistente, claramente efectuado por movimientos locomotores propios de los animales o mediante su embarque voluntario en un medio de transporte.



Figura 89. Mariposa monarca *Danaus plexippus*; población invernante en el oriente de Michoacán, México. En días soleados, las mariposas vuelan en busca de agua y néctar. (Fotografía: D.Cibrián)

El proceso migratorio se activa mediante la inhibición temporal de estímulos que hacen que los animales mantengan la posición actual, mediante la promoción de la desinhibición y recurrencia. En esta definición existen dos importantes características, direccionalidad y persistencia

Direccionalidad

La migración está orientada, y existe un mínimo de retorno; no hay distracciones o son mínimas, es decir, aunque existan condiciones apropiadas, estas son ignoradas y son otros estímulos los que guían al migrante, por ejemplo, luz solar.

Persistencia

Se refiere a que la actividad migratoria es tenaz y lleva al migrante más allá de su hábitat original

hacia uno nuevo, donde puede obtener recursos que previamente no alcanzaba (figura 90).

Dispersión de poblaciones

La dispersión es espontánea, depende de la disponibilidad momentánea de recursos; se diferencia de la migración, la cual está regulada genéticamente, por ello se separan ambos conceptos. El término "dispersión" incluye cualquier movimiento de individuos que se alejan de una población o agregación. Se puede referir a un conjunto de larvas recién emergidas que se alejan del grupo de huevos. La dispersión se define simplemente como el movimiento que resulta en un incremento en la distancia media entre los individuos. El vuelo que no tiene fines migratorios se llama vuelo local o "trivial", es de distancias cortas.



Figura 90. Mariposa monarca *Danaus plexippus*, en invernación en los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) del oriente de Michoacán, México. Hembras y machos se agregan en grupos compactos sobre troncos y ramas con follaje.

(Fotografía: D. Cibrián)

Muestreo de insectos

Algunas interrogantes (dónde y cuándo muestrear) dependen del conocimiento de la biología, ecología y comportamiento de la plaga, debidamente identificadas por el investigador (Gonzales, 1970).

El diseño del muestreo depende del conocimiento de la bioecología de la plaga, del grado de precisión que desea alcanzarse en los cálculos poblacionales (Southwood, 1970) y de la manera en que uno cree o sabe que se distribuye la plaga en el espacio.

El muestreo puede ser totalmente al azar en cuyo caso la varianza de la muestra, S^2 , está dada por la fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

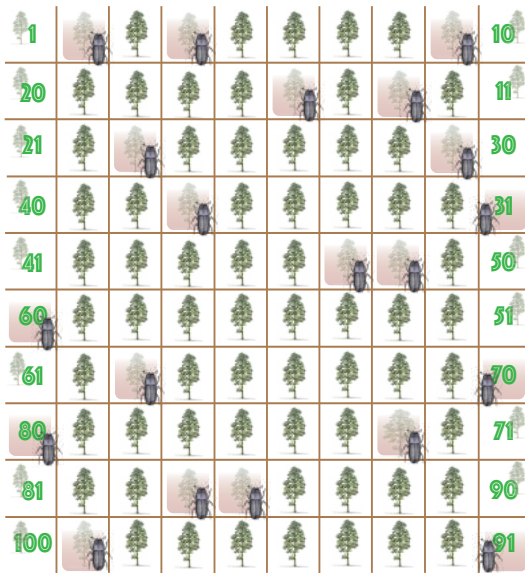


Figura 91. Selección completamente al azar de 20 sitios de muestreo (x), dividida en 100 partes numeradas. (Ilustración: L. Arango)

Se calcula de la siguiente manera: se asigna un número a cada sector del terreno a muestrear (100 en este ejemplo), se sortean, y se saca una muestra en cada unidad elegida por el sorteo (figura 91).

Cuando los insectos tienen preferencia por segmentos de hábitats específicos:

El muestreo puede ser al azar estratificado; en cuyo caso subdividimos la población N en subpoblaciones no traslapadas, p. e., estratos superior (S), medio (M) e inferior (I), donde se calcula la media de cada estrato y sus respectivas varianzas (figura 92).

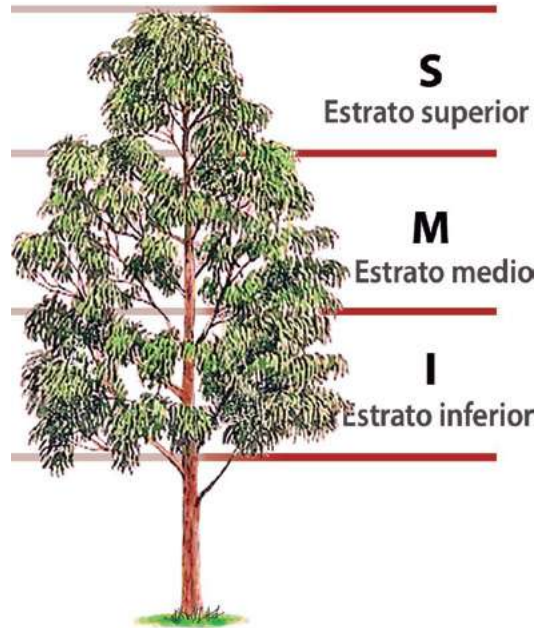


Figura 92. Muestreo estratificado en estratos superior, medio e inferior (S, M, I). Dentro de cada estrato, las unidades de observación se seleccionan todas al azar. (Ilustración: L. Arango)

Puede ser **muestreo sistemático**, en el cual se divide el campo en N unidades, p.e. 100; y se adopta una constante

$$k=N/n \text{ (p.e. } N/n=100/9=11)$$

como intervalo entre muestras sucesivas. Solo la primera se obtiene al azar; el resto se toma sistemáticamente cada undécimo sitio, hasta completar n (=9), el número de muestras previamente definido (figura 93).

Tamaño y número de muestras

El tamaño, forma y número de muestras por superficie, volumen o unidad de hábitat, lo define el juicio y experiencia del investigador. Debe tomarse en cuenta el costo, tiempo a invertir, disturbio del medio, movilidad del insecto, su densidad y su distribución espacial. Para encontrar un balance razonable entre varianza y costo de un muestreo es mejor tomar muchas muestras pequeñas que pocas grandes.

El número de muestras por unidad de hábitat depende de la precisión que se busque, de los recursos económicos disponibles, y del método aplicado. Hay muchas fórmulas para estimarlo; solo se mencionan conceptos generales para su cálculo.

Los métodos de monitoreo y trampeo

La forma en que se han de tomar las muestras en el campo, depende:

- Del grado de exactitud (repetibilidad) y precisión (concordancia con la realidad) que el investigador desee.
- De la bioecología de la plaga.
- De las herramientas con que cuenta para realizar el trabajo.
- Del objetivo del muestreo, sea éste un estudio ecológico, un análisis de distribución poblacional o una práctica de combate.

El capítulo 9 de este libro abunda en métodos de monitoreo y trampeo forestal.

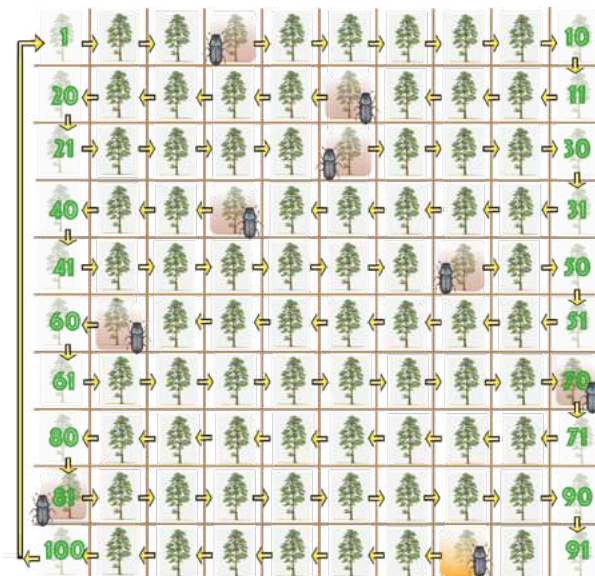


Figura 93. Selección sistemática de nueve puntos de muestreo. El inicio es sorteado al azar, en este caso el nº 93 (amarillo). (Ilustración: L. Arango)

COMPUESTOS QUÍMICOS CONDUCTUALES DE LOS INSECTOS HERBÍVOROS Y RELACIONES CON SUS HOSPEDANTES

Jorge Enrique Macías-Sámano

Selección y aceptación de árboles por los insectos

Las plantas emiten una sucesión de materiales químicos orgánicos y volátiles (volatile organic compounds, VOC, por sus siglas en inglés) a medida que se van desarrollando y de acuerdo con su fenología. Para muchos insectos herbívoros, estos volátiles son clave para reconocer y encontrar a sus hospedantes.

Desde el punto de vista de ecología química, existen tres componentes principales en la interacción insecto-planta: la planta, el insecto y los microorganismos asociados a ambos. Cada uno de estos componentes libera su propia fracción volátil, y combinados forman un perfil único cuando interactúan. La emisión de volátiles orgánicos vegetales puede cambiar de manera importante, en calidad o cantidad, la herbivoría y la patogénesis, así como la respuesta al estrés abiótico (Paiva 2000, Kant *et al.* 2009).

Existen estudios electrofisiológicos de insectos fitófagos que demuestran que sus receptores periféricos están sintonizados para detectar los ubicuos volátiles vegetales. Los insectos generalmente identifican los olores de sus hospedantes mediante el reconocimiento de proporciones específicas de los volátiles comunes presentes en las plantas. Mas este reconocimiento no se restringe a compuestos especie-específicos (Bruce *et al.* 2005), sino también a otros presentes de

manera común en todas las plantas, como alcoholes de cadenas cortas y terpenos, entre otros (Kimmerer y Kozlowsky 1982, Bruce *et al.* 2005, Husnu Can Baser y Buchbauer 2010).

En general, la selección de hospedantes por parte de los insectos se realiza por medio de dos fases consecutivas, la búsqueda y la “prueba” (contacto del insecto con los tejidos vegetales, denominado “probing” en inglés).

- La primera fase termina al encontrar al hospedero.
- La segunda fase termina con la aceptación o rechazo del mismo.

La aceptación es crucial, puesto que resulta en la ingestión de material vegetal o en la deposición de huevecillos, con posibles consecuencias negativas para su adecuación ecológica, es decir para su adaptación como especie (Schoonhoven *et al.* 2005).

Se tiene la hipótesis de que el “probing” de hospedantes lleva a la selección de individuos de las especies “correctas” en similar estado fisiológico. Es decir, el hospedante será adecuado para que el insecto lo adopte, se establezca y reproduzca (Byers 1995, Bernays y Chapman 1994, Schoonhoven *et al.* 2005). El “probing” es la primera oportunidad para valorar química y físicamente a sus hospedantes y determinar sus

posibilidades de colonización (Moeck *et al.* 1981, Byers 1995, Bernays y Chapman 1994).

Es precisamente este proceso, realizado por insectos exóticos buscando establecerse en las especies “nuevas” de la localidad a donde llegan, el que ha resultado en nuevos agentes patogénicos perjudiciales al arbolado vivo.

Es el caso de los ambrosiales asiáticos *Euwallacea* nr. *furnicatus* y sus hongos simbióticos de reciente introducción al sur de Estados Unidos y México (Ploetz *et al.* 2013, García-Ávila *et al.* 2016)

En la relación insecto-planta o depredador-presa, los compuestos liberados por las plantas son denominados cairomonas y ayudan a los insectos a detectarlas y en ocasiones a determinar su aceptación definitiva. Por su parte los insectos, a su vez, liberan feromonas de función reproductiva al atraer al sexo opuesto y/o reunirlos sobre un hospedero adecuado.

Tipos de compuestos conductuales

Las cairomonas, alomonas y feromonas son compuestos conductuales, también llamados semioquímicos; se dividen en dos grupos: feromonas y aleloquímicos, dependiendo si la interacción es intra o interespecífica. En el cuadro 9 se explican los tipos de semioquímicos.

Es importante remarcar que un compuesto químico no tiene función específica en un ecosistema pues en él existen muchos organismos que de alguna manera están relacionados en la red trófica. Es decir, la misma sustancia puede actuar de manera diferente (incluido el efecto nulo) en organismos locales.

Por ejemplo, la verbenona es un semioquímico bien conocido y producido por varios descortezadores del género *Dendroctonus*, incluidos *D. adjunctus* Blandford, *D. brevicomis* LeConte, *D. frontalis* Dietz, *D. jeffreyi* Hopkins, *D. pseudotsugae*

Cuadro 9. Categorías de los principales semioquímicos. (Tomado de Rojas *et al.* 2008)

Semioquímicos (Infoquímicos)	Aleloquímicos (Interespecífico)	Alomona (beneficia al emisor)
		Cairomona (beneficia al receptor)
		Sinomona (beneficia a ambos)
		Apneumona (emitida por no vivos)
	Feromonas (Intraespecífico)	Sexuales
		Agregación
		Alarma
		Ruta
		Disuasivas de oviposición

Hopkins y *D. ponderosae* Hopkins (Mayer y Mc Laughlin 1991), pero aparentemente no en *D. vitei* Wood (Renwick *et al.* 1975).

La agregación de estas especies termina, en parte, con la liberación de este compuesto por individuos presentes en el árbol e indicando que las hembras están apareadas y el sitio está ocupado (Borden 1985). La verbenona también es producida, a partir de verbenoles, por microorganismos (Leufvén *et al.* 1984) o por simple autoxidación del monoterpeno α -pineno (Hunt *et al.* 1989), y es liberada por insectos y por los árboles muriendo o recién muertos, lo que la ubica como indicador del estado de deterioro o estrés del arbolado. En la figura 94, se presenta un proceso generalizado, para la síntesis de una feromona.

Estas ideas han sido parcialmente confirmadas con estudios de campo donde se ha probado la

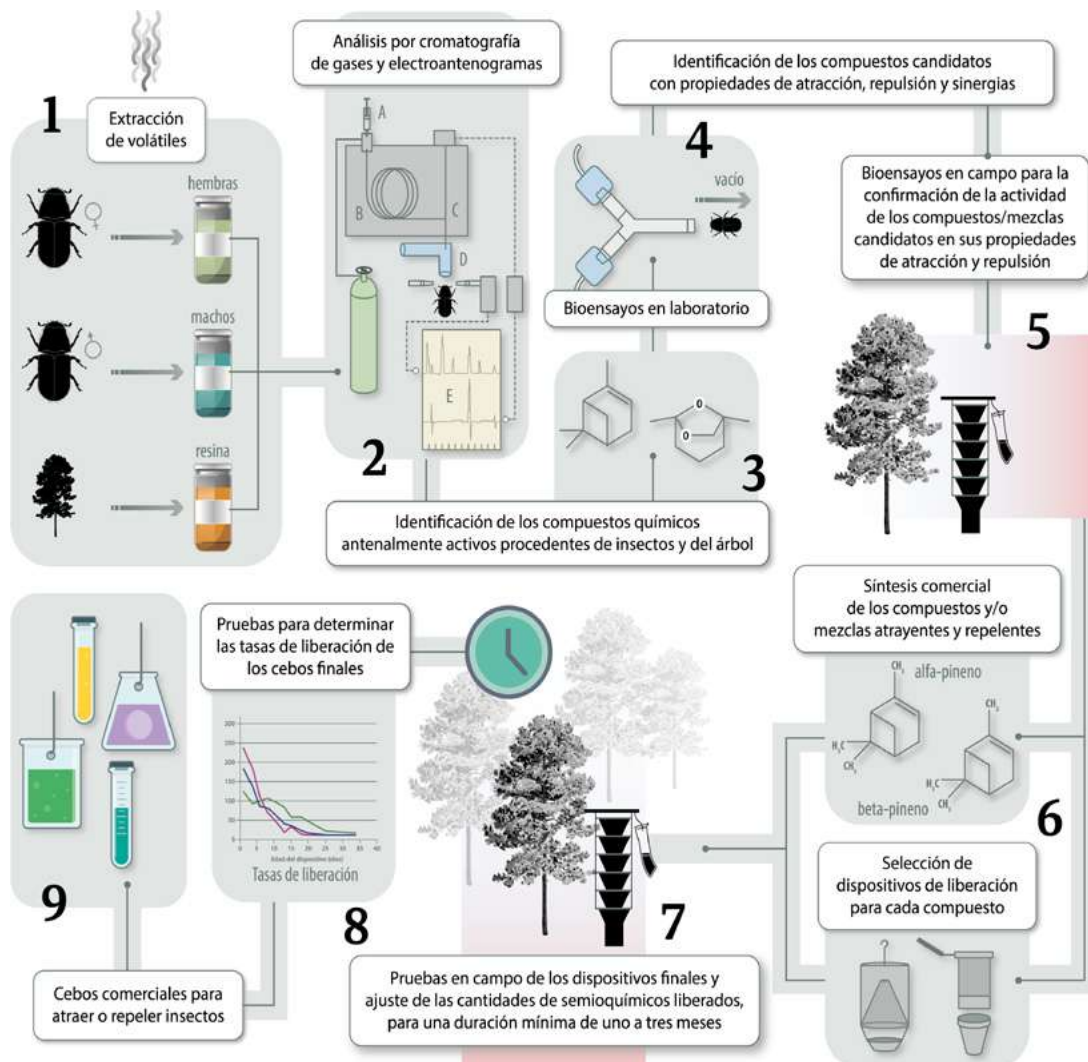


Figura 94. Procesos generalizados para la investigación y producción comercial de semioquímicos que intervienen en las interacciones entre los descortezadores y las coníferas. (Infografía: E. Llanderal, tomado de Macías-Sámano y Zúñiga 2020)

atracción a verbenona por *Buprestis lyrata* Casey (Coleoptera: Buprestidae) un asociado a árboles muertos por *D. ponderosae*.

Conocer la liberación de compuestos que indican el deterioro de los árboles, ha derivado en el uso de individuos intencionalmente dañados, como fuente de atracción para detectar barrenadores exóticos (Silk *et al.* 2019).

Otro ejemplo es el isotiocianato de alilo producido por crucíferas; esta molécula actúa como alomona para repeler insectos no adaptados para alimentarse en estas plantas; sin embargo, actúa como cairomona para insectos especialistas en ellas; esta misma sustancia puede actuar como sinomona para los enemigos naturales de insectos especialistas (Rojas *et al.* 2008).

Mecanismos de defensa de los árboles

La mayoría de las coníferas presentan dos mecanismos contra los descortezadores que las atacan (Macías-Sámano 2001). El primero es pre-establecido; consiste simplemente en el flujo de resina constituyente o preformada, como respuesta física a la ruptura de conductos o canales resiníferos; este tipo de resina es sintetizada en células epiteliales de estructuras secretoras no especializadas como pústulas o conductos en los cuales se acumula (Cheniclet 1987).

El segundo mecanismo es una respuesta dinámica o inducida, algunas veces referida como una reacción hipersensible, donde la resina, de origen traumático, es activamente metabolizada de nuevo y trasladada a los sitios en donde el descortezador y sus simbioses han invadido al árbol (Macías-Sámano 2001). Este segundo tipo de resina es originado en células no especializadas adyacentes al sitio dañado, y no están normalmente asociadas con la producción de terpenoides en gran escala (Raffa 1991)

Las variaciones cuantitativas y cualitativas en la química de esta respuesta han sido reportadas en la literatura (Macías-Sámano 2001).

Las lesiones generadas por daño mecánico y las inducidas por el complejo de descortezador y sus hongos asociados son similares morfológicamente; sin embargo, la presencia del hongo genera una reacción más extensa, que involucra la producción de diferentes compuestos químicos defensivos, así como la resinación, muerte del floema y formación de cavidades resinosas traumáticas en la albura externa, periférica a la lesión (Macías-Sámano 2001).

Los efectos de la reacción hipersensible en el insecto son dos: primero, como los metabolitos de la degeneración celular parecen estar producidos bajo presión, fluyen dentro de las galerías

construidas por el insecto, inundándolas; segundo, esta resina impregna los tejidos y los torna inadecuados para la supervivencia de dichos organismos (Macías Sámano 2001).

Vigor, estrés y muerte de los árboles

Los procesos biológicos y ecológicos que ocurren en plantas muriendo o recién muertas son numerosos e involucran diferentes factores bióticos y abióticos (Schowalter *et al.* 1992, Holighaus y Schütz 2006); tejidos leñosos de árboles declinantes (cambium, albura y duramen) van siendo colonizados por una sucesión de escarabajos.

Se resume un caso con pinos infestados por el descortezador primario *Dendroctonus frontalis*: los adultos de esta especie llegan primero, seguidos por la especie secundaria *Ips calligraphus* (Germar); ambas van abriendo un nuevo recurso para insectos saproxílicos como *Monochamus* sp. y el ambrosial *Gnathotrichus sulcatus* LeConte; estos escarabajos barrenadores de madera son atraídos por varios semioquímicos liberados por los tejidos de árboles en deterioro.

El etanol, compuesto emitido por los árboles, es un indicador importante de estrés, proporcionando, a determinados insectos, la clave para su localización y posterior colonización para alimentarse y reproducirse en ellos.

En los pinos, el compuesto α -pineno va disminuyendo paulatinamente a medida que el árbol muere; en cambio, la verbenona va aumentando.

Ambos compuestos son importantes fuentes de información (atractivo o repelente) para especies de insectos primarios y secundarios.

Para completar el perfil de volátiles que genera un árbol en proceso de deterioro y que al mismo tiempo está siendo colonizado por insectos xilófagos, se tienen que adicionar los semioquímicos frontalina, verbenona, ipsdienol,

monocamol y sulcatol, liberados por los insectos que los han colonizado.

La sucesión de insectos que arriban a los árboles en distintos estados de vigor y/o muerte está, regulada por la presencia o ausencia de todos

los compuestos volátiles, del árbol y de los insectos (figura 95).

Casi cualquier estrés, si se mantiene, puede reducir la actividad de fotosíntesis, e incluso consumir las reservas almacenadas en los árbo-

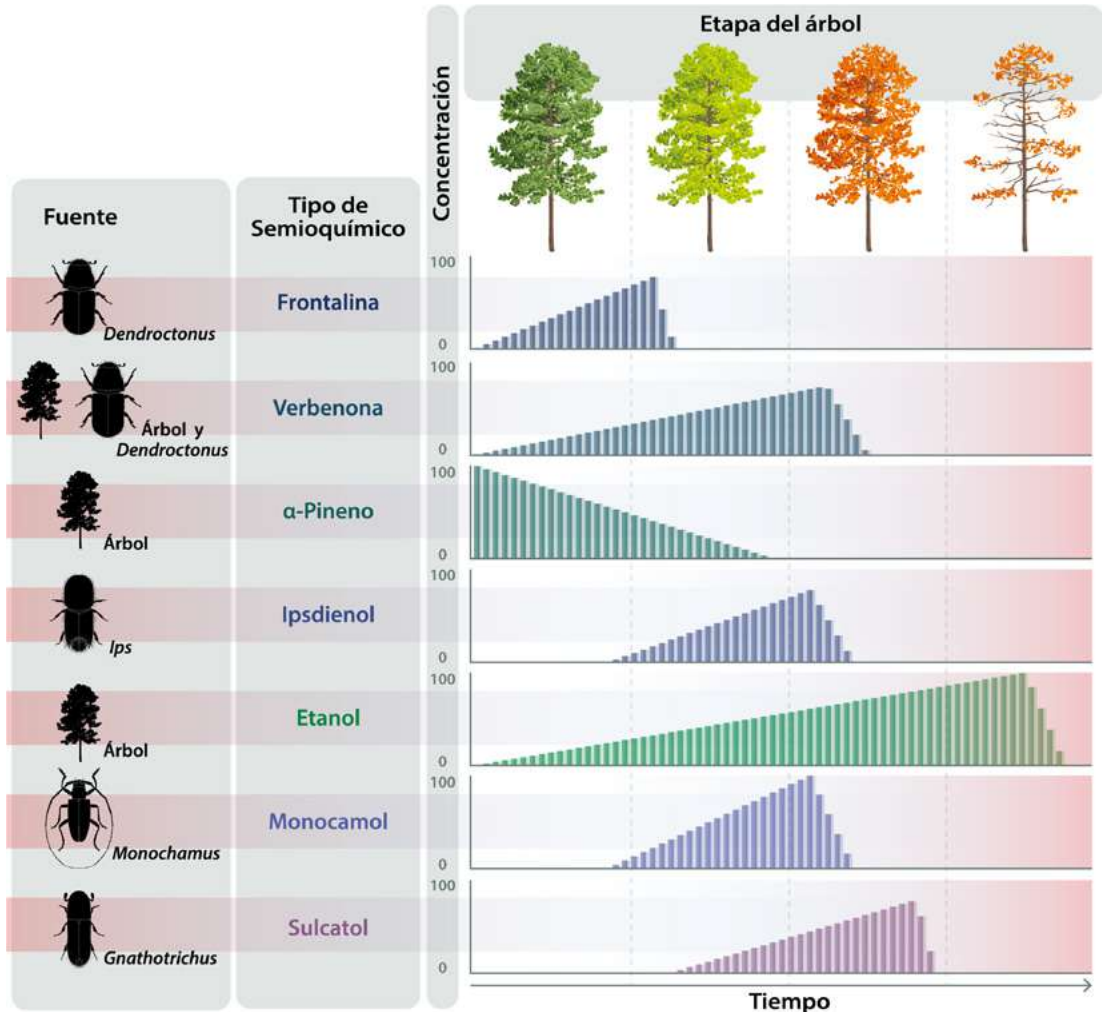


Figura 95. Sucesiones de insectos y de algunos semioquímicos liberados en ambientes que rodean a pinos en cuatro estados de vigor: sanos, de follaje verde; muriendo de follaje verde amarillento; recién muerto de follaje rojo y muertos sin acículas. El arribo de los descortezadores *Dendroctonus frontalis* e *Ips calligraphus* y los barrenadores de madera *Monochamus* y *Gnathotrichus sulcatus* va de acuerdo con el estado de vida y degradación de los tejidos del árbol; así como la emisión de sus propios semioquímicos que respectivamente son: frontalina, verbenona, ipsdienol, monocamol y sulcatol, los cuales se mezclan con los compuestos caimonales liberados por los tejidos vegetales en cada condición de salud: etanol, alfa-pineno y verbenona. El perfil de semioquímicos es complejo y en esta ilustración se ha simplificado considerablemente.

(Infografía: E. Llanderal)

les; los cuales, debido a su tamaño, tienen alta capacidad de almacenamiento y pueden acumular considerables cantidades de nutrientes y agua. Estos recursos son movilizados frecuentemente durante periodos de estrés, permitiendo que la copa o el sistema de raíces continúen funcionando para ser restablecidos en caso de haber sido dañados (Waring 1987).

Los términos “saludable” o “estresado” son muchas veces cualitativos y dicha clasificación depende de la experiencia del observador, conocimiento de la especie de árbol y condiciones de manejo.

Como ha sido indicado por Ranger *et al.* 2010, pudiera ser erróneo referirse a un individuo como aparentemente sano, puesto que puede estar experimentando cierto grado de estrés fisiológico y delatar esta condición a insectos ambrosiales en búsqueda de hospedero. En otras palabras, los árboles vistos como aparentemente saludables pueden estar, en realidad, estresados (Kühnholz *et al.* 2001).

Desde una perspectiva ecológica y de manejo, el cultivo de árboles en huertos y plantaciones puede crear estrés y promover susceptibilidad al ataque de escarabajos descortezadores y ambrosiales. En general, la mayoría de los árboles creciendo bajo condiciones naturales han evolucionado para prosperar dentro de ciertos límites poblacionales en asociación con su ambiente, otras plantas, y sus herbívoros. Bajo monocultivo, una o varias especies se desarrollan en densidades poblacionales altas que no ocurren en situaciones naturales (Carson *et al.* 2004, Root 1973).

Barbosa y Schaefer 1997 proponen la hipótesis que indica “la disponibilidad y calidad de una planta hospedera es el estímulo principal que

determina la dispersión y abundancia de especies invasoras, una vez que estas han llegado”. Siguiendo este razonamiento, los escenarios forestales en donde los árboles son plantados y cultivados, al tener buenas condiciones de cultivo y crecer en cantidades considerables, presentan condiciones favorables para el establecimiento y reproducción de plagas y enfermedades.

Los semioquímicos utilizados como cebos en trampas son de gran utilidad para el monitoreo y manejo de muchos insectos forestales. Sin embargo, existen compuestos que tienen comprobada atracción en campo, pero se desconoce si son producidos por los insectos atraídos o si tienen una función fisiológica y comportamental en ellos, más allá de la acción de atracción en sí. A estos compuestos los denominamos atrayentes (Macías Sámano y Niño Domínguez 2016).

¿Por qué estos atrayentes tienen esta actividad?, posiblemente porque son compuestos comunes en ciertos ambientes y son usados como semioquímicos por otras especies; por ello, quizás indican la existencia de un ambiente favorable.

Entre los compuestos que no son producidos por los insectos atraídos o que se desconoce si lo hacen, están el ipsenol e ipsdienol que atraen a *Monochamus titillator* (F.), *Acanthocinus obsoletus* (Olivier) (Coleoptera: Cerambycidae) y *Chalcophora virginensis* (Drury) (Coleoptera: Buprestidae (Miller y Asaro 2005); la mezcla α -pineno y frontalina para *D. mexicanus*; el querciverol (p-mentol) para *Euwallacea kuroshio* Gomez y Hulcr (Dodge *et al.* 2017); etanol y α -pineno, ambos a altas tasas de liberación para insectos barrenadores de madera en puertos de entrada (CFIA 2020), entre otros.

TÉCNICAS DE MONITOREO

La detección y evaluación de un problema fitosanitario causado por insectos de importancia forestal, depende del escenario de manejo en que se encuentre el recurso amenazado. Son actividades prioritarias en el MIPF, se realizan en viveros forestales, plantaciones comerciales, bosques naturales y en ambientes urbanos. En este capítulo se presentan métodos para estos propósitos.

Monitoreo de plagas en viveros

David Cibrián Tovar, Ivón López Pérez y
Abel Plascencia González

En un vivero hay poblaciones de plantas de la misma edad, en muchas ocasiones de la misma especie, creciendo bajo el mismo sistema nutricional y de cultivo; esta uniformidad facilita la invasión masiva de organismos no deseados; por ello el viverista debe inspeccionar semanal o quincenalmente el estado fitosanitario de su producción, con el objetivo de detectar insectos fitófagos o los daños que causan incluyendo: deformaciones, achaparramientos, cambios de color de follaje, muerte de la planta o alguna de sus partes.

La inspección se hace en las partes aéreas y de manera importante en la raíz; para esto se debe extraer la planta y lavarla cuidadosamente con suaves chorros de agua.

La inspección se realiza por una persona entrenada, técnico o trabajador, familiarizada con la especie y con los agentes de daño asociados; se recomienda utilizar un manual de identificación

de insectos y otros agentes que puedan afectar la planta. En la página de CONAFOR se encuentra el “Manual para la Identificación y Manejo de Plagas y Enfermedades en Viveros Forestales” que puede ser usado como referencia (Cibrián 2008).

Uso de trampas de color

Este tipo de trampas permite estimar la presencia, abundancia y tendencia de algunas especies de importancia fitosanitaria, y la necesidad de aplicar tratamientos de prevención o combate, así como la evaluación de su efectividad en la reducción de daños.

Las trampas amarillas o azules, con superficie impregnada de pegamento (figura 96) son útiles para detectar insectos fitófagos y sus enemigos naturales; de los primeros destacan las mosquitas fungosas del género *Bradysia*, otros detecta-

bles son pulgones alados, psílidos, mosquitas blancas, minadores de hojas y thrips; de los segundos destacan los parasitoides de pulgones y psílidos.



Figura 96. Ejemplos de trampas pegajosas: azules para thrips y amarillas para mosquitas fungosas, pulgones, psílidos y mosquitas blancas.

Las trampas amarillas o azules se pueden adquirir en tiendas especializadas o hacerlas con hojas tamaño carta en bolsas de plástico transparente; la superficie de la bolsa se impregna con aceite de cocina o de motor, para formar una delgada película sobre la cual se pegarán insectos frágiles atraídos por el color. Las hojas pueden estar cuadrículadas para un conteo y registro más fácil.

Instalación y número de trampas

Cada trampa se puede instalar en una estaca o sostén; en cualquier caso, su altura se ajusta al crecimiento de la planta, asegurando que la parte baja de la trampa esté lo más cerca posible de la parte alta de la planta.

Las trampas se pueden instalar en un patrón en "Z" o "M" (evitando sean mojadas por los aspersores), de preferencia se colocan cerca de las entradas al invernadero para detectar el ingreso de insectos. Cuando se ponen en platabandas al aire libre, se debe considerar la dirección del viento dominante, asegurando que la cara pegajosa no esté expuesta al viento, cuando hay polvo se reduce la eficacia de captura.

El número de trampas es relativo, pero como regla general se puede instalar una por cada 200 m² de superficie de contenedores (también llamados charolas); este número puede variar a juicio del viverista, porque es para fines de monitoreo, no de control.

Se recomienda utilizar un plano que indique la ubicación de cada trampa, numerada y codificada (figura 97).



Figura 97. Trampas amarillas en un vivero de 10 millones de árboles. (Fotografía: M. Aguilera)

Cambio de trampas y registro de la información

El cambio debe ser semanal, aunque en periodos de alta infestación se puede hacer dos veces por semana o solo tomar datos y asegurarse que en el siguiente conteo no se anoten los tomados previamente.

De remover la trampa, esta se debe guardar en bolsas sellables para llevarlas a donde se realizará el conteo e identificación de los insectos capturados.

El registro e identificación lo debe hacer personal entrenado en la taxonomía de los insectos plaga, con el equipo necesario para asegurar una buena identificación (lupa de mano de 10 X, formato para el registro de datos, manual ilustrado para la identificación, bolsas sellables, contador manual y teléfono celular para la toma de fotografías de buena calidad).

Los datos se registran y analizan por ciclo de producción. No hay umbrales de toma de decisiones basados en el uso de este tipo de trampas; sin embargo, los viveristas las usan para detectar infestaciones incipientes, estimar incrementos poblacionales abruptos, estimar resultados de control, o para demostrar que el vivero está libre de insectos. En la medida que se adquiera experiencia, pueden ser útiles para establecer umbrales de acción.

Cuando se trapean muchos insectos se sugiere hacer conteos en solo parte de la trampa, principalmente en bandas verticales de 2.5 cm de ancho; se recomienda hacer ejercicios de muestreo para hacer eficiente el tiempo de inspección y asegurar la calidad de los datos. Los insectos capturados pueden ser fitófagos, sus enemigos naturales, y otros asociados al sustrato.

La norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 para la certificación de operación de viveros forestales establece especificaciones y requisitos mínimos para la producción de planta, con el objetivo

de incrementar los porcentajes de supervivencia y desarrollo en la reforestación y en las plantaciones comerciales (SEMARNAT 2016). Seguir y cumplir las especificaciones establecidas en esta norma sobre monitoreo de insectos reduce la posibilidad de su ataque.

El mosco fungoso negro *Bradysia impatiens* (Johannsen)

En la norma NMX-AA-170 se describen protocolos de monitoreo para insectos y patógenos; en este libro se adaptó el procedimiento para el mosco fungoso negro *Bradysia impatiens*, plaga de gran importancia en los viveros de contenedores que utilizan sustratos procesados.

Los adultos de este insecto son de aspecto frágil, de 2-4 mm de longitud, con tórax oscuro; sus alas tienen una vena media en forma de "Y", patas dorsalmente grises, y pálidas por la vista inferior, abdomen grisáceo; machos y hembras fácilmente separables por dimorfismo sexual (figura 98).

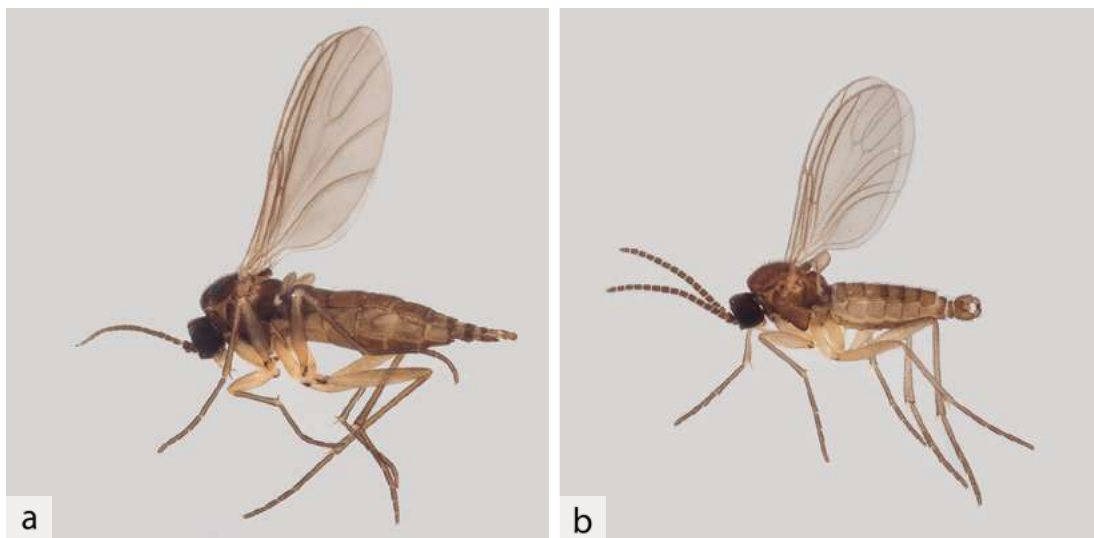


Figura 98. Adultos de *Bradysia impatiens*, con la vena media en forma de "Y", antenas filiformes. (a) Hembra. (b) Macho con parámetros en el extremo del abdomen. (Fotografías: E. Llanderal)

Los huevos ovales, están dispersos en pequeños grupos dentro del sustrato (figura 99a).

Las larvas tienen cabeza negra, mandíbulas bien desarrolladas, cuerpo alargado blanquecino o transparente; son ápodas; pueden estar dentro de raíces o en el sustrato (figura 99b).

Las pupas, también se encuentran en el sustrato, al principio son de color blanco, luego cambian a tonos marrones (figura 99c) (Marín *et al.* 2015a y b).



Figura 99. *Bradysia impatiens*. (a) Huevos recién puestos, casi siempre en grupos. (b) Larva madura, cuerpo blaquesino, transparente en algunas porciones, cabeza negra. (c) Pupas. (Fotografías: E. Llanderal)

En las plantas los daños se detectan por marchitamientos, clorosis, desprendimiento de las acículas al tirar de ellas, raíz principal necrosada con corteza suelta, de color café oscuro, raíces secundarias escasas (figura 100).

Con frecuencia el personal del vivero retira la planta muerta de las cavidades del contenedor, dando lugar al desarrollo de musgo, debajo del cual las larvas de *Bradysia* se alimentan y continúan su ciclo (figura 101).



Figura 100. Plántulas de pino con ataque de musgo fungoso negro. Larvas dentro de la raíz, consumen el floema de la corteza. (Fotografía: S. E. García)



Figura 101. Cavidad de contenedor de poliestireno, la plántula de pino murió y fue extraída; al remover el musgo se aprecian las larvas de *B. impatiens*. (Fotografía: S. E. García)

Monitoreo de adultos de mosco fungoso negro

En un monitoreo de dos años consecutivos, diseñado por Ivón López Pérez coautora de este capítulo, se registró la variación en la captura de adultos de *Bradysia impatiens* durante la etapa de crecimiento de ciclos de producción de *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb. y *P. pseudostrobus* Lindl., el estudio se realizó de marzo a julio de 2009 y de diciembre de 2009 a junio de 2010, en el vivero José María Morelos, de Morelia, Michoacán. Los resultados se presentaron como reportes internos a la Comisión Forestal del Estado de Michoacán y se publican por primera vez en este libro.

En cada uno de cinco módulos de producción, con capacidad de 250,000 plantas, se instalaron 14 trampas amarillas rectangulares, de 14 cm de ancho x 21 cm de alto, hechas con foami amarillo, con veinte cuadrantes; se engraparon en un soporte de madera de 45 cm de alto. El foami se cubrió con una bolsa de plástico que tuvo una capa ligera de pegamento entomológico (Stickem®). La disposición de trampas en cada módulo tuvo un patrón sistemático: una cada 10 metros.

La numeración de las trampas fue progresiva en dirección de la primera platabanda y fue contraria en la segunda platabanda.

El cambio de trampas fue semanal; las trampas con adherente se llevaron al laboratorio para la identificación, bajo microscopio estereoscópico de los adultos adheridos.

El proceso de producción siguió su curso normal, con las labores de combate del mosco fungoso que se usaron en esos años.

En el primer ciclo, el 20 de mayo se aplicó Furadan a los cinco módulos. En el segundo ciclo se aplicó deltametrina, imidacloprid y clorpirifos de manera alternada.

En la figura 102 se muestra la fluctuación de la captura del primer ciclo de 2009, que fue continua pero variable durante todo el periodo de estudio. Los dos primeros módulos estuvieron contiguos; el quinto, estuvo cercano a ellos; en estos tres la captura fue mayor que en el tercero y cuarto; porque tuvieron *Pinus montezumae* y *P. devoniana*, susceptibles al ataque del mosco; en los otros dos módulos restantes hubo *P. pseudostrobus*, una especie menos susceptible.

En mayo se registró baja captura, asociada con la aplicación del insecticida Furadan (el 20 de ese

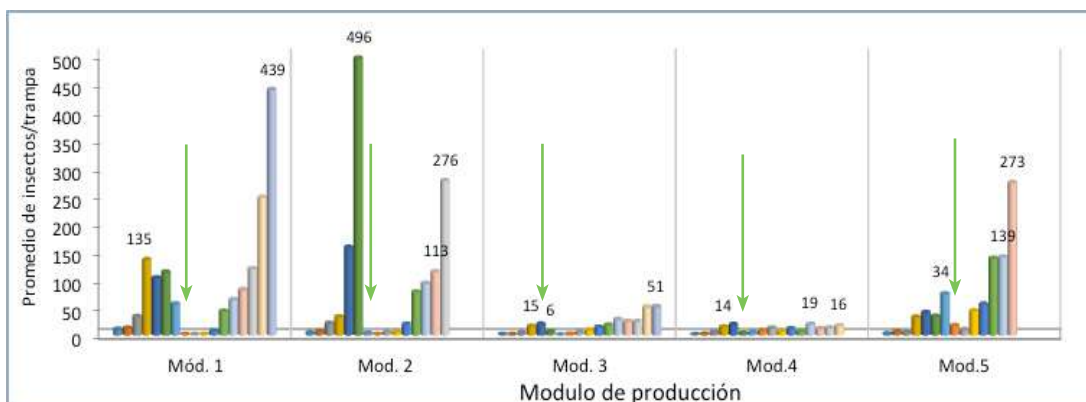


Figura 102. Fluctuación semanal en la captura de adultos de *Bradysia impatiens* en cinco módulos del vivero Morelos en Morelia, Michoacán; datos promedio de 14 trampas. El módulo 1 tuvo *Pinus devoniana*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. Los módulos 2, 3, 4 y 5 tuvieron *Pinus pseudostrobus*. La flecha indica la aplicación de Furadán.

mes); sin embargo, en pocas semanas “se recuperó”, indicando un resultado modesto de control.

En la figura 103 se muestra lo que sucedió en el módulo 1, en el que se tuvieron camas con *P. devoniana* (34,000 plantas), *P. montezumae* (48,000) y *P. pseudostrobus* (168,000).

Hubo trampas en las camas de cada especie, por lo que fue posible identificar que la captura fue mayor en *P. montezumae*, media en *P. devoniana* y menor en *P. pseudostrobus*.

En el segundo ciclo (figura 104) se tuvo menos captura debido a la aplicación de los insecticidas deltametrina en enero y febrero, imidacloprid a principios de marzo y finales de abril y clorpirifos a finales de marzo; con estas aplicaciones consecutivas se tuvieron poblaciones menores a las observadas en 2009; sin embargo, las poblaciones de mosco se recuperaron con rapidez, manifestando fuerte selección de resistencia.

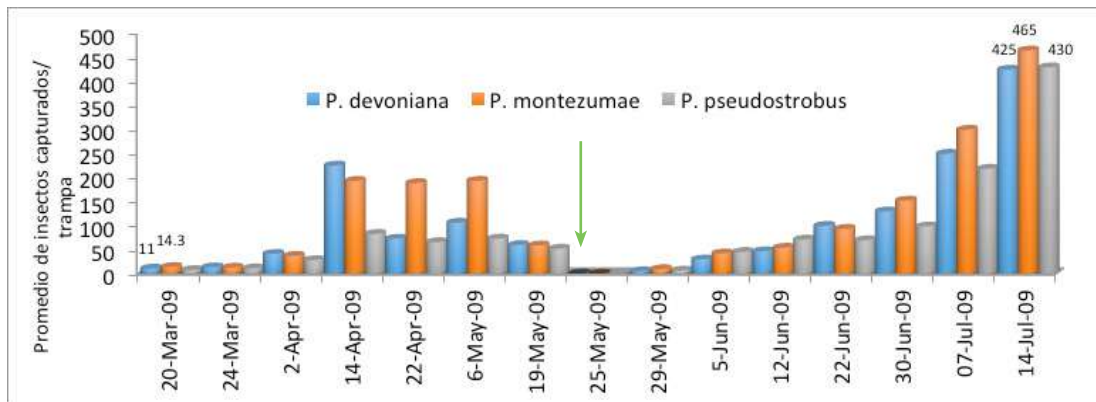


Figura 103. Fluctuación en la captura de adultos de *Bradysia impatiens* en el módulo uno del vivero José Ma. Morelos en Morelia, Michoacán; la flecha indica la aplicación de furadán.

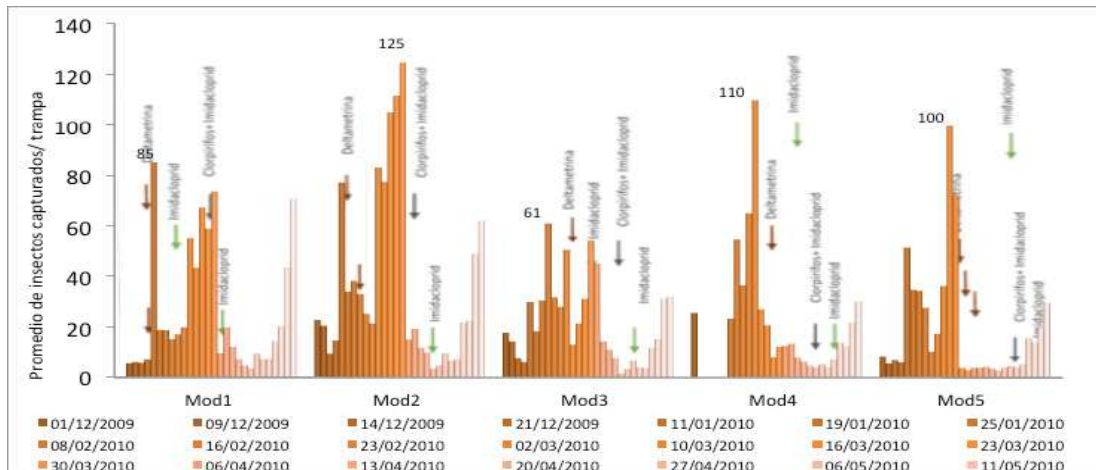


Figura 104. Fluctuación semanal en la captura de adultos de *Bradysia impatiens*, en cinco módulos del vivero Morelos en Morelia, Michoacán. Ciclo de producción 2009-2010. Datos de captura promedio de 14 trampas.

Monitoreo de larvas de mosco fungoso negro

En otro estudio, en 2014, también conducido por Ivón López Pérez en el vivero José María Morelos en Morelia Michoacán, se probaron cinco atrayentes de larvas de mosco fungoso negro.

En un módulo de *Pinus lawsonii* Roehl con capacidad de 250,000 plantas (figura 105), se escogieron 10 sitios de muestreo, distribuidos con un patrón sistemático; en cada uno se seleccionó un contenedor y al azar se eligieron seis cavidades por fecha de visita mensual. El estudio se efectuó de diciembre de 2013 a junio de 2014.

En cada cavidad se colocaron pequeños cubos, de 1 cm por lado, de los atrayentes: papa-dextrosa-agar (PDA), papa, camote, champiñón y una mezcla de champiñón-PDA.

Se colocaron a una profundidad de 2 cm, después de 24 horas se removieron y bajo una lupa

estereoscópica se efectuó el conteo de larvas por cubo. Como testigo se extrajo un volumen de 1 cc de sustrato y se contó el número de larvas presentes.

En las platabandas del experimento los responsables del vivero aplicaron insecticidas según su programa de operación: deltametrina el 6 de febrero, imidacloprid, el 9 de abril y 20 de mayo de 2014. Los resultados de estas aplicaciones afectaron la respuesta de las larvas a los cebos.

Todos los cebos sirvieron para atraer larvas, y variaron en su respuesta. En la figura 106 se muestra esta fluctuación.

El cebo de papa atrajo 235 larvas en el periodo de estudio, lo que representa el 32 % respecto al total de larvas capturadas, seguido por el PDA con 165 (22 %).

En contraste, el cebo de champiñón, atrajo 88 larvas (12 %); en las muestras testigo no se encontraron larvas.



Figura 105. Módulo de producción de *Pinus lawsonii*, que muestra las condiciones de la planta en donde se desarrolló el estudio de cebos alimenticios. (Fotografía: I. López)

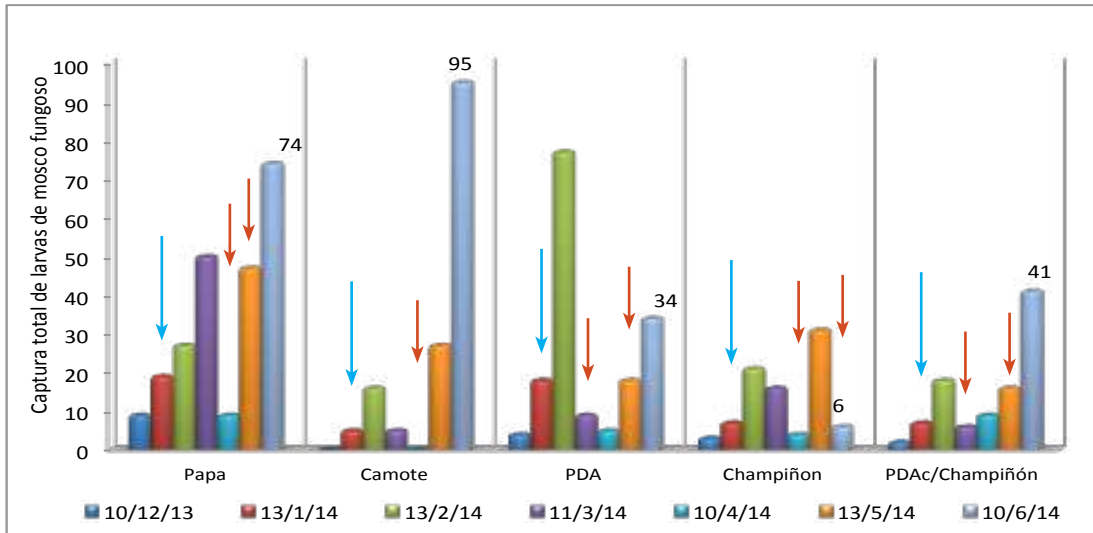


Figura 106. Captura de larvas de mosco fungoso negro en cebos de 1 cm³, después de 24 horas de instalados; cada columna corresponde al total de 12 cavidades con planta en desarrollo. Las flechas azules indican la aplicación de deltametrina, las rojas la aplicación de imidacloprid. Vivero Morelos, Michoacán.

Al comparar las medias por cebos se encontraron diferencias significativas en papa ($\alpha < 0.05$) por lo que se concluyó que fue el mejor atrayente.

En este estudio se pudo constatar el efecto de los insecticidas en la población de larvas, reconociendo que el imidacloprid tuvo un efecto perceptible en su número; sin embargo, su persistencia fue de corta duración y la población se recuperó en menos de cinco semanas.

La deltametrina no tuvo impacto perceptible en la cantidad de larvas que se acercaron a los cebos, este producto aplicado en febrero fue poco efectivo.

Se reconoce que monitorear con cebos permite verificar la cantidad de larvas, su ocurrencia en el tiempo y ayuda a medir la efectividad de los productos que se aplican.

Monitoreo de plagas en plantaciones forestales

Víctor David Cibrián Llanderal y Manuel Campos Figueroa

Las plantaciones forestales comerciales (PCF) son establecimientos forestales de alto valor; se destinan para obtener productos maderables (madera aserrada, pulpa o astillas) o no maderables (resina, fibras, látex o árboles de navidad). Se ubican en terrenos seleccionados cuidadosamente, con propiedades de suelos ajustadas a las necesidades de las especies que se van a utilizar.

En ambientes tropicales del sureste de México, las plantaciones de rápido crecimiento utilizan especies de eucaliptos con ciclos de cosecha menores a ocho años; de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), con ciclo un poco más largo, pero menor a 14 años; otras especies, de crecimiento más lento son la teca (*Tectona grandis* L. f.) y las meliáceas cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King).

En años recientes, en el sur de Veracruz y la colindancia con Tabasco, se han establecido plantaciones de pinos tropicales destinados a la producción de resina (principalmente *Pinus caribaea* Morelet). En Durango, se tiene un proyecto de producción de madera utilizando *Pinus greggii* Engelm como especie de rápido crecimiento.

En ambientes templados las plantaciones de árboles de navidad de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y *P. ayacahuite* Ehr. son las más representativas en el centro de México.

Las plantaciones forestales comerciales generalmente son monoespecíficas, coetáneas y pueden tener una diversidad genética reducida debido al uso de clones y/o semilla con base genética reducida.

Los productos que se van a obtener ya están definidos, así como el tiempo en que se deben cosechar; para ello existe una planeación estricta de las operaciones y continuamente se está evaluando el beneficio/costo del proceso.

Varias de las especies forestales utilizadas son exóticas y generalmente libres de plagas cuando son plantadas; sin embargo, con el paso del tiempo, es altamente probable que lleguen los insectos que las afectan en sus regiones de origen, y generalmente lo hacen sin sus enemigos naturales. Estas condiciones hacen particularmente susceptibles las PFC al ataque de plagas en comparación con áreas naturales.

Como son inversiones económicas importantes, se desea evitar mortalidad y asegurar buena condición de salud; por ello, en la mayoría de las empresas existe personal que se hace cargo del monitoreo y atención fitosanitaria. Para dicho monitoreo existen protocolos de observación directa y mediante trampas de luz.

A continuación, se describen brevemente algunos protocolos para las principales plagas en este escenario.

Defoliadores

Hormigas cortadoras

Estos insectos sociales son la principal plaga en las regiones tropicales de México, Centroamérica y Sudamérica, su manejo se ha convertido en parte obligatoria para la instalación y mantenimiento de las plantaciones forestales.

En México, la especie que más daño provoca en el trópico húmedo es *Atta cephalotes* L., en

otras regiones más secas esta especie es sustituida por *Atta mexicana* (F. Smith) (figura 107).



Figura 107. Sendero de hormiga arriera para transporte de hojas. (Fotografía: D. Cibrián)

Los nidos de hormigas cortadoras se pueden encontrar dentro de la plantación o en los predios vecinos durante todo el año, por lo que solo el monitoreo permanente va a permitir su detección.

Se ha estimado que los hormigueros de donde surgen los ataques se encuentran hasta una distancia de 70 metros y alrededor de la mitad están en los primeros 10 metros del borde de las plantaciones, por lo que es necesario evaluar estas áreas además de la propia plantación (figura 108).



Figura 108. Hormiguero maduro de *Atta cephalotes*, midió 110 metros cuadrados, Las Choapas, Ver. (Fotografía: D. Cibrián)

El monitoreo consiste en llevar cuenta permanente y sistemática de hormigueros, la actividad de las hormigas y el daño producido en los árboles (figura 109).

El monitoreo se hace antes de instalar la plantación y continúa hasta el momento de corta; debe ser ejecutado por personal entrenado.

Generalmente clasifica el tamaño de los hormigueros: el pequeño consiste en nidos nuevos, menores a 2 m de diámetro; el medio abarca entre 2-30 m² y grande con una superficie mayor a 30 m². Durante el diagnóstico de campo se hace la anotación si los nidos presentan actividad reciente, lo cual se detecta por la presencia de tierra suelta y por senderos de hormigas que están libres de residuos. Dentro de estos monitoreos es necesario evaluar la presencia de árboles defoliados en manchones dentro de la plantación y la vegetación circundante. Las inspecciones se realizan mediante transectos definidos.



Figura 109. Plantación de *Eucalyptus urophylla*, defoliada por hormiga arriera en 30 % de la copa. (Fotografía: D. Cibrián)

Lepidópteros

La inspección es realizada por personal entrenado para detectar síntomas y especies causantes de daño. Por las grandes superficies de los pre-

dios plantados, los recorridos en vehículos se complementan con inspecciones en caminata, generalmente se buscan daños por defoliación en las copas de los árboles, con observaciones al piso de la plantación, buscando la presencia de excretas, este es un método indirecto que funciona bien en ataques de lepidópteros en eucaliptos y teca.

Algunas empresas utilizan insecticidas de contacto que asperjan al dosel mediante bombas motorizadas y con ayuda de mallas capturan a los insectos que caen de las copas.

Es necesario conocer la biología de las especies para enfocar los esfuerzos de monitoreo en el momento oportuno.

Los defoliadores de eucalipto son bien conocidos en sus fechas de aparición, su morfología larval y el tipo de daño que causan.

Los monitores además de hacer la determinación de la plaga, realizan un polígono de la superficie afectada y califican el nivel de daño observado.

Sarsina violascens (Herrich-Schäffer) es un caso particular en la detección de este grupo de defoliadores; las larvas realizan desplazamientos diarios entre la copa y la base del tronco, durante la noche se alimentan del follaje en la parte alta de los árboles, pero durante el día, en las horas de más calor, se agregan en grandes números sobre la corteza del tronco; por lo que es posible estimar su población realizando conteos del número de larvas por número de troncos.

Las personas de las brigadas de monitoreo tienen la responsabilidad de revisar una superficie asignada, buscando síntomas y presencia de insectos previamente identificados. Las larvas de las especies *Notodonta* sp., *S. violascens*, *Eupseudosoma* sp., y *Thyrintina arnobia* (Stoll.) son los defoliadores más importantes (figura 110).

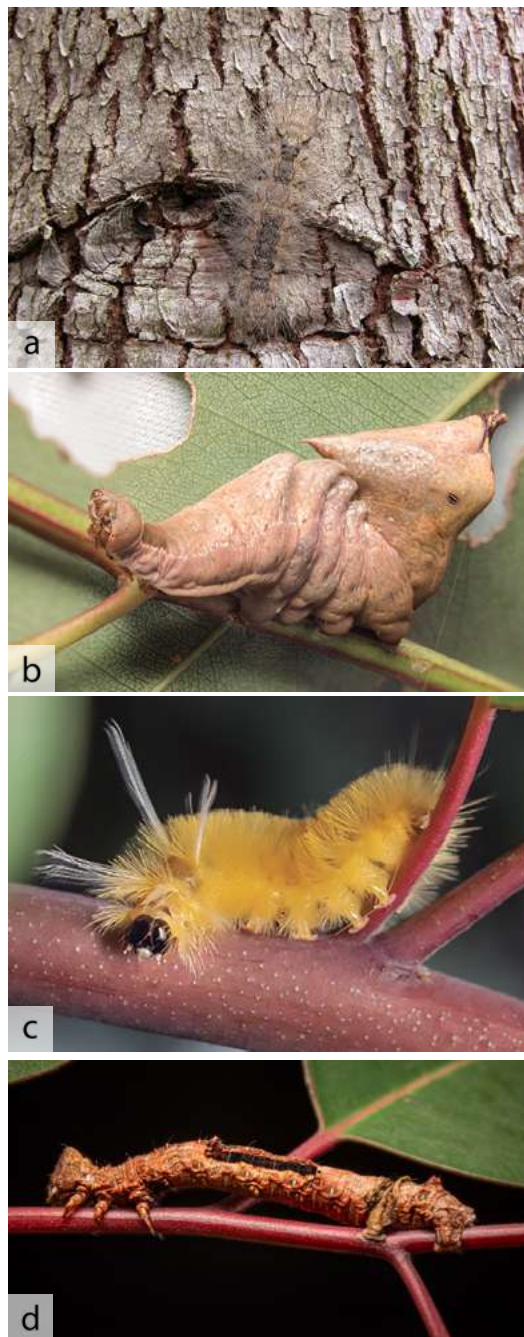


Figura 110. Larvas de los cuatro principales defoliadores de eucaliptos en plantaciones comerciales.

(a) *S. violascens* (b) *Notodonta* sp. (c) *Eupseudosoma* sp. y (d) *T. arnobia*. (Fotografías: a, D. Cibrián; b, c y d, E. Llanderal)

Las trampas de luz se utilizan principalmente para la captura de insectos nocturnos, son de gran utilidad en caso de no existir otro tipo de atrayentes como feromonas específicas y pueden ser base para el manejo de especies como el defoliador de la teca *Hyblaea puera* Cramer (figura 111).

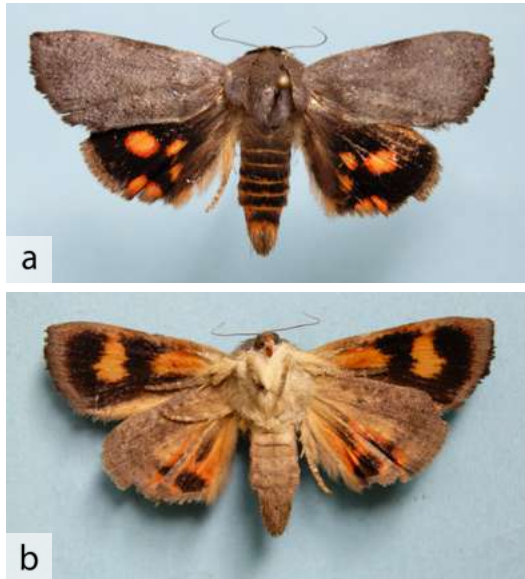


Figura 111. Adulto de *Hyblaea puera*, defoliador de la teca, (a) vista dorsal y (b) ventral. (Fotografías: V. D. Cibrián)

Hyblaea puera es la principal plaga de la teca a nivel mundial; el comportamiento de la especie es poco predecible y el éxito en el manejo de esta especie consiste en realizar la detección y control temprano de ataques iniciales, conocidos como epicéntricos antes de que se transformen en poblaciones que causen defoliaciones masivas.

La dificultad de realizar inspecciones visuales en plantaciones de teca, es que cuando ocurre el cierre de copas es prácticamente imposible detectar la presencia de defoliaciones en el dosel. En este caso se justifica tener un monitoreo in-

directo. Cibrián-Llenderal 2015 diseñó un sistema basado en trampas de luz tipo Pennsylvania, modificadas a partir del modelo de Heidinger 1971.

Esta trampa se caracteriza por tener cuatro paneles montados a 90° entre sí; con la fuente de luz UV al centro y tiene un recipiente de captura en la base (figura 112).



Figura 112. Trampa automatizada de luz ultravioleta para la captura de insectos defoliadores nocturnos. (Fotografía: V. D. Cibrián)

Las trampas se automatizaron mediante la incorporación de un panel solar y un circuito que controla la carga de la batería y el encendido y apagado de la luz. En el caso de *H. puera* se determinó que una trampa por cada 100 ha de plantación es suficiente para detectar el arribo de palomillas adultas y combatir el desarrollo de poblaciones epicéntricas.

Este método de trampeo es posible adaptarlo para la detección de adultos de lepidópteros defoliadores que afecten al eucalipto, de esta manera es posible determinar fechas y umbrales de daño y tomar decisiones para aplicar medidas de control.

Insectos barrenadores de brotes

Barrenador de las meliáceas

En las plantaciones de cedro rojo y caoba, la detección oportuna del barrenador *Hypsipyla grandella* Zeller permite aplicar tratamientos que mitiguen el daño a la forma del tronco.

Las plantaciones de meliáceas generalmente son de menor tamaño que las de las otras especies tropicales, por lo que es posible realizar inspecciones visuales al principio de la estación de crecimiento.

Los brotes en desarrollo muestran evidencias de daño, presencia de grumos de savia y excrementos en las horquillas formadas por las ramas laterales (figura 113).



Figura 113. Caoba en crecimiento con grumos de excrementos y seda, las larvas están sacando continuamente el material de desecho.

(Fotografía: D. Cibrián)

Barrenadores de yemas de pino

En las plantaciones de pinos maderables y resineros, el monitoreo de barrenadores de yemas (*Rhyacionia* spp.) debe ser continuo (figura 114).



Figura 114. Pino con brote atacado por *Rhyacionia*, después de abrirlo se muestra la pupa.
(Fotografía: D. Cibrián)

En árboles jóvenes se detectan amacollamientos de follaje, resultado del crecimiento simultáneo de brotes laterales que buscan sustituir a la yema apical atacada por la larva; con frecuencia se detectan acículas muertas, amarillas o rojizas en la punta del brote de crecimiento.

En 2016, en una plantación de cuatro años de edad, Álvarez *et al.* 2018 evaluaron infestación y daños por una especie de *Rhyacionia* no determinada. En junio, 14% de las yemas estuvieron barrenadas, 56% en agosto, 42% en septiembre y 45% en noviembre; el daño a la conformación del tronco fue evidente.

La metodología que siguieron fue mediante un muestreo sistemático, seleccionando cuatro hileras en cada fecha de muestreo; en cada hilera se levantó información de 25 árboles, en grupos de tres cada 30 metros y un grupo de cuatro al final para lograr los 25. En total se tuvieron 100 árboles muestreados por cada fecha de muestreo.

Insectos chupadores de savia

La cochinilla rosada (*Maconellicoccus hirsutus* (Green)) es un pseudococcido introducido a México; el primer registro en 1999, en Mexicali, Baja California; luego, en 2004, se reconoció en los municipios de Bahía de Banderas de Jalisco y Nayarit; para 2018 se hicieron labores de control en Baja California Sur, Chiapas, Campeche, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Quintana roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (CCCRH 2018).

La importancia económica de este insecto es alta porque ataca más de 300 especies vegetales en 70 familias botánicas (Sagarra y Peterkin 1999); por ello en 2004 se implementó un plan emergente y la “Campaña Contra la Cochinilla Rosada del Hibisco” (CCCRH) dependiente de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). En los manuales descriptivos de esta campaña se encuentran instructivos de como muestrear poblaciones.

En las plantaciones de teca del sureste de México, la cochinilla rosada es motivo de monitoreo permanente; los árboles infestados tienen el follaje deformado y arrugado, las hojas y ramas se cubren de fumagina gris oscuro, que resultan del desarrollo de hongos en la mielecilla que excretan ninfas y hembras. Las ninfas y adultos se cubren con hilos cerosos blancos, fácilmente detectables (figura 115).

Para el monitoreo se utilizan dos métodos, uno directo sobre plantas hospedantes y otro mediante trampas cebadas con feromonas sexuales (González 2013).

El muestreo directo es sistemático, consiste en tomar, en cada planta, cuatro brotes terminales de 5-10 cm, uno por cada punto cardinal y a di-



Figura 115. Arriba, árbol de teca con colonias de cochinilla rosada en desarrollo. Abajo, ninfas y adultos cubiertos con cera blanca, dos machos están caminando sobre la masa de cera blanca. (Fotografías: D.Cibrián)

ferentes alturas; en cada brote se califica el nivel de infestación por ninfas y adultos: nulo o cero si no hay cochinillas en el brote; bajo: 0-10; medio >10-20 y alto >20; el tamaño de muestra depende de las áreas, urbanas, agrícolas o forestales a muestrear.

En plantaciones de teca se sugiere muestrear 12 puntos periféricos, tres por cada lado del predio (Isiordia-Aquino *et al.* 2012) (figura 116).



Figura 116. Muestreo en una plantación de teca; se levantan 12 sitios independientemente del tamaño del predio. (Ilustración: L. Arango)

La toma de muestras puede ser semanal o quincenal (González 2013). El muestreo con feromonas utiliza (R)-lavandulil (S)-2-metilbutanoato y (R)-maconellil (S)-2-metilbutanoato en proporción 1:5 (Zhang y Amalin 2005 y González-Gaona *et al.* 2010).

La feromona está disponible en septos de caucho y tiene una tasa de liberación constante de hasta seis meses; pero en tan solo 48 horas después de su instalación, se tienen capturas suficientes para tomar decisiones.

Los septos de caucho se colocan en trampas tipo Delta (Scentry Biological Billings MT). En México a estas trampas se les han hecho modificaciones para hacer más fácil el manejo, servicio y conteo de ejemplares (DGSV 2008) (figura 117).

Plantaciones de árboles de navidad

En ambientes templados las plantaciones de árboles de navidad ocupan superficies comparativamente menores a las maderables, por ello no se utilizan vehículos para la inspección, es preferible hacerla a pie; se pueden hacer caminatas en forma de W para atravesar la plantación, se sugiere hacerlas con frecuencia quincenal durante la etapa de mayor actividad de los in-



Figura 117. Trampa tipo delta, con septo de caucho impregnado con la feromona. (Tomado de Folleto de Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Jalisco, campaña contra la cochinilla rosada)

sectos y con menor frecuencia en la etapa de reposo de los árboles.

Se registra la presencia de insectos y daños, se califica la severidad y se evalúa el impacto en la calidad del árbol; los daños por gallina ciega (*Phyllophaga*), pulgones lanígeros (*Adelges* y *Pineus*), barrenadores de tronco (*Retinia edemoidana* Dyar) y defoliadores (picudos *Pandeleteius*) y larvas de mosca sierra (*Neodiprion*) son objetivo de detección por el responsable del monitoreo.

Para la identificación de especies plagas se sugiere utilizar las guías de identificación dispo-

nibles en la página de la CONAFOR de (Cibrián 2009) Manual para la identificación de plagas y enfermedades en plantaciones de árboles de

navidad y de Cibrián (2013) Manual para la identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales.

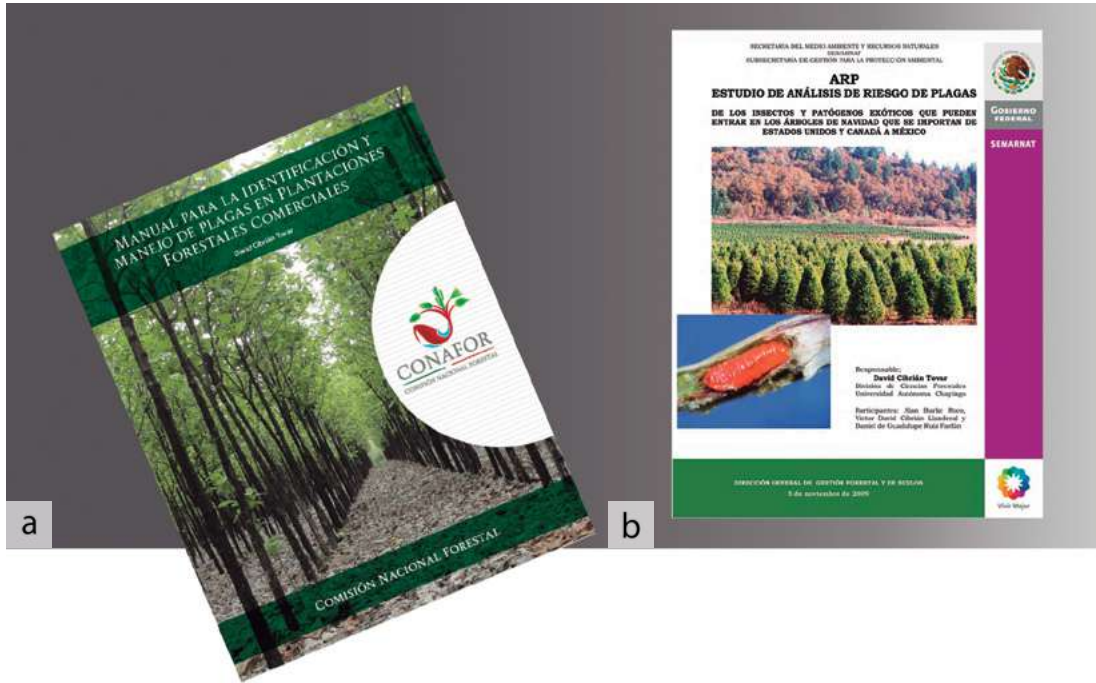


Figura 118. Portadas de los manuales que auxilian en la identificación y manejo de plagas en plantaciones comerciales **(a)** maderables y **(b)** de árboles de navidad. (Fotografías: L. Arango)

Monitoreo de plagas en bosques naturales mediante mapeo aéreo

Carlos Alberto Magallón Morineau, Marisol Ávila Vargas y Abel Plascencia González

Según McConnell 1995, el primer registro que se tiene del uso de avión para detectar daño ocasionado por plagas forestales, fue realizado en 1920 en las provincias de Québec y Ontario, Canada; en 1925 se sobrevoló el Parque Nacional La Sierra, en California, Estados Unidos (Wear y Buckhorn 1955).

En Canadá el mapeo aéreo lleva decenas de años; Harris y Dawson 1979 describieron y evaluaron las técnicas usadas hasta 1979.

Es utilizado por los servicios forestales de muchos países; en Brasil para detectar daños por la avispa de la madera *Sirex noctilio* Fabricius (Malheiros de Oliveira *et al.* 2006).

Ciesla 2000 revisó el uso de sensores remotos en la protección de salud forestal definiéndolos como: la colección e interpretación de datos obtenidos mediante la medición de energía electromagnética reflejada o emitida desde objetos; los datos se obtienen desde una distancia y sin tocar dichos objetos; reconoce que el ojo humano y el cerebro es un tipo de sistema de sensor remoto.

En Canadá, Hall *et al.* 2016 hicieron una revisión del uso de sensores remotos para evaluar dos descortezadores y seis defoliadores; estos autores concluyeron que fueron más efectivos en vastas superficies al compararlos con el mapeo aéreo, el cual es costo-efectivo y oportuno en superficies menores.

Recientemente Coleman *et al.* 2018, hicieron un análisis histórico sobre las bases de datos asociadas al monitoreo aéreo de daños por insectos en los Estados Unidos; reconocieron que

la inspección aérea permite conocer y medir la salud forestal, con un 70% de precisión al calificar un daño, y que de todo el conjunto de variables que se toman, el registro de mortalidad y defoliación tuvo los más altos niveles de precisión.

En México, en los años ochenta, algunas delegaciones estatales de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) realizaron detecciones aéreas en zonas plagadas, de manera esporádica y sin sistema. Dada la carencia en la planeación, este tipo de actividades no llegó a desarrollarse de manera sistemática.

En el año 2004; a solicitud de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el marco de cooperación con la Comisión Forestal para América del Norte (COFAN), se realizó una capacitación en técnicas de mapeo aéreo, en las instalaciones del Servicio Forestal de Fort Collins, Colorado, Estados Unidos, con el propósito de adecuar y aplicar esta tecnología en México.

A partir de ese año, CONAFOR implementó el uso del avión para la observación y registro de daño por plagas, mediante el uso de cartas topográficas impresas (Magallón 2004).

En 2006 se dio la transferencia de tecnología digital en mapeo aéreo por el Servicio Forestal de Estados Unidos. Desde esa fecha la Gerencia de Sanidad Forestal utiliza como medio de digitalización el software Geolink y el hardware Toughbook CF-18 y CF-19, como plataforma para mapeo aéreo y, como base, las cartas topográficas escala 1:50,000 del INEGI e imágenes de satélite tipo SPOT.

Mediante la adecuación y aplicación de tecnología y metodología de detección de plagas forestales vía aérea, la Gerencia de Sanidad ha desarrollado el registro espacial y temporal de áreas afectadas, lo que ha permitido conocer el comportamiento de las principales plagas forestales en México y mantener un monitoreo anual de las más importantes áreas forestales

¿Qué es el Mapeo Aéreo?

Es una técnica que emplea sensores remotos con los que se observan, desde un avión, los cambios en la estructura de un bosque y se documentan manualmente en un mapa topográfico, aunque gracias a las nuevas tecnologías ahora también pueden registrarse de manera digital (McConnell *et al.* 1995 y Schrader 2002).

Objetivos del mapeo aéreo en sanidad forestal

- Monitorear las áreas para conocer el estado fitosanitario y los cambios en estructura.
- Detectar, cuantificar y ubicar geográficamente los posibles daños ocasionados por descortezadores y defoliadores.
- Dimensionar y evaluar el impacto de las áreas afectadas en situación de contingencia fitosanitaria.
- Validar la información de los mapas de riesgo generados.

Tipos de mapeo aéreo

La planificación del mapeo depende del objetivo, por lo que se puede clasificar en tres tipos:

- **General.** Se realiza a gran escala con objeto de observar grandes cambios en la estructura del bosque en tiempo determinado.
- **Específico.** Se efectúa en áreas pequeñas para ubicar y cuantificar daños al arbolado por factores bióticos y abióticos.

- **Especial.** Se lleva acabo con fines de investigación, manejo de áreas forestales o impactos acumulativos de algún evento (incendios, desastres naturales).

Programa de mapeo aéreo en la detección temprana de plagas forestales

Un programa de mapeo aéreo debe ser instrumentado de manera sistematizada, planeada y segura, para que sea efectivo en la detección y ubicación de daños ocasionados por plagas forestales, al mismo tiempo debe ser de bajo costo y con alto beneficio en el menor tiempo posible.

Al poner en marcha un programa anual de mapeo aéreo, se recomienda reunir al personal involucrado, para analizar y retroalimentar las actividades realizadas y determinar las horas de vuelo a emplear.

La ejecución del mapeo, trae consigo un trabajo previo que realizan los responsables de la actividad. Consiste en disponer de los aviones adecuados, contar con pilotos experimentados, seleccionar y capacitar al personal que desarrollará el mapeo y seguir las reglas de seguridad en todo momento.

El avión

La selección de la aeronave es muy importante para realizar las actividades de manera segura y eficiente. Las características más importantes que se deben considerar son:

- Aviones de ala alta para facilitar la visión del observador.
- Potencia requerida para volar en terrenos montañosos.
- Autonomía de vuelo y capacidad de carga.
- Las micas del avión sin polarizar para poder identificar los diferentes colores del arbolado.

Los aviones más utilizados son Cessna 182, 206 o 207 (figura 119) por su disponibilidad en el mercado, potencia y capacidad de carga. También se podrían utilizar helicópteros, pero se debe considerar que el costo por hora es mucho más elevado que el de los aviones.



Figura 119. Arriba, avión Cessna 206. Abajo, avión Cessna 207 de mayor tamaño, permite llevar más de dos evaluadores a bordo. Apropriados para el mapeo aéreo por tener ala alta.

El piloto y el observador

El piloto es una pieza muy importante del equipo para la ejecución, la seguridad y éxito de la misión, pues depende de su experiencia en la realización de vuelos a baja altura en terrenos montañosos; además, debe entender los objetivos y alcances de la misión y los resultados que se buscan.

También debe sentirse parte del equipo de trabajo, ejecutar las actividades en el marco de seguridad referido al patrón de vuelo (altura y velocidad), y compromiso con la seguridad de la tripulación y la misión.

El observador es el responsable de la misión; debe tener conocimientos de navegación, mantener comunicación adecuada con el piloto durante el desarrollo de la actividad y transmitirle las necesidades técnicas durante el vuelo (figura 120).



Figura 120. Actividad de mapeo en ejecución. (Fotografía: CONAFOR)

Los requisitos que debe cubrir el personal que participa en el mapeo aéreo son:

- Buena vista con percepción normal de color, para que pueda apreciar los cambios de coloración que presente el arbolado dañado, y de profundidad, para calcular distancias y determinar, desde el aire las áreas afectadas.
- Capacidad de volar por periodos prolongados de 3 a 6 horas diarias sin experimentar malestar (mareos, vómitos, presión baja o alta).
- Habilidad para identificar diferentes especies de árboles desde el aire.
- Conocimiento de los síntomas que presenta el arbolado por la presencia de plagas.
- Conocimiento en el manejo del software utilizado para efectuar la actividad.
- Conocimiento para leer cartas topográficas.
- Interés en la aviación.

La capacitación y entrenamiento

El personal dedicado al mapeo debe recibir capacitación adecuada, con objeto de que cada etapa que involucra esa actividad se desarrolle adecuadamente, desde la planeación, ejecución de la misión y postproceso. Los temas que se deben cubrir son:

- Principios básicos de Sistemas de Información Geográfica.
- Manejo básico del software MapSource.
- Manejo del software GeoLink.
- Manejo de GPS para aviación.
- Interpretación de cartas topográficas e imágenes de satélite.
- Aspectos biológicos y afectaciones de plagas y enfermedades forestales.
- Reconocimiento de daños desde el aire.
- Vuelos de práctica y corroboración, en tierra, de síntomas observados desde el aire (salidas de campo).
- Principios de navegación.

Como toda actividad, la mejor preparación para el mapeo aéreo es la práctica.

Se sugiere que el personal en entrenamiento esté acompañado en sus primeros vuelos por un observador con experiencia mínima de 40 horas de vuelo.

La seguridad

Es importante que todos los involucrados en las actividades de mapeo aéreo estén conscientes de los peligros y las reglas de seguridad que deben seguir para realizar un trabajo de calidad.

El entrenamiento e información de seguridad antes, durante y después del vuelo, es tan importante como el de las actividades de mapeo.

Los rubros en lo que se debe de capacitar son:

- Principios de vuelo.
- Capacidad y limitaciones de los aviones a utilizar.

- Seguridad de los aviones.
- Protocolos de seguridad en caso de emergencia.

Planeación de un mapeo aéreo

El proceso para llevar a cabo un mapeo aéreo involucra: planeación, ejecución, postproceso y mapa de resultados.

La información entre todo el personal involucrado en un programa de mapeo aéreo debe fluir adecuadamente y con oportunidad, antes, durante y después de los vuelos.

Definir el área de interés. Con el apoyo de los mapas de riesgo de insectos descortezadores y defoliadores que se generan mensualmente, se programan las áreas a monitorear (figura 121).

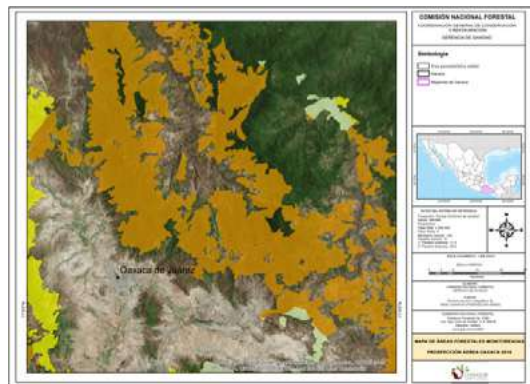


Figura 121. Identificación de las zonas de riesgo en el mapa, en amarillo oscuro se muestran las superficies prioritarias. (Fotografía: CONAFOR)

Es importante: recabar información de las especies de árboles en el área, su historial fitosanitario y de incendios, la altura sobre el nivel del mar, la topografía, la distancia entre el aeropuerto y el área, para planear la recarga de combustible, e identificar aeropuertos alternos y tráfico en la zona.

Patrón de vuelo. Los patrones de vuelo están diseñados para realizar una cobertura total del

área a monitorear y obtener una vista favorable para el observador que realiza el mapeo aéreo (figura 122).

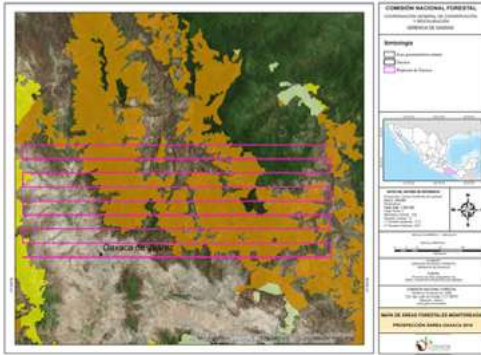


Figura 122. Trazo de líneas de vuelo.
(Fotografía: CONAFOR)

El patrón de vuelo (figuras 123 y 124) se elige en base a la topografía, la precisión y la experiencia del observador. Las diferentes clases de patrones son:

Contorno general: Se emplea cuando la topografía tiene relieves que dificultan la visibilidad desde el aire.

El relieve define la ruta de vuelo; el observador dirige al piloto para sobrevolar la red de drenaje

(sobre ríos o arroyos), de manera que siempre pueda ver el fondo.

Contorno de cresta: el observador dirige al piloto para sobrevolar las crestas de las montañas, de manera que pueda ver una ladera y el fondo del drenaje.

Paralelo: son líneas que se trazan en dirección de los puntos cardinales formando una parrilla de separación entre líneas de vuelo.

En la práctica se utilizan líneas de vuelo con intervalo de 2 a 3 minutos de arco de separación. Esto permite tener una visualización completa del área, así como una buena relación beneficio-costo.

Si la actividad se realiza con un solo observador, las líneas de vuelo deben recorrerse dos veces para que se tenga un monitoreo completo del área. De ida se vuela sobre la línea de vuelo y de regreso se hace una pequeña desviación hacia alguno de los lados para que el observador pueda ver lo que quedó debajo del avión en el recorrido de ida.

Si la actividad se hace con dos mapeadores, solo se recorre la línea una sola vez.



Figura 123. Vuelo en paralelo con un observador.
(Ilustración: E. Llanderal)

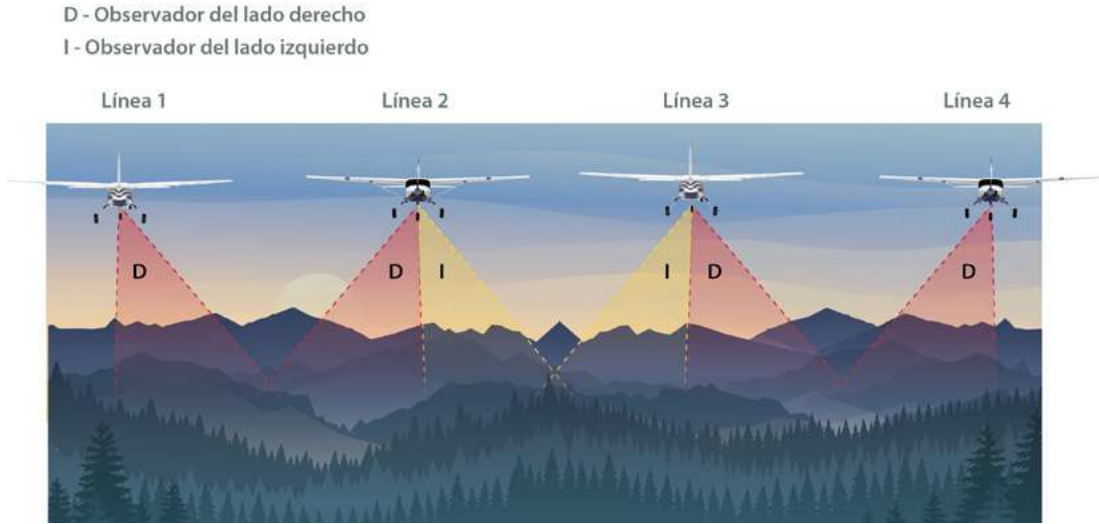


Figura 124. Vuelo en paralelo con dos observadores.
(Ilustración: E. Llanderal)

Tiempos de vuelo y ventanas biológicas

Estos términos se refieren al tiempo propicio del año para realizar los vuelos. Es la época particular en que una plaga muestra mayor severidad en los daños causados al arbolado; depende del agente causal, su ciclo biológico y hospedero.

Este aspecto es de gran relevancia, pues si se ejecuta el mapeo antes del periodo óptimo se corre el riesgo de que el daño no se presente o sea incipiente. Por el contrario, si se vuela después de ese periodo, el daño resulta poco apreciable. En época de lluvias se tiene la limitante de visibilidad.

En el cuadro 10 se muestran los periodos más propicios para realizar los vuelos según el tipo de agente causal, incluyendo descortezadores, defoliadores y un patógeno.

Condiciones Meteorológicas. Es importante revisar continuamente las condiciones meteorológicas durante la programación de la actividad para definir el periodo óptimo de vuelo.

Esta actividad se realiza diariamente durante el periodo de trabajo.

Cuadro 10. Periodo de observación por tipo de agente causal.

Agente Causal	Hospedero	Periodo de observación
<i>Dendroctonus mexicanus</i>	<i>Pinus</i>	Marzo–Mayo
<i>D. adjunctus</i>	<i>Pinus</i>	Marzo–Julio
<i>D. frontalis</i>	<i>Pinus</i>	Julio–Septiembre
<i>D. pseudotsugae</i>	<i>Pseudotsuga</i>	Agosto–Octubre
<i>Ips. sp.</i>	<i>Pinus</i>	Febrero–Abril
<i>Lophocampa</i>	<i>Pinus</i>	Marzo–Agosto
<i>Evita hyalinaria blandaria</i>	<i>Abies</i>	Marzo–Mayo
<i>Zadiprion sp.</i>	<i>Pinus</i>	Julio–Diciembre
<i>Neodiprion sp.</i>	<i>Pinus</i>	Marzo–Septiembre
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>Quercus</i>	Septiembre–Octubre

Comunicación antes del vuelo: La comunicación entre el piloto y el encargado de la misión debe incluir: las condiciones meteorológicas, las características del terreno, el plan de vuelo, los planes alternos y el tiempo de vuelo que se contabiliza de calzo a calzo, es decir desde que la aeronave inicia el “taxeo” o rodaje hasta que se estaciona en la plataforma en el punto de pernocta o corte de motor.

El piloto debe informar a los pasajeros la ubicación y operación de extinguidores, las puertas, las cerraduras y los cinturones de seguridad, el comportamiento a seguir en situaciones de emergencia; así como otra información relativa a la seguridad dentro del avión.

Ejecución del mapeo

Es la etapa en que se recaba la información observada durante el vuelo.

Firma o huella del daño. Es la identificación de una o varias características que permiten detectar un agente causal de daño.

Para reconocer desde el aire los daños, existen dos parámetros a considerar: las características de la copa de la especie afectada y la apariencia general.

Reconocimiento aéreo de grupo o grupos de especies forestales. El conocimiento de las características de las especies forestales o grupos es esencial para determinar el daño y agente causal.

El observador debe ser capaz de reconocer desde el aire el tipo de copa, la especie forestal que está observando y diferenciar entre un árbol dañado y uno saludable.

Por el color del follaje el observador puede determinar el grupo de especies que está observando. Por ejemplo, muchas de las coníferas tienen tonalidades que van del verde claro al oscuro; *Abies*, *Picea* y *Pseudotsugae* presentan

una coloración verde azulada; las especies de *Juniperus* y *Cupressus* presentan coloraciones que van del verde azulado al verde alimonado.

La forma de la copa es otra característica importante para identificar la especie; puede ser acuminada, aguda, obtusa o redondeada.

Daños. Las características del daño pueden dar una idea del agente causal. Los principales daños del arbolado que pueden observarse desde el aire son:

- Color de la copa: el primer síntoma en árboles atacados es el cambio de coloración del follaje del arbolado sano; por ejemplo, las coníferas atacadas por descortezadores adquieren coloración verde alimonado hasta llegar al rojizo.
- Mortalidad: los árboles muertos del año en que se realiza la actividad o el anterior, en coníferas, muestran por lo general un rojo intenso. Los que llevan años muertos y se encuentran en pie, se ven grises.
- Defoliación: es la pérdida parcial o total del follaje, los árboles adquieren color grisáceo.
- Puntiseco: se observan secas las puntas del árbol, y algunas ramas superiores se vuelven amarillas, rojas o grises; el resto se mantiene verde (figura 125).



Figura 125. Infestación por descortezadores del género *Dendroctonus*. (Fotografía: CONAFOR)

Toma de datos. El tipo de daño, severidad y superficie afectada se registra mediante puntos o polígonos que se guardan en formato “shape file” dentro del programa empleado para esta actividad.

Un punto puede representar la afectación de 1 a 5 árboles, un polígono 10 o más árboles.

La forma y tamaño son determinantes para establecer el área y ubicación afectada. Para su trazo es útil tomar como referencia las curvas de nivel de la carta topográfica (figura 126).

Factores que pueden afectar el mapeo

- Visión.
- Aptitud.
- Habilidad para observar y dibujar.
- Experiencia y entrenamiento.
- Conocimiento de la condición del bosque.
- Habilidad para leer cartas topográficas.
- Buen sentido de ubicación, conforme al movimiento del avión.
- Actitud.
- Fatiga.
- El ruido del avión (exposición durante periodos prolongados al ruido del motor).
- El calor. En vuelos realizados de verano o en

zonas de poca altitud, se eleva la temperatura de cabina y es necesario evitar la deshidratación.

- El movimiento. El movimiento del avión y las turbulencias, pueden producir malestar general y mareos.
- Efectos de la altitud. Una altura mayor a 3,000 msnm por más de una hora produce fatiga y sueño.
- Horas de vuelo. Se recomienda volar entre 4 y 6 horas al día; un vuelo más prolongado se refleja en mapeos de menor calidad.

Vuelo

- **Patrón.** Si el patrón de vuelo no está bien trazado o no es seguido debidamente por el piloto, se pierde precisión y calidad en el mapeo.
- **Altitud.** Se debe volar, dentro del marco de seguridad. A una altura en la que se puedan registrar los daños del arbolado. Si se vuela muy alto es difícil identificar el arbolado dañado y si se vuela muy bajo, el campo visual se reduce sustancialmente. La altura será entre 500 y 1500 pies sobre el terreno.
- **Velocidad.** Se debe volar a una velocidad que permita ubicar, identificar y registrar los datos.

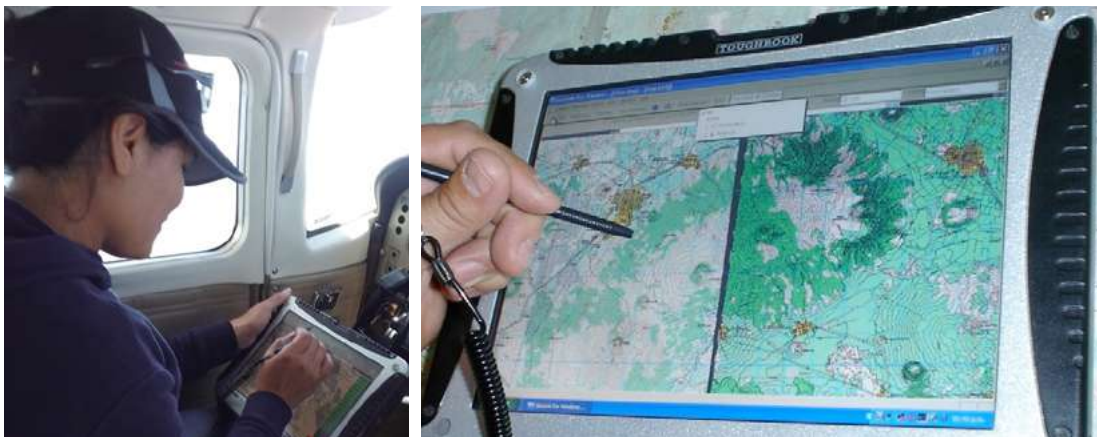


Figura 126. Toma de datos en sobrevuelo.
(Fotografías: CONAFOR)

Si se vuela muy rápido el tiempo para realizar estas labores se reduce con la consecuente pérdida de datos (esto depende también de la experiencia y habilidad del observador y de la severidad del daño). La velocidad de vuelo durante el mapeo deberá de fluctuar entre 80 y 110 nudos por hora.

- **Visibilidad.** Entre menor sea, mayor será la dificultad para realizar el mapeo.
- **Tráfico aéreo.** Puede haber restricciones para volar en ciertas áreas debido a la presencia de tráfico.

Condiciones meteorológicas

- **Ángulo de la luz solar.** Si se vuela muy temprano o muy tarde el ángulo de la luz forma sombras que dificultan la identificación de los daños.
- **Nublados.** Cuando se tienen nublados discontinuos se forman zonas de sol y de sombra sobre el terreno, que también dificultan dicha identificación de daños (figura 127a).
- **Bruma o Niebla.** Con la bruma la visibilidad disminuye considerablemente y la tonalidad de los árboles no se aprecia claramente. Hace muy peligroso el vuelo y no permite visualizar el terreno (figura 127b).

- **Vientos y turbulencia.** Cuando hay mucha turbulencia se dificulta dibujar los polígonos, por lo que se podría omitir algunos datos, además de incrementar la fatiga.

Comunicación durante el vuelo

La comunicación de la tripulación es esencial para el buen desarrollo del trabajo. Deberá hacerse énfasis en el seguimiento de patrón de vuelo, la altitud, la velocidad y las características particulares de los daños que se presenten. La comunicación ente el piloto y el encargado de la misión es básica para poder ajustar el curso del avión, la velocidad y la altitud.

Equipo y tecnología

Las herramientas requeridas para el mapeo aéreo son: sistema computarizado de mapeo aéreo, GPS, audífonos, binoculares y cámara fotográfica.

El sistema computarizado de mapeo aéreo: Tecnología digital especializada que permite hacer un mapeo eficaz y generar capas de información tipo shapefile; el cual, a través de un software de geoposicionamiento conectado vía satelital, permite obtener información georreferenciada. Este software puede mostrar diferentes tipos de datos geoespaciales.

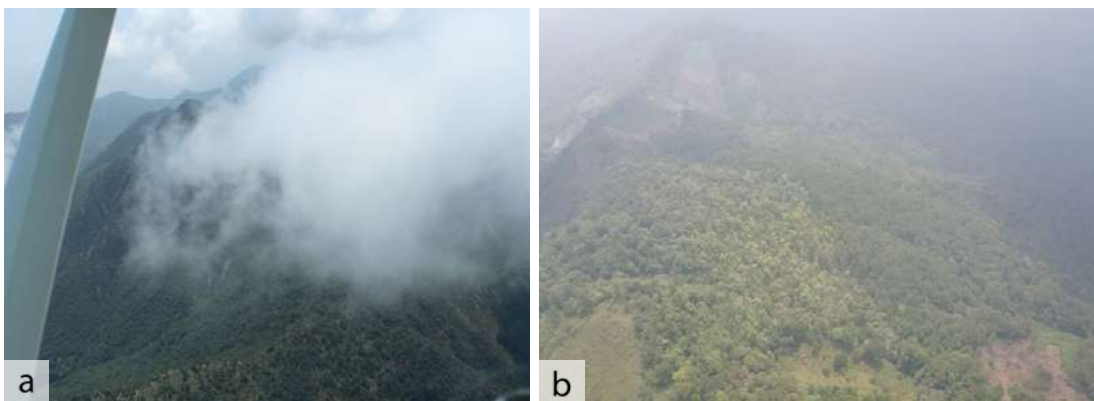


Figura 127. (a) Nublados y (b) bruma durante el mapeo en la Sierra Norte de Oaxaca. (Fotografías: CONAFOR)

El GPS: Los sistemas de posicionamiento global son esenciales para la planeación y la realización del mapeo aéreo. El recorrido del sitio de mapeo permite ubicar rápidamente la dirección del área a sobrevolar. Durante la actividad, le facilita al piloto seguir con precisión el patrón de vuelo (figura 128).



Figura 128. Equipo utilizado en la actividad de mapeo, computadora especial. (Fotografía: CONAFOR)

Los audífonos. Tienen dos funciones: la intercomunicación de la tripulación y la protección de los oídos tras largos periodos de exposición al ruido.

Los binoculares. Se emplean para detectar diferentes especies de arbolado y tipos de daños.

La cámara fotográfica: Con objeto de documentar la situación de las áreas sobrevoladas, es importante contar con imágenes fotográficas que nos brinden información de lo observado.

Consideraciones respecto al vuelo

Altitud. La altitud de vuelo con referencia al nivel del terreno depende de las condiciones climáticas y topográficas. Se recomienda volar a una altura entre 500 y 1500 pies (aproximadamente entre 150 y 450 metros).

No es recomendable volar por debajo de esta altura por cuestiones de seguridad, si se hace, antes es necesario efectuar un sobrevuelo de reconocimiento del aérea y determinar los posibles peligros (figura 129).



Figura 129. Altitud entre 500 y 1,500 pies y velocidad de vuelo 65 a 85 nudos. (Ilustración: E. Llanderal)

Velocidad de vuelo. Depende de dos factores: la seguridad y el nivel de afectación que se observe en el recorrido. Se recomiendan velocidades de entre 65 y 85 nudos. Otro factor que se debe tomar en cuenta es la habilidad del observador para la toma de datos.

Seguimiento de la ruta de vuelo

Consiste en conocer, mientras se está volando, la posición del avión respecto al seguimiento en la carta topográfica que se tiene como guía en el equipo de cómputo. Para un observador principiante es una de las labores difíciles; es indispensable ubicarse para registrar los datos de presencia de plagas. Al principio, es bueno tomar algún punto de referencia para ubicarse rápidamente, como por ejemplo la montaña de mayor altura en el área.

La atención: se debe de mantener 75 % de la vista en el terreno y 25 % en el equipo de mapeo (carta topográfica o imagen de satélite).

Eficiencia: costo-beneficio

Es muy importante la planeación para realizar un mapeo aéreo; hay que considerar que la renta de cualquier aeronave tiene un costo considerable. Entre mejor se planee la misión, más se reducirán los costos y se obtendrá una mayor eficiencia; como un ejemplo, el cuadro 11.

Cuadro 11. Elementos para calcular la relación costo-beneficio.

Visión del observador →	1 minuto de arco = 1.852 km
Velocidad del avión →	75 nudos = 138.75 km/h
Al multiplicar →	$1.852 \text{ km} \times 138.75 \text{ km/h} = 256.965 \text{ km}^2/\text{H}/\text{km}$ por hora de vuelo $265.965 \text{ km}^2 = 25,696 \text{ ha}/\text{hora}$
En cuatro horas de vuelo →	102,786 h

En este aspecto, los factores que más inciden son: la distancia entre líneas de vuelo, el número de observadores, la velocidad, y la distancia del aeropuerto a la zona a monitorear.

Ferry. El ferry es la distancia que hay entre el aeropuerto y el área a sobrevolar.

Recarga de combustible. La distancia entre el aeropuerto a la zona a sobrevolar, y los tiempos de vuelo efectivo, deben ser tomados en cuenta en la planeación con el fin de ubicar aeropuertos en los que se pueda recargar combustible, sin problemas, y continuar con el sobrevuelo.

Planes alternos. Como medida de prevención, en caso de que se presenten imprevistos por el clima, el tráfico, etc., se deben considerar zonas alternas para monitorear, de manera que, si no es posible mapear la zona que originalmente se planeaba, se cuente con otras zonas.

Post proceso y resultados

Una vez concluida la misión en campo, se obtienen los "shapes files" del vuelo, que contienen la información referente a polígonos con posible afectación o los puntos de referencia de los árboles afectados, así como la ruta de vuelo que se siguió.

Los "shapes files" son importantes para determinar la superficie forestal monitoreada, georreferenciar los posibles daños, y generar una base de la condición fitosanitaria del área forestal monitoreada.

Se recomienda que esta actividad se lleve a cabo de forma inmediata, cuando los datos aún se encuentran presentes en la memoria, para no omitir datos importantes.

El producto final que se obtiene es un mapa con los puntos o polígonos que indican las posibles áreas dañadas por plagas (figura 130).

Esta información permite a los enlaces de sanidad programar las acciones de verificación y

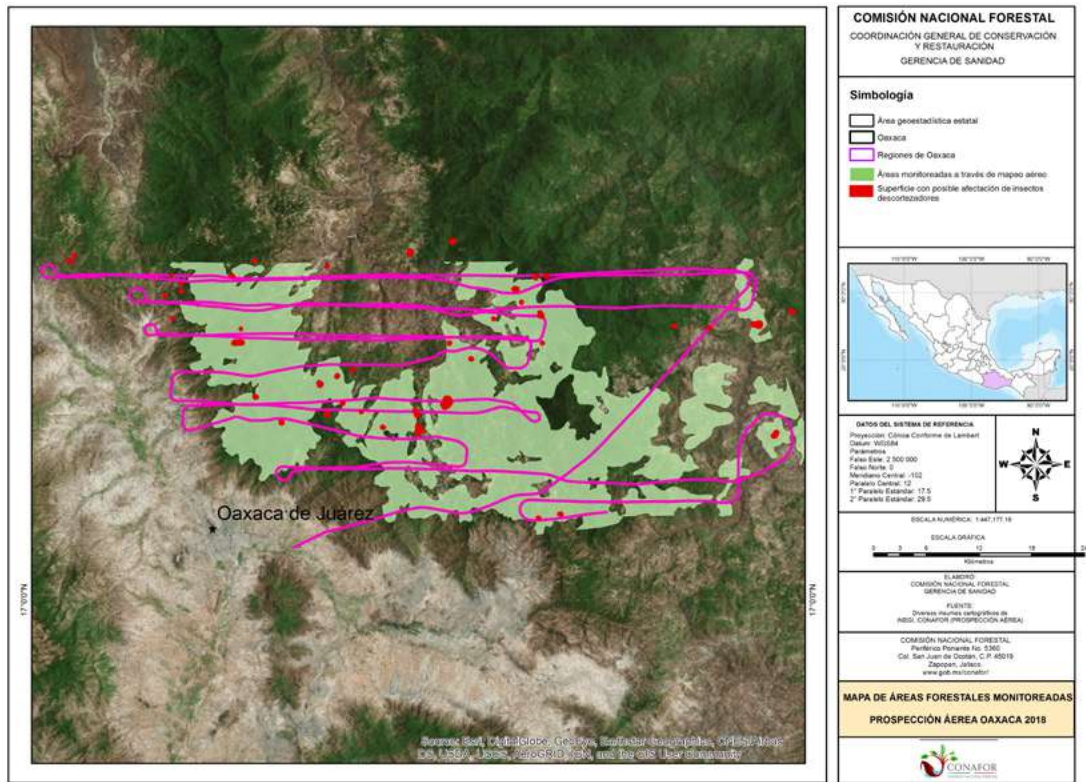


Figura 130. Patrón de vuelo y los puntos rojos identifican sitios con posible afectación. (Fotografía: CONAFOR)

monitoreo terrestre, además proporciona un panorama amplio de la salud del arbolado en las áreas monitoreadas, facilitando la toma de decisiones.

Asimismo, permite retroalimentar el Sistema de Alerta Temprana ya que valida la información del nivel de riesgo que se obtiene del análisis espacial.

Supervisión terrestre

Tras concluir la actividad de sobrevuelo y brotes detectados, se deben de realizar recorridos terrestres para corroborar daños y determinar la afectación.

Teledetección espacial en el monitoreo de vegetación afectada por plagas forestales

Julio César Buendía Espinoza y Luis Ángel Cruz González

En este capítulo se aborda la teledetección espacial (TE), así como los principales índices de vegetación y su aplicación en el monitoreo y seguimiento de la vegetación afectada por plagas forestales.

Teledetección vs teledetección espacial

De acuerdo con JARS 1993, la teledetección engloba los medios que puedan captar, a distancia, características de los objetos de interés sin contacto directo. Chuvieco 1996, en su libro "Fundamentos de la teledetección espacial", restringe la definición de teledetección al incorporar el sufijo "espacial", para referirse solo a los medios de teledetección montados sobre plataformas espaciales; definiendo a la teledetección espacial como "técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia. A su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor, se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en últimas instancias, ser interpretada para una determinada aplicación".

La vegetación en el espectro electromagnético

La teledetección en general, y en particular la espacial, se cimienta en que, cuando la radiación solar incide sobre un material o cubierta, una parte de ella se refleja en la porción más superficial del material; mientras que el resto es ab-

sorbido y dispersado (en todas direcciones), emergiendo del material por la misma superficie en que penetró, sumándose a la radiación reflejada por la capa superficial (Gilbert *et al.* 1997). La radiación reflejada, y captada por un sensor, es la respuesta espectral propia de dicho material o cubierta. Este es el principio por medio del cual, a partir de los colores, formas y texturas, nuestra visión opera para discriminar diferencias en la interpretación de fotografías en blanco y negro, y principalmente en color. El ojo humano es incapaz de ver longitudes de onda por debajo del rojo (infrarrojo), y son justo esas longitudes en las que el comportamiento espectral de la vegetación muestra poca reflectividad en la porción visible, con un máximo, relativo, en la fracción del verde. Caso contrario lo que sucede en la fracción del infrarrojo del espectro electromagnético, donde presenta una alta reflectividad, reduciéndose gradualmente al llegar al infrarrojo medio (Jensen 1983, Chuvieco 1996).

El comportamiento espectral se relaciona con la acción de los pigmentos fotosintéticos y el agua almacenada en las hojas. La baja reflectividad de la porción visible del espectro es atribuida a los pigmentos de la hoja, principalmente las clorofilas, xantofilas y carotenos. Todos absorben en la banda situada en torno a los 0.445 μm (figura 131), mientras que la clorofila presenta una segunda banda de absorción en torno a los 0.645 μm . Entre ambas partes del espectro, apa-

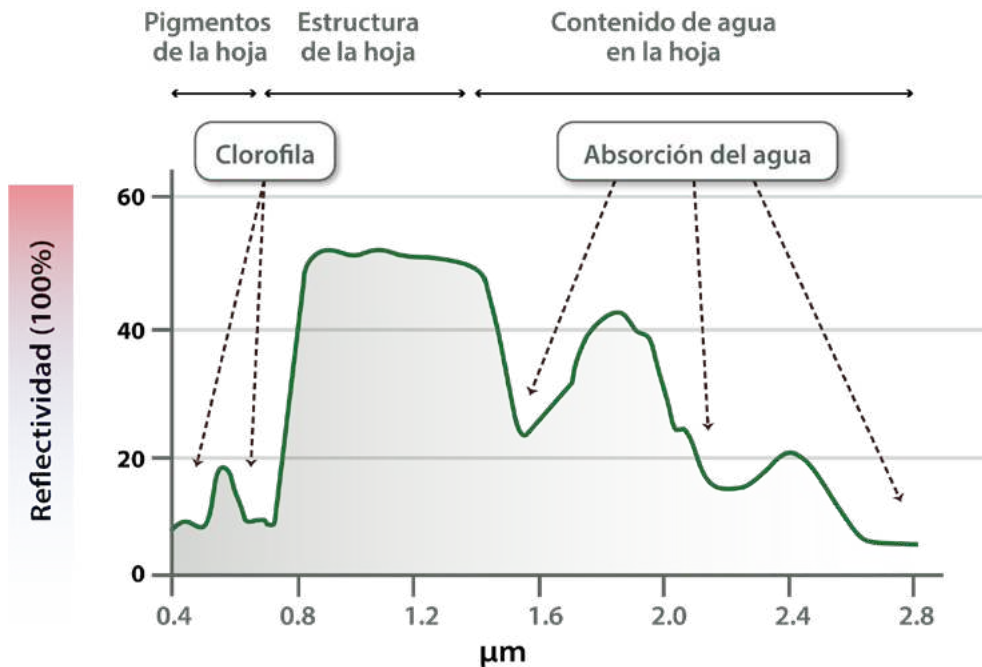


Figura 131. Firma espectral de la vegetación sana (Fuente: Chuvieco 1996).
(Gráfica redibujada: L. Arango)

rece una banda intermedia, alrededor de los 0.55 μm en donde el efecto absorbente es menor. Por esa razón, se muestra el pico relativo de reflectividad que coincide con la banda verde del espectro visible, y origina el color que vemos en la vegetación vigorosa (Chuvieco 1996, Gilabert *et al.* 1997).

La caracterización espectral de las masas vegetales es una tarea interesante pero complicada, al interferir múltiples factores en la radiancia final detectada por el sensor.

Se considera, en primera instancia, la reflectividad de la hoja en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad, además de las características morfológicas de las plantas: altura, perfil, densidad de la cobertura, entre otros, que alteran el comportamiento reflectivo. De igual manera se deben considerar factores

de la geografía donde está la planta, como: pendiente, orientación geométrica (Chuvieco 1996). La complejidad para estudiar la vegetación se puede evidenciar a partir de sensores remotos; sin embargo, el comportamiento espectral teórico descrito de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices de vegetación, que se construyen a partir de la combinación lineal de las bandas en el espectro visible esencialmente el rojo (0.645 μm y el infrarrojo cercano (0.7-1.3 μm), cuando se disponen de una imagen multiespectral.

El cálculo de los índices de vegetación es variado, sin embargo, todos muestran, de manera nítida, las características de la vegetación, facilitando su aislamiento de otras coberturas y su estado de salud (Huete y Jackson 1987, Chuvieco 1996).

Índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima

Los índices son un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas en los valores de carácter numérico de los píxeles que conforman una imagen, utilizando uno o más bandas que pertenecen a una misma escena; siendo definidos como un parámetro que se estima a partir de los valores de reflectancias en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético y que son sensibles a la cobertura de la vegetación (Gilabert *et al.* 1997, Mayorga Arias *et al.* 2019). Estos se clasifican en dos grandes grupos.

El primer grupo, basado en la pendiente, usa el cociente de la reflectancia de una banda con otra (generalmente la porción roja e infrarroja cercana) y sus valores resultantes indican tanto el estado como la abundancia de la cobertura y biomasa de la vegetación verde (Gilabert *et al.* 1997). Este grupo incluye el **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada** (NDVI), el Índice de Vegetación de Cociente (RVI), y el Índice de Vegetación de Cociente Normalizado (NRVI), entre otros. El segundo grupo, basado en la distancia, constituye una reflectancia promedio de todos los tipos de coberturas que están dentro de ese píxel, incluye el Índice de Vegetación Perpendicular (PVI), entre otros (Huete y Jackson, 1991, Sancha Navarro 2010).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

Este índice fue introducido por primera vez por Rouse *et al.* 1973, con el objetivo de discriminar la vegetación, del brillo que produce el suelo. Su rango de medición oscila de -1 a 1 (Sancha 2010); en consecuencia, hay que indicar que para valores de 0.1 la vegetación con dicho índice se con-

sidera en estado crítico, mientras que para 0.5 se considera densa y sana (Holben 1986). Su estimación utiliza la vitalidad de la vegetación en la superficie de la tierra. Tanto más activa es la clorofila de las plantas, más grande es el aumento del nivel de reflexión en el infrarrojo cercano (0.78-1 μm).

El NDVI se utiliza principalmente, para analizar los cambios de la vegetación, en estudios de escala pequeña; mientras que en estudios de escalas grandes, éste se utiliza para conocer el vigor de la vegetación, detectando fenómenos de amplio rango de acción. En términos ecológicos, el NDVI tiene un gran valor, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Paruelo 2008). Además, éste índice tiene una gran importancia de carácter ecológico (Alcaraz *et al.* 2008) y se encuentra altamente correlacionado con la cobertura vegetal y el índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés); cuanto más alto es su valor mayor es el LAI, así como la cobertura vegetal (Jiang *et al.* 2015).

Teledetección y sistemas de información geográfica

Los métodos de teledetección, especialmente en combinación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son técnicas rentables para medir los cambios en el paisaje de un área continua (Franklin *et al.* 2000, Rogan y Chen 2003). La unión de ambas disciplinas ha permitido analizar el territorio a escalas muy grandes y, al mismo tiempo, cada vez más detalladas, conocer de forma muy precisa muchos fenómenos del planeta y ayudar a entender mejor su funcionamiento. Estos análisis resultan fundamentales para tomar decisiones sobre la gestión sostenible de los recursos naturales, diseñar las redes de

áreas protegidas y hacer frente a las amenazas del cambio global (Lao *et al.* 2018).

La cartografía obtenida a partir de la teledetección constituye una técnica más de información territorial, que, unida a otros datos cartográficos o estadísticos, facilita una evaluación más cierta del paisaje, necesaria para su mejor aprovechamiento o conservación (Chuvieco 1996, Lao *et al.* 2018).

La teledetección espacial y los sistemas de información geográfica en el estudio de la salud forestal

En los últimos años, el estudio de la dinámica de la vegetación ha tomado mucha relevancia para explorar la respuesta de la vegetación a diversos impactos que provoca el cambio climático. Los impactos del clima en los procesos de los ecosistemas regionales pueden demostrarse mediante la respuesta de la vegetación a la característica climática con la aplicación de la teledetección espacial (Wang *et al.*, 2020).

Determinar el estado de salud de un bosque es el objeto principal del inventario de daños forestales a escalas locales (unos cientos de km) y regionales (todo un país). Para ello se requiere aplicar un conjunto de procedimientos, entre los cuales la teledetección espacial (TE) es una herramienta utilizada para la detección, cuantificación y seguimiento de cambios producidos en la cobertura forestal, como ocurre con la defoliación por plagas y enfermedades forestales (Czaplewski 1999, Ciesla 2000, Franklin 2001, Solberg *et al.* 2007; y Adelabu *et al.* 2011), y que permite mejorar las estimaciones de daño en combinación con los datos de los inventarios (Rommel *et al.*, 2004, Haapanen y Tuominen 2008 y Schroeder *et al.* 2014). Por consiguiente, la demanda de datos anuales de campo y la frecuen-

cia de éstos, para la elaboración de inventarios extensivos e inventarios intensivos de seguimiento sanitario de los sistemas forestales, respectivamente, justifican la aplicación de la TE, más allá de lo económico.

Mediante la teledetección espacial, se puede detectar, registrar y analizar las alteraciones ocurridas en el comportamiento espectral de la cobertura vegetal, también se puede caracterizar y evaluar el estado nutricional y fitosanitario de las plantas. Proceso que se lleva a cabo a través de valores digitales de las imágenes, más una cadena de preprocesamiento de éstas, que finalmente permite diferenciar, la vegetación sana de la enferma (figura 132).

Las plagas forestales ocasionan deformaciones, disminuciones en el crecimiento, debilitamiento o incluso la muerte de los árboles, causando impactos ecológicos, económicos y sociales; la defoliación por insectos es la causa más común que afecta a la salud de coníferas y latifoliadas (Leautaud y López 2017). Se ha demostrado que el actual calentamiento global puede conducir a un incremento en la frecuencia, severidad y extensión de daños producidos por plagas forestales, con consecuencias productivas y ecológicas predecibles (Rullan 2015).

En consecuencia, para enfrentarse al creciente impacto de las perturbaciones forestales bajo el escenario de cambio climático, se necesitará el perfeccionamiento de un sistema novedoso de monitoreo de la salud forestal, la teledetección mediante la utilización de los índices de vegetación, en especial del NDVI, desempeñará un papel cada vez más importante (Mcdowell *et al.* 2015).

La implementación de la teledetección con el NDVI permitirá dar seguimiento y cuantificar los daños causados a la cobertura vegetal por plagas forestales (Jiang *et al.* 2015). Por ejemplo, Spruce *et al.* 2011 utilizaron el NDVI para identificar y dar

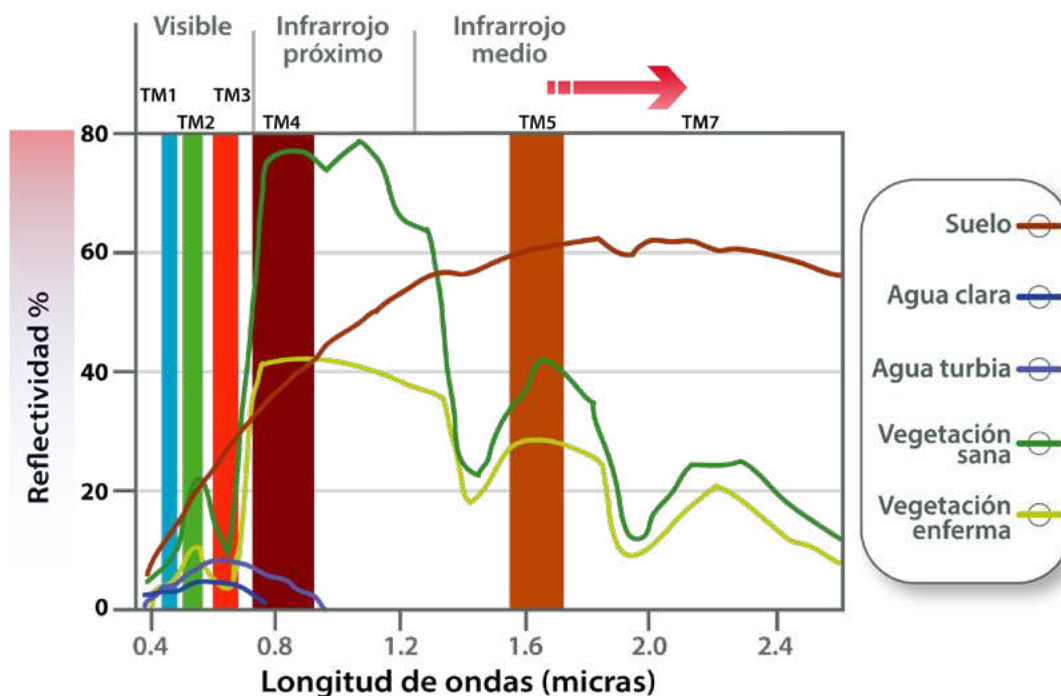


Figura 132. Comparación de firmas espectrales de vegetación sana y enferma (Hernández y García 2014).
(Gráfica redibujada: L. Arango)

seguimiento a las infestaciones por el defoliador *Lymantria dispar* Linneo, en el norte de los Estados Unidos. Olsson *et al.* 2016 emplearon datos NDVI generados con MODIS para el seguimiento de defoliaciones y lograron cuantificar áreas afectadas al norte de Suiza. De manera semejante, Schrader *et al.* 2016 utilizaron datos fenológicos, registrados con MODIS-NDVI, para estimar los daños causados por los descortezadores *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, en *Pinus contorta* Douglas y *Dendroctonus rufipennis* Kirby, en *Picea engelmannii* Parry ex Engelmann, en Colorado, Estados Unidos. También, Gomez *et al.* 2020 utilizaron sensores remotos para detectar infestaciones por el descortezador *Dendroctonus frontalis* Zimmerman en el sureste de Estados Unidos.

Cuantificación de magnitud de daños

La estimación de la magnitud de los daños o el grado de infestación o defoliación de la masa afectada por plagas se realiza generalmente de manera visual; es decir, se hacen visitas de campo siguiendo normas o criterios preestablecidos, según la plaga de que se trate; por ejemplo, índices de infestación (Cayuela *et al.* 2014); en cambio, en el ámbito de la TE, la efectividad de estas evaluaciones visuales está limitada por su carácter cualitativo, subjetivo y dependiente de la habilidad del observador que realice la inspección (Hall *et al.* 2007); por consiguiente, una buena calificación de los datos satelitales obtenidos, permite la caracterización congruente de la cubierta forestal en el espacio y en el tiempo (Hansen *et al.* 2010).

De ahí que se han incrementado los estudios para mejorar el seguimiento remoto forestal, especialmente a escalas locales, y al mismo tiempo se manifiesta la necesidad de optimizar su efectividad mediante enfoques mixtos; por ejemplo, para realizar los inventarios se utilizan mediciones de campo combinadas con observaciones mediante la teledetección satelital (Schroeder *et al.* 2014).

En términos generales, los inventarios de daños y el monitoreo remoto de las condiciones forestales comparten el mismo enfoque: extracción de datos de campo por muestreo utilizados para estimar parámetros de interés (por ejemplo, nivel de defoliación) y su cambio en el tiempo (Travaglini *et al.* 2013).

Monitoreo de insectos mediante trampas cebadas con feromonas

Jorge Enrique Macías Sámano

Los semioquímicos pueden ser usados en el monitoreo y en el manejo de plagas forestales (Baker y Heath 2005, Witzgall *et al.* 2010); sin embargo, la aplicación comercial más común es el monitoreo (Witzgall *et al.* 2010). La mayoría de estos productos usan, como cebos en trampas, copias sintéticas de feromonas (Evenden y Silk 2016).

Existen tres ventajas principales en el uso de estos compuestos, para el monitoreo de poblaciones de insectos:

- Las señales son específicas para cada especie y generalmente pocos insectos-no-objetivo son capturados.
- Las señales pueden atraer a los insectos desde grandes distancias y, por ello, también se logra monitorear poblaciones con densidades bajas de individuos.
- Se requieren cantidades minúsculas del ingrediente activo para lograr una respuesta (Witzgall *et al.* 2010).

Además del uso de feromonas, están también las caïromonas, y ambas (solas o combinadas) se usan en todo el mundo como cebos en trampas para la detección y monitoreo de escarabajos descortezadores (Jackson *et al.* 2011, Macías Sámano y Niño 2016), barrenadores de la nadera (Jackson *et al.* 2010) y lepidópteros defoliadores (Sweeney *et al.* 2006, Witzgall *et al.* 2010, Evenden y Silk 2015). Esta información contribuye en la toma de decisiones para la prevención y programas de control.

Las feromonas, en diversos tipos de trampas, se han utilizado en la captura de insectos durante determinados periodos de tiempo, lo que

proporciona información de sus periodos estacionales de vuelo (Shepherd 1979, Grant *et al.* 2002, Rocchini *et al.* 2003). En combinación con modelos fenológicos pueden ser usadas para tomar decisiones de las fechas más idóneas para la aplicación de medidas de control (Régniere y Neals 2002).

En la Colombia Británica, Canadá se utilizan para predecir la emergencia de los adultos de la palomilla *Rhyacionia buoliana* (Denis & Schiffermuller) (Lepidoptera: Tortricidae) y determinar el tiempo de aspersión de insecticidas en huertos semilleros (Heelye *et al.* 2003).

Las mezclas de feromonas de ciertas especies de *Rhyacionia* y *Eucoptina* (= *Eucosma*), ambas barrenadoras de brotes de coníferas, también atrapan especies de *Cydia*, que son barrenadores de conos de coníferas, por lo que son útiles para el monitoreo de las tres especies y determinar las aplicaciones de insecticidas para cada una de ellas (Kegley y Sturdevant 2018).

Se puede recabar información adicional con los trampeos usando feromonas, por ejemplo: proporción de sexos, estado de apareamiento, talla, condición de salud de los insectos atrapados, medición de diversidad genética, descubrir especies crípticas y delinear especies cercanamente emparentadas (Evenden y Silk 2015).

Existen sistemas operacionales de monitoreo basados en trampas cebadas para *Choristoneura fumiferana* (Clemens) (Lepidoptera: Tortricidae), principal defoliador de los bosques del Este de Canadá; con este sistema se predicen las densidades larvales en la generación subsecuente (Sanders *et al.* 1985 en Evenden y Silk 2015).

En los programas de monitoreo del defoliador *Orgyia pseudotsugata* (McDunnough) (Lepidoptera: Erebidae) las capturas en trampas cebadas con feromonas combinadas con muestreos de masas de huevecillos, predicen las concentraciones de poblaciones y las defoliaciones potenciales en los rodales de *Pseudotsugae* (Shepherd *et al.* 1985 en Evenden y Silk 2015).

El picudo *Rhynchophorus palmarum* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae) barrenador del cocotero y vector de la enfermedad del anillo rojo, es monitoreado exitosamente por medio de trampas cebadas con su feromona y acetato de etilo; esta técnica ha permitido el desarrollo de conocimientos básicos para el manejo de ésta y otras especies de *Rhynchophorus*. En trampas adecuadas para capturar gran cantidad de insectos, a la feromona se le adiciona una fuente de alimento, como caña de azúcar, impregnada con un insecticida; con ello se logra aniquilar gran cantidad de insectos (Lohr y Pablo Parra 2014, Faleiro *et al.* 2016).

Debido a que las trampas cebadas con feromonas son más eficientes que otros métodos de muestreo, son aptas para detectar la introducción y dispersión de especies invasoras. El monitoreo e intercepción constituyen la primer línea en la prevención mundial aplicada en puertos de entrada y, últimamente, también son usadas en los lugares de origen, para coleccionar información de algunas especies antes de que lleguen a nuevos sitios; de esta manera se dispone de compuestos y trampas previamente evaluados y se mejora la detección de especies exóticas. Para ello se utilizan trampas de varios tipos con distintos semioquímicos y atrayentes comerciales (Jackson *et al.* 2010, Rassati *et al.* 2015, Agustin *et al.* 2015, FAO 2016). En Canadá y Estados Unidos se monitorean los avances de defoliadores, barrenadores y descortezadores exóticos ya es-

tablecidos como *Lymantria dispar* (Linnaeus) (Lepidoptera: Erebidae), *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), *Tomicus piniperda* L. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), *Tetropium fuscum* (Fabricius) y *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae) y *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae).

Por ejemplo, *Scolytus schevyrewi* Semenov-Tian-Shanski y *Xyleborus glabratus* Eichhoff (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) son detectados por trampeos, que en algunos casos permiten delimitar áreas de donde los insectos podrían ser erradicados (Evenden y Silk 2015).

Monitoreo de insectos descortezadores de coníferas

La relación entre descortezadores y sus hospederos es dinámica y compleja; depende de muchos factores (densidad poblacional de ambos, respuesta defensiva de los árboles, factores de estrés, diversidad de especies, edad de los rodales, otros factores bióticos, condiciones climáticas prevalecientes, etc.), por lo que, en una localidad determinada, puede haber una gran variación del número de insectos.

El monitoreo utiliza trampas cebadas como unidades de muestreo de insectos; por ejemplo, una trampa multiembudos tiene una área de atracción de aproximadamente 0.1 ha, pero se afecta por factores, como la densidad, especie del arbolado, elevación, condiciones climáticas, etc. así, su capacidad y eficiencia depende de las condiciones en que se instale la trampa.

Es conocido que, en los bosques de pino de México las especies de los géneros *Dendroctonus* e *Ips*, son los principales factores de mortandad, por ello, es importante monitorearlas.

El uso de trampas con feromonas de estas especies nos permitirá colectarlas, aunque el número de individuos presentes, en un momento dado, sea pequeño. Los principios biológicos y ecológicos, así como la instalación y operación de trampas cebadas con feromonas sintéticas, para monitorear especies nativas de *Dendroctonus* e *Ips* en Mesoamérica, están descritos en Macías-Sámano y Niño-Domínguez 2016.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros importantes para monitorear descortezadores.

Sitios

Los sitios idóneos para monitorear descortezadores, son bosques de pino que recientemente recibieron saneamiento o sufrieron un incendio.

Se recomienda colocar las trampas lejos de árboles donde estén llegando o saliendo insectos objetivo, pues en caso contrario se aumentará el número de árboles atacados creando un nuevo foco de infestación; además, atraparía buena parte de la población que emerja del árbol y sesgaría el número de insectos atrapados, en comparación con otras trampas. Al final, se tendrá una diversidad de especies y número de individuos no representativos.

Las características de un sitio óptimo de trapeo son:

- Fácil acceso para la colocación y servicio de trampas.
- Seguridad y protección para evitar el vandalismo.
- Cercanía de un responsable del cuidado y mantenimiento de las trampas.

La aceptación de la gente de la localidad y su conocimiento del personal oficial, por ejemplo, CONAFOR, CONANP, SEMARNAT y Gobierno del Estado, es clave para la seguridad y resultados del monitoreo; por ello deben de ubicarse de

común acuerdo con esas instancias y se recomienda dar una explicación clara de los beneficios del monitoreo, de la función que tienen las trampas y de lo que contienen.

Colocación de trampas

Las trampas más comúnmente usadas son multiembudo en presentaciones de 8, 12 y 15 embudos. Nunca deben colgarse en ramas de pinos vivos u otra conífera, pero sí en un poste metálico, árboles o arbustos latifoliados. Es válido colgarlas en árboles muertos. En bosques de pino y con escaso arbolado muerto, se pueden tender cuerdas de un árbol a otro y colgar las trampas. La distancia entre la trampa y un pino debe de ser mayor a 20 m (figura 133).



Figura 133. Trampa multiembudos los listones de colores corresponden a semioquímicos específicos que forman la mezcla de atracción. (Fotografía: D. Cibrián)

La altura será tal, que el vaso colector de la trampa quede a medio metro del piso. Es necesario que estén libres, es decir no bloqueadas o contra arbustos y malezas.

Se debe asegurar que permanezcan en su sitio, bien afianzadas con alambre, en la parte superior.

Para evitar que los insectos capturados escapen y se dañen entre ellos, las trampas deberán llevar, en sus vasos colectores, una pastilla de plástico impregnado con insecticida (Vapona o un pedazo de collar antipulgas para mascotas). El insecticida se mantiene activo durante dos o tres meses; sin embargo, si pasan más de 15 días sin recolectar los insectos, éstos se acumulan, cubren la pastilla y el insecticida deja de funcionar. Durante la época de lluvias los descortezadores vuelan en menor número, por lo tanto, habrá que considerar ese período.

Colocación de cebos y preparación de trampas

Todos los semioquímicos son volátiles y constantemente se están evaporando, aun dentro de las bolsas empaquetadas de origen. Por ello, si no se usan, deberán mantenerse en sus bolsas y dentro de un congelador por debajo de -10°C , y solo se sacarán para usarlos.

El dispositivo de liberación y el número de componentes que lo constituyan, dependen de la especie de descortezador objetivo.

Los cebos se empacan en bolsas de aluminio perfectamente etiquetadas con el nombre de la compañía, el número de lote y el nombre del cebo.

No se recomienda colocar feromonas para especies de un género en la misma trampa de otro género. Se deberán utilizar trampas separadas, unas para *Dendroctonus* spp. y otras para *Ips* spp. Esto es crítico para algunas especies del mismo género, pues el sistema de comunicación es tan

preciso que, por ejemplo, la feromona de *Ips grandicollis* Wood repele individuos de *Ips lecontei* Swaine y del género *Dendroctonus*.

Recolecta de insectos atrapados

Antes de recolectar los insectos se revisa que cada trampa siga firmemente colocada, que el vaso colector esté en su lugar y que el, o los cebos siguen colocados, intactos, en el embudo.

De encontrar anomalías (trampa tirada, vaso removido, roto o perdido) corregir el problema para que esa trampa sea nuevamente útil, y registrar el número de trampa para su correcta interpretación durante el análisis de las capturas.

Se recomienda que, previo a salir al campo, los frascos de colecta sean etiquetados con número sucesivo y fecha; se sugiere utilizar marcadores permanentes o etiquetas de papel con los datos escritos a lápiz.

Procesamiento de muestras colectadas

Para esta parte del monitoreo se requiere tiempo y paciencia. Aquí es cuando se hace el registro histórico de la población de descortezadores y se registra la identidad y número de insectos atrapados. Se debe enfocar en la especie del descortezador objetivo. El proceso comienza con sacar las bolsas del refrigerador (sacar únicamente las que se procesarán ese día). El contenido de cada bolsa es depositado sobre una charola amplia y de color claro. Una charola por bolsa; nunca vaciar dos o más bolsas en una charola, no importa qué tan amplia sea. Si es posible, etiquetar la charola para saber siempre de dónde proviene el material que contiene.

Al extraer su contenido; si es necesario, utilizar una piseta con agua para remover todo el material inútil.

Posteriormente, con pinzas entomológicas realizar la inspección y separación, por grupos,

de los insectos capturados. Después de separar el material colectado, se procede a identificarlo con las claves preparadas por Armendáriz-Toledano *et al.* 2017 para *Dendroctonus* y las de Douglas *et al.* 2019, para *Ips*.

Mantenimiento del sistema de trampas

El periodo de vida estimado de los cebos en condiciones de campo es de un mes y medio y el del insecticida tres meses. Por ello, dependiendo de los objetivos del monitoreo y del tiempo que estarán funcionando las trampas, tanto los cebos como el insecticida, deberán ser renovados para mantener un funcionamiento adecuado. Es importante revisar el estado de las trampas, su colocación y limpieza, pues con el tiempo se van llenando de basura y telarañas que obstruyen conos y vasos colectores.

Utilidad de la información producida por los monitoreos

Existen algunos ejemplos terminados y publicados, en México y Centro América, del uso de trampas para monitorear *Dendroctonus frontalis* Zimmerman e *Ips calligraphus* (Germar) (Macías-Sámano *et al.* 2004, Jaén Lara 2013).

Aunque en los últimos años ha habido muchos intentos de monitorear descortezadores con trampas cebadas en México (Macías-Sámano y Zúñiga 2016), las mayores limitantes para obtener los resultados esperados han sido de dos índoles: taxonómica y del número de insectos atrapados.

Dada la gran cantidad de insectos (incluidos competidores y depredadores), los encargados del trampeo comienzan a pensar que también esa información es importante y se enfrentan con el trabajo de contar e identificar varias especies y, al no tener los recursos humanos especializados, las muestras quedan almacenadas.

El monitoreo, al ser un tipo de estimación, debe de tener balance entre la capacidad de procesamiento de muestras, el número de trampas y el tiempo durante el cual estarán ubicadas; eso definirá, de facto, el número de muestras a trabajar.

A continuación, se presentan gráficas construidas con datos procedentes de monitoreos efectuados en Chiapas y en Oaxaca (figura 134). Al compararlas podemos ver varios aspectos que vale la pena destacar: Para el periodo septiembre-diciembre en la región de Chiapas, se presentan capturas muy bajas (decenas respecto a los miles de individuos capturados en Oaxaca en las mismas fechas). Estas poblaciones son las que causarán mortalidad a principios del siguiente año.

El monitoreo en Chiapas no se realizó durante abril y principios de mayo; para finales de ese mes, y durante junio, julio y principios de agosto las capturas fueron bajas; crecieron en septiembre, octubre y noviembre, y descendieron a partir de diciembre (figura 134A). En cambio, el de Oaxaca, al cubrir todo el año, claramente marcó dos picos (figura 134B).

Estos ejemplos indican la importancia de establecer monitoreos por año completo para tener idea de cuándo y cuantos periodos principales de vuelo tienen las especies objetivo por localidad.

Si analizamos un poco más detenidamente la gráfica de Oaxaca y la usamos para planear, no únicamente las actividades futuras de monitoreo, sino las de combate, podemos ver lo siguiente: a partir de que se efectuó un muestreo de poblaciones en el área, y dado que se realizó en todo un año, es razonable asumir que las poblaciones presentan dos picos principales de vuelo y que los futuros monitoreos con trampas cebadas pueden ser realizados, con cierta precisión, únicamente durante los meses que ocurren los

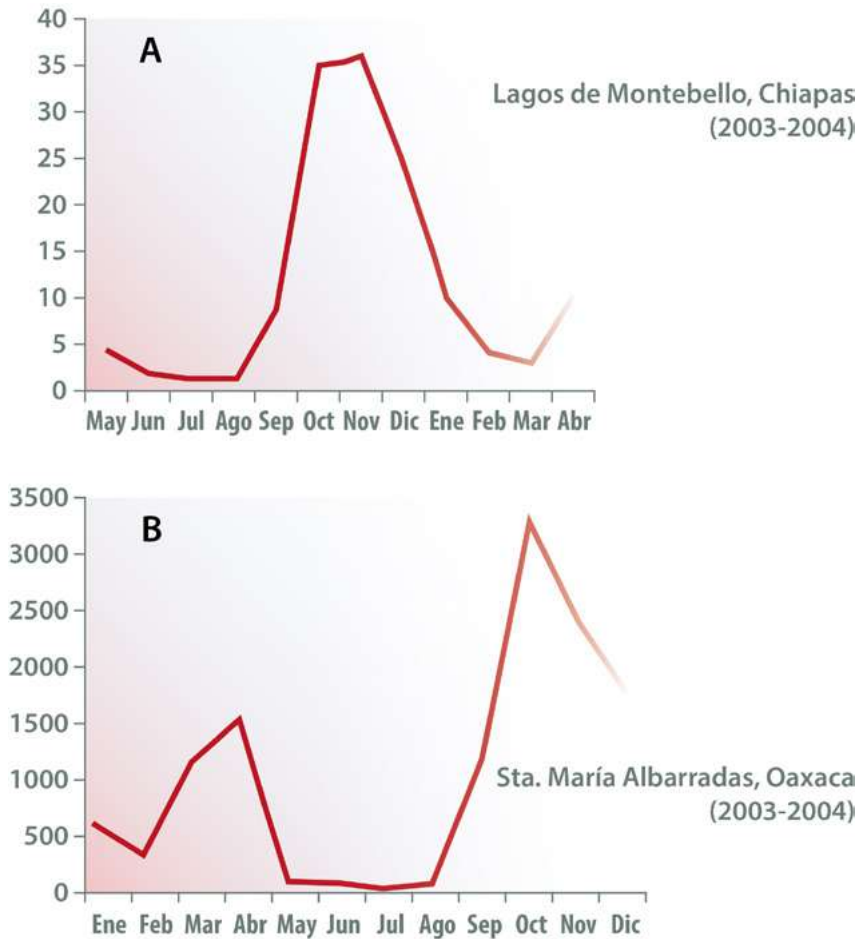


Figura 134. Fluctuación del número de individuos volando y atrapados de *D. frontalis* en trampas cebadas en dos localidades diferentes, Chiapas **A** y Oaxaca **B**, México. El eje de las X's son meses del año y el de las Y's son el número de individuos totales de esas especies colectados en trampas cebadas con semioquímicos. (Gráficas modificadas de Macías-Sámano *et al.* 2004. por E. Llanderal)

picos, ya no durante todo el año; y tomar estos conteos como “medidas anuales”.

Si bien es razonable pensar que, debido a factores locales, la presencia de los picos podría variar, también se podrían tomar como estables, hasta que no se tengan más datos. Por lo tanto, se daría de facto, una disminución de insumos (materiales y humanos) para continuar la actividad anual. Así mismo, en los meses consecutivos a estos vuelos, y tomando en cuenta el ciclo

biológico del descortezador, ocurrirán infestaciones y comenzará a aparecer arbolado verde afectado (círculos verdes en la (figura 135).

El inicio de cada pico de vuelo marca el tiempo idóneo para comenzar la inspección terrestre y aérea de los nuevos focos de infestación, por lo que, haciendo una detección temprana, los focos pueden ser controlados (saneados) cuando están comenzando, y ahorrar tiempo y recursos, mejorando el manejo de estas plagas.

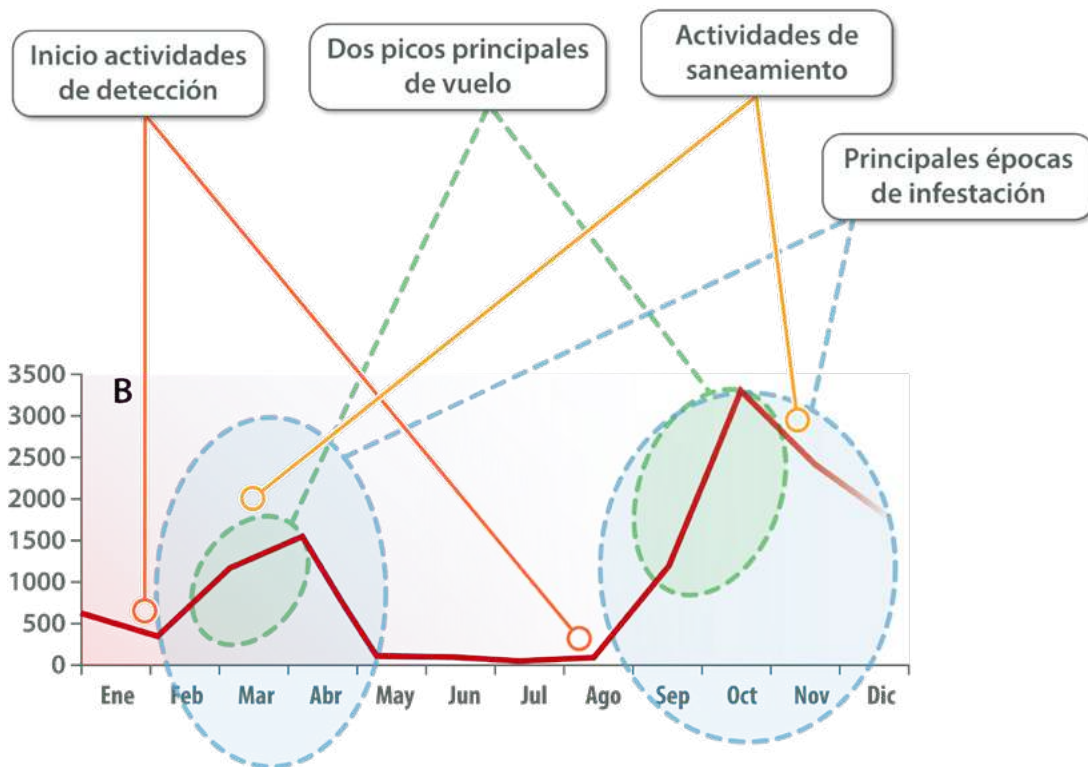


Figura 135. Monitoreo con trampas cebadas con la feromona y caíromona de *D. frontalis* y su relación con medidas de saneamiento forestal en Santa María Albarradas, Oaxaca, durante 2003 y 2004. (Infografía: E. Llanderal)

A la larga, con varios monitoreos anuales, se van conociendo los números de individuos de las especies objetivo y sus vuelos masivos.

Eventualmente estos números se pueden correlacionar con el de infestaciones que existen cerca a las áreas de monitoreo.

Esta información, aunada a parámetros silvícolas y a información biológica y ecológica de las interacciones del descortezador con el pinar, será la base de modelos predictivos para su posterior manejo.

Monitoreo de plagas en ambientes urbanos

David Cibrián Tovar y Víctor Javier Arriola Padilla

Se describe un ejemplo de monitoreo de una plaga exótica, el psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore, el cual fue manejado mediante una táctica de control biológico clásico.

El insecto se introdujo a México en el año 2000, sus infestaciones fueron tan severas que obligaron a realizar una campaña de control biológico clásico con el parasitoide *Psyllaephagus bliteus* Riek, originario de Australia.

Para el monitoreo de poblaciones de ambas especies se utilizaron trampas amarillas descritas a continuación; las cuales pueden ser utilizadas para monitorear otros voladores pequeños (Cibrián-Tovar *et al.* 2002, Dahlsten 2003, Dahlsten *et al.* 2005 y Cibrián-Tovar 2015).

Elaboración de trampas

La elaboración de trampas es sencilla, se utilizan dos tapas plásticas transparentes de 10 cm de diámetro. Una tapa se pinta de amarillo, la otra queda transparente y se le coloca una capa fina de aceite de motor limpio (figura 136).

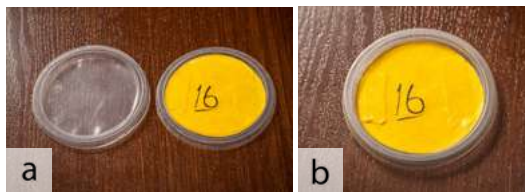


Figura 136. Trampa amarilla. (a) Partes de la trampa. (b) Lista para su instalación en campo. (Fotografías: E. Llanderal)

Tapa amarilla. A una tapa nueva se le corta la orilla (figura 137a), el borde restante se secciona en ocho cortes equidistantes (figura 137b), se

lija la cara interior (figura 137c); al pintarla, el color debe ser uniforme (figura 137d). Esta tapa se cambia cuando el color se degrada y ya no se aprecia a distancia, pues su función es atraer visualmente los insectos. El tiempo de vida útil varía de 3 a 6 meses dependiendo del manejo.

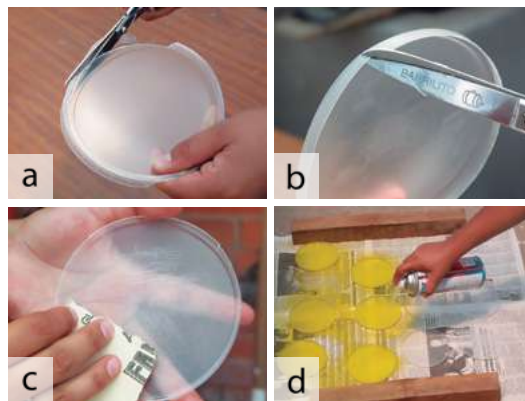


Figura 137. Elaboración de trampas amarillas. (a) Corte de la orilla de la tapa. (b) Seccionar el borde restante en ocho secciones equidistantes. (c) Lijar la cara interior. (d) Pintar homogéneamente las tapas. (Fotografías: V. Arriola)

Tapa con aceite. A la tapa transparente se le aplica una capa fina de aceite para motor de automóvil, del más espeso (monogrado), con el propósito de que los adultos de *G. brimblecombei* y *P. bliteus* se adhieran (figura 138).

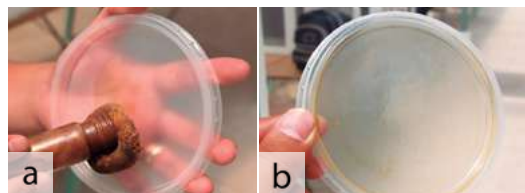


Figura 138. Aplicación del aceite, en la cara externa una capa fina, sin escurrimiento. (Fotografías: V. Arriola)

Colocación de trampas en campo

La colocación de la trampa en el árbol debe ser vertical dentro del follaje, cuidando que sea claramente visible para que pueda ser observada a distancia por los insectos; la altura depende de las ramas (figura 139). Para ello se seleccionan árboles que tengan abundante infestación y follaje (figura 140).



Figura 139. Instalación de la trampa amarilla en follaje de *Eucalyptus camaldulensis*. (Fotografía: L. Arango)



Figura 140. Colocación de trampas en campo con ayuda de un clip blinder, la trampa se fija en una ramilla. (Fotografía: V. Arriola)

Los árboles en que se instalen las trampas pueden estar en parques, vialidades o camellones, generalmente se coloca una trampa por árbol.

Un sitio está constituido por diez trampas, cantidad estándar en el país para realizar comparaciones entre sitios. Los aspectos técnicos mencionados se basan en la Norma Oficial Mexicana NOM-EM-002-RECNAT-2002 (SEMARNAT 2002)

que establece los lineamientos para el combate y control del psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei*.

Recolección de trampas

Después de una semana de la colocación en campo, se cambia la tapa que tiene aceite por una nueva; el cambio es obligado, ya que al degradarse el aceite por factores ambientales (agua, radiación solar, etc.) los insectos se descomponen.

Para el traslado de las tapas al sitio de lectura o laboratorio, se colocan una sobre otra hasta diez; se protege el conjunto con una tapa etiquetada que debe mencionar sitio, número de colecta, fecha de colocación y retiro; para sostener el apilamiento, se utiliza cinta adhesiva (figura 141).



Figura 141. Apilamiento de tapas para el traslado. (Fotografía: L. Arango)

Conteo y registro

Para el conteo de psílidos se utiliza una plantilla circular dividida en doce secciones iguales que se fija en la parte inferior de la tapa con insectos; esto ayuda a facilitar el registro de cada sección y a no sobreestimar o subestimar el número de psílidos (figura 142). Se cuenta la cantidad de machos y hembras de psílidos y parasitoides;

también se pueden contabilizar otros insectos: pulgones, chicharritas, avispas, etc.

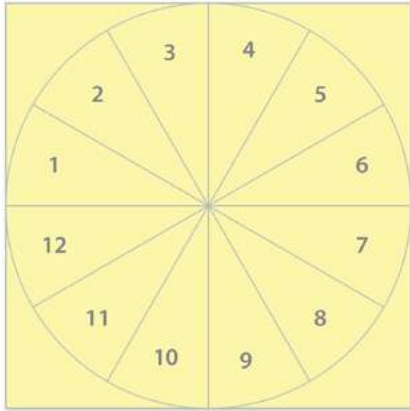


Figura 142. Plantilla circular utilizada para el conteo de insectos.

Cuando se capturan grandes poblaciones se utiliza la siguiente metodología para agilizar el conteo:

- Si la cantidad de insectos que se estima no pasa de 100, se cuentan todas las secciones de la plantilla.
- Se cuentan las secciones alternas si la cantidad de psílidos atrapados se encuentra entre 100 y 200; se multiplican por dos para estimar las secciones que no se contabilizaron.
- Si existen más de 200 psílidos atrapados se cuentan una sección si y dos no; al final se multiplica por tres para estimar el número de insectos en el resto de las secciones.

Para el concentrado de datos se elabora un formato que permita registrar los valores de interés, como localidad (con coordenadas geográficas, fecha, responsable y número de recolecta).

En columnas se registran los datos de captura de las especies de interés, tanto fitófagos como enemigos naturales y otros asociados (figura 143).



Figura 143. Trampa con gran número de insectos capturados y formato de registro. (Fotografía: V. Arriola)

Resultados del programa de control biológico

El uso de estas trampas en varios Estados del país, permitió conocer el establecimiento del parasitoide liberado y su impacto en las poblaciones del hospedante hasta que se declaró que el programa tuvo éxito.

Se sugiere utilizar este tipo de trampa para monitorear especies pequeñas como pulgones, machos de escamas y otros chupadores.

En Cibrián 2015 se describen los detalles del programa de control biológico de *Glycaspis brimblecombei* mediante el parasitoide *Psyllaephagus bliteus* (figura 144 y 145).



Figura 144. Momia de *Glycaspis brimblecombei* parasitada por *Psyllaephagus bliteus*. (Fotografía: E. Llanderal)



Figura 145. *Psyllaephagus bliteus*. (Fotografía: P. Gross)

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y EVALUACIÓN DE RIESGO EN SANIDAD FORESTAL

Honoría Chávez González, Abel Plascencia González
y Alejandro de Felipe Teodoro

Los Sistemas de Alerta Temprana conocidos como SAT, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico), de carácter previsible, y se recolectan y procesan datos e información, obteniendo pronósticos o predicciones temporales de su acción y posibles efectos (Matveeva 2006).

El Sistema de Alerta Temprana y Evaluación de Riesgo (SATyER) en Sanidad Forestal, es un conjunto de componentes relacionados entre sí, que proveen información a los diversos actores: autoridades ambientales, propietarios o poseedores, silvicultores y prestadores de servicios vinculados con áreas forestales expuestas a una posible amenaza de plagas.

Su objetivo es proporcionar información a los actores mencionados, para que tomen las mejores decisiones; permitiéndoles actuar oportuna y eficazmente para reducir o evitar daños. Se integra de cuatro componentes (figura 146), que a su vez, abarcan una serie de acciones que se describen a continuación (adaptado de CENAPRED 2017).

Conocimiento previo, identificación y ubicación de los riesgos asociados con la presencia y ataque de plagas forestales.

Vigilancia y monitoreo continuos, basados en conocimientos científicos y previos de los riesgos.



Planes de respuesta y manuales de procedimientos (probados y validados).

Mecanismos de comunicación ágiles y perfectamente definidos.

Figura 146. Componentes del Sistema de Alerta Temprana y Evaluación de Riesgo en Sanidad Forestal (SATyER).

Conocimiento del riesgo

Los riesgos surgen de la combinación temporal y espacial de diversos factores ambientales, y las vulnerabilidades de un ecosistema forestal expuesto a ataques de plagas.

Se integran con Mapas de Alerta Temprana que muestran las áreas que requieren atención prioritaria por su alto nivel de riesgo, siendo una herramienta que permite focalizar las acciones operativas.

En la Comisión Nacional Forestal, actualmente se generan mapas mensuales para dos de los principales agentes causales de daño, descortezadores y defoliadores (figuras 146 y 147). Tam-



Figura 147. Mapa de riesgo de presencia de insectos descortezadores (Agosto 2018).



Figura 148. Mapa de riesgo de presencia de insectos defoliadores (Agosto 2018).

bién trimestralmente, se publican para escarabajos ambrosiales exóticos (figura 149). El reto es ampliar la elaboración de mapas de alerta temprana para cualquier plaga que ponga en riesgo los ecosistemas forestales.



Figura 149. Mapa de riesgo de presencia de *Euwallacea* (Jul. a Sept. 2019).

Medición y monitoreo de plagas forestales

La vigilancia continua de plagas en ecosistemas forestales, que se basa en el conocimiento científico y previo del riesgo, permite la detección temprana de problemas fitosanitarios, focalizando los recursos y esfuerzos para el oportuno, combate, control y manejo de plagas forestales, minimizando daños a los ecosistemas.

Las acciones involucradas son, entre otras:

- mapeo aéreo
- monitoreo terrestre
- diagnóstico fitosanitario
- generación de informes técnicos fitosanitarios
- implementación y seguimiento de programas específicos de vigilancia, como el de Escarabajos Ambrosiales Exóticos y el uso de la plataforma y su aplicación móvil "Sistema Integral de Vigilancia y Control Fitosanitario Forestal" (SIVICOFF).

Difusión y comunicación

Se establecen vías, instrumentos y protocolos apropiados de comunicación a diferente nivel territorial (estatal, regional, nacional) y de actores involucrados (autoridades, propietarios, prestadores de servicios forestales, silvicultores, asociaciones, instituciones de enseñanza e investigación y ciudadanos en general).

La información que se difunda debe ser clara, comprensible y útil, de tal forma que se permita su uso y replicación en todo momento y debe llegar a las personas interesadas.

El esquema de difusión y comunicación se ha establecido mediante la constante actualización del SIVICOFF 2020 (<http://sivicoff.cnf.gob.mx/Default.aspx>) (figura 150).



Figura 150. Vista de la página frontal del SIVICOFF.

Como parte de este esquema se tiene: la difusión interna de reportes del “Programa de Vigilancia de Escarabajos Ambrosiales”, la distribución a través de correo electrónico oficial de los “Mapas de Riesgo de Presencia de Plagas Forestales” y su publicación en la página web de CONAFOR (<https://www.gob.mx/conafor/>), el seguimiento y actualización de información a través del Centro Nacional de Evaluación de Riesgo y Alerta Fitosanitaria Forestal (CENERAFF) y la difusión del SATyER en foros y medios de comunicación (figura 151).



Figura 151. Centro Nacional de Evaluación de Riesgo y Alerta Fitosanitaria Forestal en CONAFOR.

Capacidad de respuesta

Se refiere a la integración de planes de respuesta o de operación para saber qué hacer ante una posible contingencia fitosanitaria, incluyendo los protocolos de tratamiento por agente causal, género o especie de plaga forestal.

La capacitación, los ejercicios de preparación y los simulacros son esenciales para garantizar una rápida y eficaz respuesta para proteger la salud y permanencia de los ecosistemas forestales.

Una de las tácticas que integran la respuesta es la asignación de recursos a través de reglas de operación en el componente cuatro “Protección Forestal”, que incluyen la operación de brigadas de sanidad forestal, subsidios a tratamientos fitosanitarios y atención de las contingencias.

El fortalecimiento de los Comités Técnicos Estatales de Sanidad Forestal, la generación de nuevas alternativas de combate y control fitosanitarios a través de investigación científica aplicada, el desarrollo de protocolos preventivos,

planes y manuales de procedimientos, así como la capacitación en el Sistema de Comando de Incidentes (SCI) para la atención de posibles

contingencias fitosanitarias, son otras acciones que se desarrollan en el marco de la capacidad de respuesta del SATyER (figura 152).



Figura 152. (a) y (c) Aplicación de tratamientos fitosanitarios. (b) Explicación del Sistema de Comando de Incidentes en el Estado de Oaxaca. (Fotografías: CONAFOR)

EVALUACIÓN DE IMPACTOS CAUSADOS POR PLAGAS FORESTALES

David Cibrián Tovar y Jorge Enrique Macías Sámano

En este capítulo se revisan algunos aspectos conceptuales del término “impacto”; del análisis económico, y de los costos y umbrales, con ejemplos de lo practicado en México; además, se describen los impactos causados por un descortezador y un defoliador en los bosques de Canadá.

Conceptos

Una primera definición de impacto fue desarrollada por los participantes en una reunión celebrada en 1972 en Marana, Arizona, organizada por el Servicio Forestal de Estados Unidos; para este grupo, “impacto es la resultante de los efectos netos acumulados de insectos y patógenos, la cual causa modificaciones de las actividades de manejo para los usos y valores de los recursos forestales”.

Otra definición, de Leuschner 1980, dice que: “impacto es simplemente cualquier cambio causado a las condiciones del bosque por una población de insectos, reconociendo que este cambio puede ser positivo o negativo”.

Para White y Schneeberger 1981, “impacto de las plagas es el efecto neto ocasionado por éstas en cualquier recurso forestal y que requiere de acción de manejo, ya sea en el momento actual o futuro”. Una última definición, menciona que el “impacto ocurre cuando los efectos de los insectos producen una respuesta de la gente”, esta fue desarrollada en referencia a las infestaciones por la palomilla gitana *Lymantria dispar dispar* Vnukovskij en Estados Unidos.

El impacto económico es el que resalta más que los otros dos, se refiere al efecto de los insectos

en la plusvalía de la producción de bienes y servicios. Se acepta que la evaluación de impactos ecológicos o socioeconómicos, causados por una plaga forestal, es una visión del hombre y, en consecuencia, su valoración es antropocéntrica (Liebhold 2012). Se sabe que las plagas no solo ocurren e impactan un sitio, también tienen efectos fuera del mismo como sería una sedimentación río abajo o un incremento de especies en un hábitat particular (Averill *et al.* 1994).

Por lo anterior es importante medir el impacto que las plagas causan, y aportar esta información en la estructura del MIPF. El impacto variará en importancia y consecuencias dependiendo de los escenarios de manejo que sean afectados.

En los países desarrollados, para medir las poblaciones plaga que afectan a los árboles, se tienen métodos que integran el daño en un valor estimado de los impactos negativos sobre los recursos forestales (Stark y Waters 1987). Sin excepción, estos métodos parten de un profundo conocimiento biológico y ecológico de los insectos, el bosque y su interacción dinámica.

Análisis Costo-Beneficio (ACB)

Un aspecto crítico del análisis costo-beneficio (ACB) del MIPF es establecer un vínculo confiable

entre el manejo de las intervenciones y el cambio en el flujo de las ganancias económicas del bosque (Holmes *et al.* 2008). Sin embargo, debido a los grandes intervalos de tiempo entre las intervenciones de cultivo del bosque y la cosecha, casi siempre existen influencias como: modificación de precios, cambios en el comportamiento de la plaga, cambios de clima, etc. que confunden el análisis (Niquidet *et al.* 2015).

En un ambiente de mercado, el precio indica la valía de un bien, y la ganancia es el valor marginal que queda después del costo de producción. Existe el mercado de madera y resinas; sin embargo, otros beneficios del bosque, como la reducción en contaminantes, producción de agua, paisajes estéticos y oportunidades de recreación, pueden no tener mercado y carecer de precio como indicador de su valía (Rosenberger *et al.* 2012).

Para realizar el análisis económico se debe entender cómo las tácticas de manejo de plagas modifican o previenen el daño económico, y a partir de ello se puede analizar el costo-beneficio de los esfuerzos de control. Los beneficios del manejo de plagas son los daños evitados y se evalúan contra el costo de la labor y los recursos usados en el MIPF (Niquidet *et al.* 2015).

Costos efectivos y análisis de umbrales

En condiciones forestales naturales un ACB completo raramente ocurre, los manejadores se enfocan a implementar el programa tan efectivamente como les sea posible. El objetivo puede ser un volumen de madera a salvar, un porcentaje menor de árboles infestados, la disminución de los niveles de defoliación para mantener el bosque verde, o bien reducir el tamaño de la población plaga. El ACB puede enfocarse en obtener los objetivos a los costos más bajos y

entonces se denomina Análisis de Costos Efectivos (ACE) (Niquidet *et al.* 2015).

Análisis del impacto económico

En Estados Unidos y Canadá el sector forestal es componente dominante de varias economías regionales; los hacedores de políticas frecuentemente se preocupan por los efectos indirectos del sector forestal en otros sectores.

El análisis de impacto económico (AIE) se emplea para cuantificar el daño de una plaga forestal en una región económica o macroeconómica. Los modelos Input-output (IO) son los comúnmente usados para este análisis; sin embargo, su uso sobrestima los beneficios del control (Hamilton *et al.* 1991 y Niquidet *et al.* 2015). Los modelos de Dinámica Regional de Equilibrio Computable (Regional Dynamic Computable Equilibrium CGE), son un medio para solucionar las limitaciones del análisis IO; no obstante, estos modelos son muy sensibles a los impactos en los supuestos del CGE, particularmente respecto a los factores de movilidad y costos de oportunidad (Niquidet *et al.* 2015).

Análisis de impactos de plagas forestales en México

Evaluar los impactos ecológicos, económicos o sociales de infestaciones causadas por las plagas es una tarea difícil y requiere abordar su estudio según el escenario de manejo.

En este libro reconocemos los escenarios que van, desde los bosques naturales inmersos en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, administrado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) de la SEMARNAT, hasta los bosques naturales bajo manejo maderable, las unidades de producción de germo-

plasma, los viveros forestales, las plantaciones forestales y los bosques de áreas urbanas.

Lo anterior requiere estudios específicos que en su mayoría no existen o solo se dispone de ejemplos con poca profundidad científica. Aún con estas limitantes decidimos utilizar la poca información generada en cada caso para presentar ejemplos de impactos, porque que es tema que requiere atención urgente de los responsables de la administración pública encargada de la atención forestal.

Impactos en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP's)

Las grandes infestaciones que ocurren en las ANP's son percibidas por los administradores, más desde el punto de vista ecológico que desde el económico; sin embargo, hay presiones sociales de importancia, casi siempre de los dueños de predios incluidos en las ANP's donde con frecuencia combaten las infestaciones. Cibrián *et al.* 2014 realizaron un diagnóstico de la condición fitosanitaria causada por insectos descortezadores en la ANP "Reserva de la Biósfera Sierra Gorda", encontraron infestaciones tan severas que obligaron a la ejecución de tratamientos de combate por los administradores de la Reserva, a pesar de las restricciones a la intervención en las ANP's.

Impactos en predios bajo manejo forestal productivo o recreativo

Los predios pueden ser Unidades Productoras de Germoplasma (UPG's), viveros, plantaciones con fines maderables, plantaciones con fines no maderables, bosques naturales bajo aprovechamiento forestal y vegetación forestal en áreas urbanas. Con excepción del último caso, en los otros se tienen utilidades económicas por la venta de productos maderables o no maderables. Sus propietarios y administradores detec-

tan con mayor rapidez la muerte de árboles, defoliación, deformación, cambios de color, achaparramiento, muerte de frutos y semillas, y muerte de raíces.

Impacto en la producción de semillas

En general, los árboles producen más semillas de las que necesitan para su reproducción, a pesar del consumo de frutos y semillas durante su desarrollo (Hedlin *et al.* 1980, DeBarr *et al.* 1993 y Turgeon *et al.* 1994).

Una forma de saber el monto de la depredación por insectos, en generaciones de frutos o conos en desarrollo, es mediante tablas de vida. Se ilustran tres ejemplos, de varios disponibles en la literatura mexicana.

Caso *Pinus montezumae* Lamb.

En el Municipio de San Martín Texmelucan, Puebla, en el Campo Experimental de San Juan Tetla, perteneciente al Ex-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), Arceo y Cibrián, 1980, evaluaron la mortalidad de conos y semillas en *Pinus montezumae* en una área semillera, mediante tabla de vida generacional para conos. En ocho árboles seleccionados al azar dentro del área, se marcaron 1000 conillos recién polinizados; cada conillo fue revisado mensualmente, iniciando en junio de 1978 y concluyendo en noviembre de 1979, fecha en que se recolectaron los conos sobrevivientes.

En el cuadro 12 se muestran los resultados finales de la medición.

Caso *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Murray

En el Municipio de Pachuca, Hidalgo, en rodales naturales, Contreras *et al.*, 1991, evaluaron la mortalidad que ocurrió en una cohorte de 1,113 conillos, de la formación a la madurez; el estudio

lo realizaron con tabla de vida, del 8 de marzo al 20 de octubre de 1989, con registro trisemanal de cada cono en desarrollo. En el cuadro 13 se muestran los resultados.

Cuadro 12. Impacto de los factores de mortalidad en 1000 conos de *Pinus montezumae*. Campo Experimental San Juan Tetla, Pue.

Factor de mortalidad	Impacto	
	Conos muertos	% del total
<i>Conophthorus ponderosae</i> (Coleoptera: Scolytinae)	410	41.0
<i>Cecydomyia</i> sp. (Diptera: Cecidomyiidae)	44	4.4
<i>Dioryctria</i> sp.	34	3.4
Desconocido	32	3.2
Roya de los conos, <i>Cronartium conigenum</i>	75	7.5
Total	595	59.5
Cosecha de conos aparentemente sanos o con porciones dañadas	405	40.5

Caso *Pinus cembroides* Zucc.

Martínez *et al.*, 1985, describieron la mortalidad de una cohorte de 1000 conos, marcados desde flores, evaluándolos individualmente cada 21 días, de julio de 1981 a octubre de 1982; el barrenador *Conophthorus edulis* Hopkins, la chinche semillera *Leptoglossus occidentalis* Heidemann junto con un factor desconocido, la mosquita agalladora de conos *Cecydomyia* prob. *bisetosa*, y el barrenador de ramas *Retinia arizonensis* (Heinrich) causaron la muerte de 994 conos, solo llegaron a la madurez seis conos, que fueron cosechados exitosamente (cuadro 14). Estos ejemplos de caso, muestran la importancia de los insectos en el proceso de producción de semilla; los tres son consecuentes con otros estudios; el de Turgeon, Roques y De Groot 1994,

Cuadro 13. Impacto de los factores de mortalidad en conos de *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (= *P. macrolepis* Flous) en la presa "Jaramillo". Pachuca, Hgo. Cohorte de 1113 conillos iniciales.

Factor de mortalidad	Impacto	
	Conos muertos	% del total
<i>Contarinia</i> (Diptera: Cecidomyiidae)	436	39.17
<i>Thrips</i> (Thysanoptera: Thripidae)	224	20.13
Ardillas	152	13.66
Desconocido	31	2.78
Lepidópteros barrenadores, <i>Barbara</i> sp: (Lepidoptera: Tortricidae)	6	0.54
Total	849	76.28
Cosecha de conos sanos y maduros	264	23.72

Cuadro 14. Impacto de los factores de mortalidad sobre una cohorte de 1000 conos de *Pinus cembroides*, desde la polinización hasta su madurez. Municipio de El Cardonal, Hidalgo. 1981-1982.

Factor de mortalidad	Impacto	
	Conos muertos	% del total
<i>Conophthorus edulis</i> (Coleoptera; Scolytinae)	620	62.0
<i>Leptoglossus occidentalis</i> (Hemiptera: Coreidae) + factor desconocido	303	30.3
<i>Cecydomyia</i> (Diptera: Cecidomyiidae)	50	5.0
<i>Retinia arizonensis</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	21	2.1
Total	994	99.4

sintetiza el conocimiento de este grupo de insectos hasta 1994.

Otros que describen impacto en la cosecha son los De Barr y Barber 1975, Fatzinger *et al.* 1980, Hedlin *et al.* 1980 y Katovich *et al.* 1989.

Impacto en viveros forestales

Medir el impacto de fitófagos en la producción de planta forestal es de gran importancia para la toma de decisiones; permite conocer la identidad de las principales plagas, determina la magnitud y fecha en que ocurren los daños y define las acciones a desarrollar para prevenir o disminuir el impacto. La medición se puede hacer mediante el registro periódico de plantas muertas o dañadas o evaluando las poblaciones de adultos o larvas.

Ya en el capítulo de monitoreo, en este mismo libro, se ha descrito el uso de trampas amarillas para evaluar poblaciones de mosca fungosa, *Bradysia impatiens* (Johannsen), plaga de gran importancia en los viveros que usan turba de musgo (peat moss); estos insectos pueden llevar, pasivamente, conidios de hongos fitopatógenos de especies de *Fusarium* (García 2017 y Marín 2018).

Hay pocos registros del impacto de estos insectos en la producción de planta forestal, Marín-Cruz *et al.* 2015a y b, indican que *B. impatiens* llega a causar pérdidas de hasta 30% de plántulas en viveros forestales.

Impacto en plantaciones de árboles de navidad

En estas plantaciones es muy importante el color, forma y apariencia de los árboles, ya que su venta depende de su calidad estética.

En las plantaciones de *Pinus ayacahuite* Ehr. (Estados de México, Puebla y Veracruz) los pulgones laníferos del género *Pineus* (figura 153) con frecuencia generan infestaciones que causan pérdida de follaje, deformación de brotes, reducción del tamaño de las acículas y/o decoloración de follaje. Esos árboles no se comercializan, con las consecuentes pérdidas económicas.

Para medir el impacto que produce *Pineus* en plantaciones de Otlatla, Pue., Albino 1995, reali-



Figura 153. Brote de *Pinus ayacahuite* con huevecillos, ninfas y adultos del pulgón lanífero *Pineus* sp. (Fotografía: E. Llanderal)

zó un estudio de población y disposición espacial del insecto en una plantación de dos hectáreas. Mediante un censo total identificó la población de 8,638 árboles, de los cuales 3,354 estuvieron libres de pulgones, 2,534 tuvieron infestación ligera, 1,827 la tuvieron media y 923 severa.

En la figura 154 se muestra la disposición de la población de árboles.

Impacto en plantaciones maderables

este caso los técnicos forestales cuentan con buenos estimadores de impacto, crecimiento y supervivencia, ya que son negocios de alta inversión y requieren cálculos del desarrollo proyectado de las plantaciones.

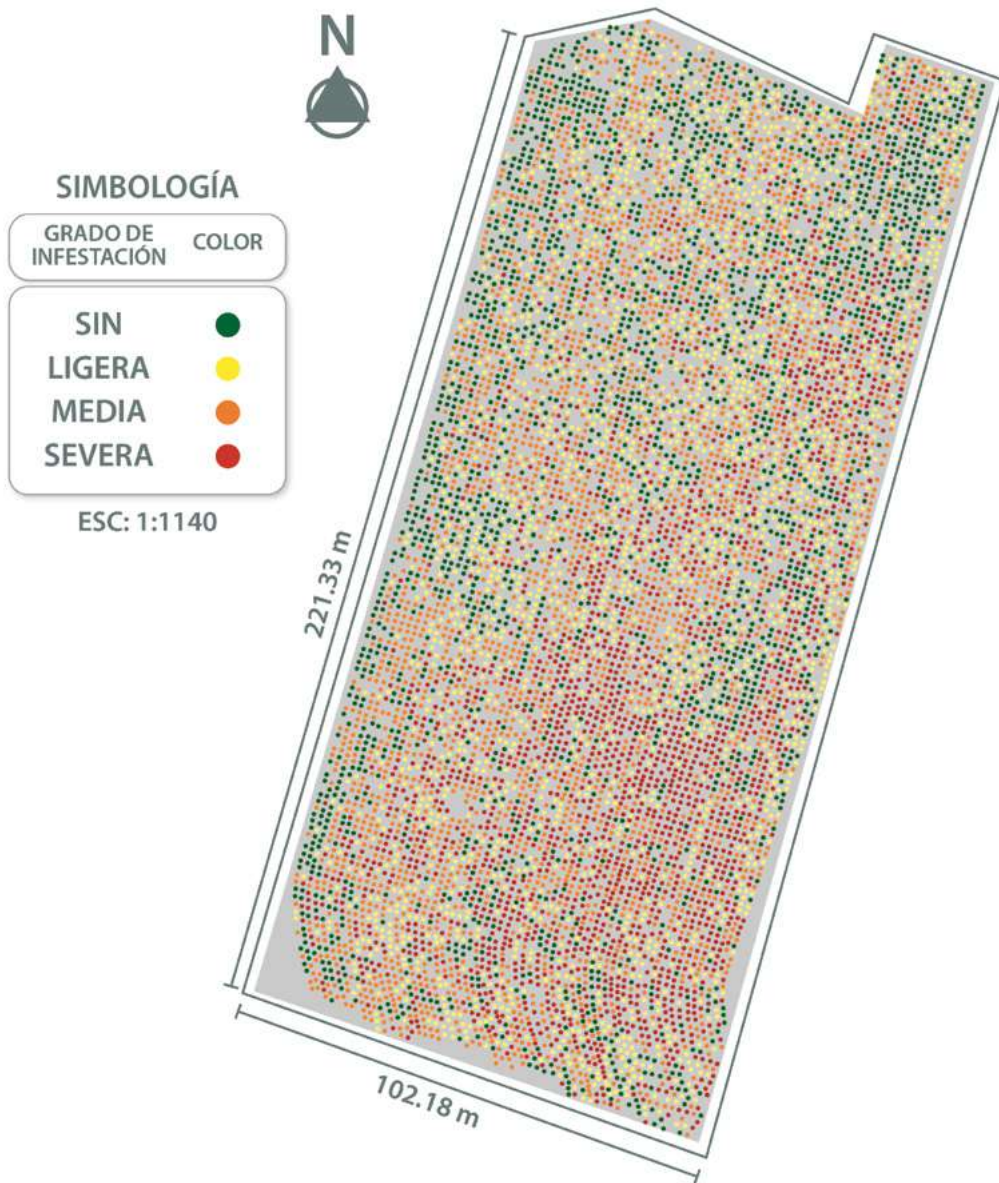


Figura 154. Mapa de una plantación de *Pinus ayacahuite* infestada por el pulgón lanígero *Pineus* sp. Del total de 8,638 árboles hubo 5,284 con infestaciones activas del pulgón, los círculos verdes son árboles sin presencia de pulgones lanígeros. (Ilustración: L. Arango, redibujado de V. Albino)

Hyblaea puera Cramer es considerada una plaga nativa de la India y países adyacentes, fue introducida en la América Tropical a principios del siglo XX, y está presente en Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala y México. En este último país fue introducida en algún momento de 2000 y desde entonces ha causado defoliaciones importantes en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L. f.) de Campeche, Tabasco y Veracruz (Cibrián y Cibrián 2013).

El impacto de *H. puera* fue documentado en India; en un estudio de cinco años de Nair *et al.* 1985, los árboles protegidos con insecticidas tuvieron un incremento anual de 6.7 m³/ha en comparación con 3.7 m³/ha en sitios defoliados.

La defoliación causó pérdidas del 44 % del volumen potencial. Los árboles protegidos proyectaron una cosecha final a los 26 años en comparación con 60 años para los no protegidos; además de la pérdida de incremento se tuvo muerte descendente y bifurcación del brote líder. Estos estimadores resaltan la importancia de la plaga y justifican la aplicación de tácticas de prevención y combate.

Recientemente, en un estudio con marcadores moleculares se demostró que esta especie tiene poblaciones endémicas, epicéntricas y epidémicas, pero solo las epicéntricas originan infestaciones epidémicas capaces de generar daño económico; esta información es de gran utilidad en el manejo de la plaga, ya que se restringe al combate de poblaciones epicéntricas, dejando de lado las endémicas y con ello se reducen los costos de tratamientos y los impactos ecológicos de las aplicaciones de insecticida (Chandrasekhar *et al.* 2005).

Impacto en bosques naturales

Hay pocos estudios de impacto de plagas en bosques naturales. Méndez y Cibrián 1982 mi-

dieron el impacto de defoliaciones consecutivas por *Zadiprion falsus* Smith (= *Z. vallicola* Rhower) (Hymenoptera: Diprionidae) en el diámetro del tronco de *Pinus montezumae*.

El estudio se realizó en rodales de la Meseta Tarasca de Michoacán que fueron defoliados entre 1966 y 1974, en una superficie que superó 60,000 ha, aunque en solo 30,000 había pino.

Un porcentaje importante de los árboles murió por defoliación consecutiva de tres o más años, pero otro logró sobrevivir.

En 1979 se seleccionaron 34 sitios de 1000 m² en los que hubo supervivientes a defoliaciones consecutivas. Allí se marcaron los árboles defoliados, por medio de la detección visual de entrenudos recortados a lo largo del tronco. A los marcados se les extrajo una viruta con taladro de Pressler, que fue preservada con formaldehído dentro de un popote de plástico.

En laboratorio se revisó, encontrando 22 árboles sin evidencias de defoliación, y 54 con anillos disminuidos. En las muestras se reconocieron seis periodos de defoliación. La pérdida de diámetro se determinó comparando las medias de crecimiento radial de árboles defoliados y no defoliados, durante y después de la defoliación. Se compararon los valores de incremento medio anual (IMA) que refleja la longitud de los anillos de crecimiento durante un periodo de tiempo, dividido por su número de años.

Los resultados indicaron reducción significativa del crecimiento promedio por defoliación, comparado con el promedio radial previo y posterior a la defoliación. En árboles no defoliados el crecimiento radial fue significativamente constante. En cada uno de los periodos se estimó la pérdida de crecimiento radial durante la defoliación comparada con el crecimiento anterior a ella, y fue la siguiente (cuadro 15):

Los datos promedio de crecimiento radial se analizaron con el estadístico “t”, encontrando que en cinco de los seis periodos de defoliación tuvieron crecimiento significativamente menor (al 0.05). En el cuadro 16. se presentan los valores alcanzados.

El crecimiento de los árboles defoliados fue significativamente menor (al nivel de 0.05 y 0.005) durante la defoliación (1968-1973), comparado con el de los periodos anteriores y posteriores a la misma; los no defoliados no mostraron diferencias significativas en ningún periodo, por lo que no resultó afectada su tendencia de crecimiento. (Tomado de Méndez y Cibrián 1982).

Cuadro 15. Periodos de defoliación por *Zadiprion falsus* (=Z. *vallicola*) en bosques de *Pinus montezumae* de la Meseta Tarasca, Michoacán.

Periodo de defoliación	Reducción de crecimiento (%)
1966-1970	65.48
1968-1971	59.39
1968-1972	56.99
1968-1973	68.00
1969-1973	63.82
1971-1975	46.38

Cuadro 16. Comparación de promedios de crecimiento radial durante la defoliación por la mosca sierra, *Zadiprion falsus* (=Zadiprion *vallicola*) en bosques de *Pinus montezumae* en la Meseta Tarasca, Michoacan.

Clase de árboles	Medias de crecimiento radial anual (cm)		
	1962-1967 (previo a la defoliación)	1968-1973 (durante la defoliación)	1974-1979 (posterior a la defoliación)
Defoliados	2.442	0.687	3.13
No defoliados	2.974	2.629	2.765
COMPARACIÓN DE PERIODOS DE CRECIMIENTO			
Anterior a la defoliación (1968-1973) /Durante la defoliación (1968-1973)			
	Valor de T		Significancia
Defoliados	2.213		0.05
No defoliados	0.695		NS
Durante la defoliación (1968-1973) /Postdefoliación (1974-1979)			
	Valor de T		Significancia
Defoliados	-4.792		0.005
No defoliados	-0.261		NS
Anterior a la defoliación (1962-1967) /Postdefoliación (1974-1979)			
	Valor de T		Significancia
Defoliados	-0.737		NS
No defoliados	0.443		NS

En la figura 155 se puede apreciar que después de la defoliación se recuperaba la tasa de crecimiento, consecuencia de una "fertilización" durante los años de defoliación, pues los excre-

mentos de las larvas cubrieron el suelo debajo de las copas de árboles infestados; aunque aun así hubo pérdidas de volumen. En la figura 156 se muestran las larvas defoliantes.

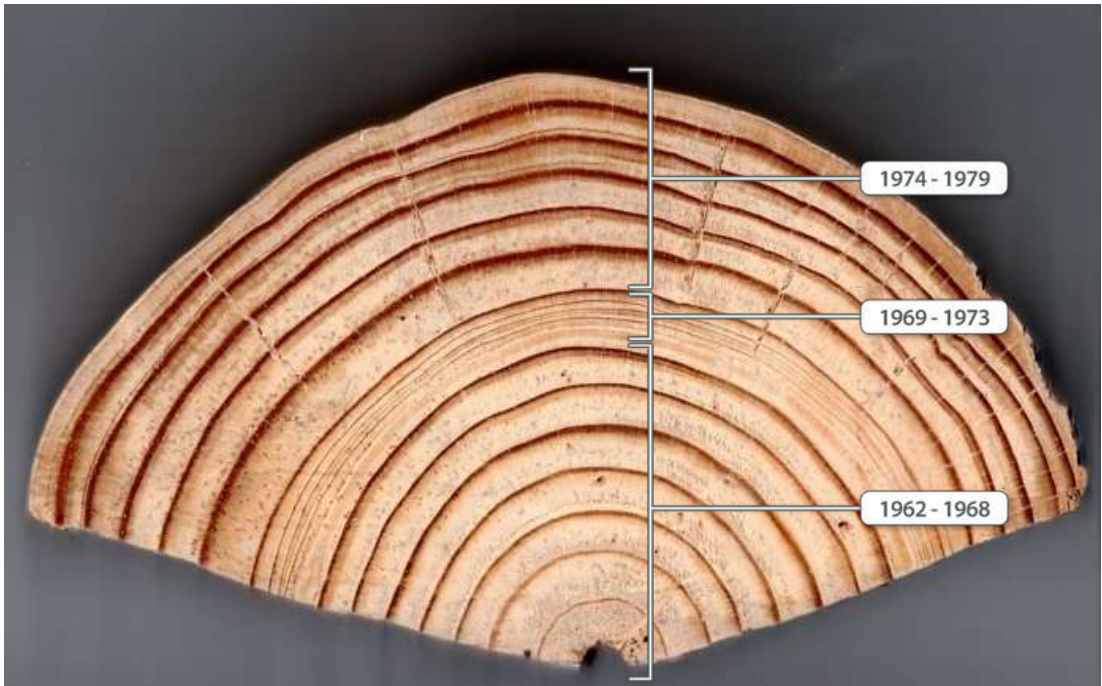


Figura 155. Corte de una rodaja de *Pinus montezumae*, con anillos de crecimiento reducidos por la defoliación causada por larvas de *Zadiprion falsus*. El corte del árbol se realizó en 1979, casi seis años después del daño. (Fotografía: D. Cibrián)



Figura 156. Ramilla de *Pinus montezumae*, con defoliación causada por larvas de *Zadiprion falsus*. (Fotografía: E. Llanderal)

Impacto de plagas exóticas el psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore

Romo *et al.* analizaron la viabilidad económica (beneficio/costo) del control biológico del psílido *Glycaspis brimblecombei* procedente de Australia, que entró a México en el año 2000, causando infestaciones en eucalipto rojo de todo el país (figura 157). Fue de gran importancia en Guadalajara, Ciudad de México, Morelia, etc. Para el control se importó su parasitoide específico *Psyllaephagus bliteus* Riek.

Se analizaron los beneficios del control biológico, en particular el ahorro logrado al evitar la remoción de árboles muertos en calles y parques



Figura 157. Ninfas, cubierta de cera y adulto hembra de *Glycaspis brimblecombei*.
(Fotografías: E. Llanderal)

de la Ciudad de México; para ello, definieron tres niveles posibles de mortalidad: (1) alta, 65 %; (2) media, 35 % y (3) baja, (15 %).

El entorno geográfico y poblacional de los eucaliptos fue estimado por la Dirección de Servicios Urbanos y Educación Ambiental del Distrito Federal, considerando alrededor de tres millones de eucaliptos en la zona metropolitana de la Ciudad de México (7,954 km²); el 80 % fueron *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, principal hospedante de la plaga.

La misma dependencia evaluó el daño en 2001, encontrando que el 83 % de una muestra de 101,642 árboles estuvo infestado, e infiriendo que el resto también lo estaba.

Los datos para calcular el nivel de control fueron tomados del programa de control biológico en la Cd. de México (Cibrián 2015), iniciado en el 2001 y concluido en 2003; aunque luego fue continuado por el gobierno del Distrito Federal.

La liberación de avispidas comenzó con 508 ejemplares (2001), continuó en 2002 con 47,531, y en 2003 con 95,062; este programa tuvo un costo de \$3,678,620 pesos (10.1 pesos por dólar).

Se concluyó que el control biológico fue rentable, con la mayor relación beneficio/costo (RBC) incluso en el caso más pesimista de mortalidad. También se acepta que los beneficios reportados son solo una fracción del total, ya que no fueron calculados los ambientales.

En promedio para ese periodo, los costos por nivel de severidad fueron tomados de una acción de remoción de 2,900 árboles muertos en avenidas de la Cd. de México y extrapolados de acuerdo con su categoría diamétrica, en el cuadro 17 se muestran estos datos y en el cuadro 18 los costos y beneficios que se tuvieron por peso invertido en el programa de control biológico.

Cuadro 17. Costos de remoción de árboles hipotéticamente muertos entre marzo de 2001 y diciembre de 2003 (tomado de Romo *et al.* 2007).

Árboles muertos (% acumulado)	Altura (m)	Número de árboles muertos	Costo por árbol (pesos mexicanos)	Costo/categoría de altura (pesos mexicanos)
Mayor severidad con 65 % de mortalidad	> 20	42,385	6,486	274,919,317.0
	15-20	107,749	5,808	625,778,906.0
	10-15	152,775	4,521	690,657,400.0
	5-10	195,761	2,600	509,026,240.0
	< de 5	121,703	680	82,727,886.0
	total	620,373		2,183,109,750.0
Severidad mediana con 35 % de mortalidad	> 20	22,823	6,486	148,033,478.4
	15-20	58,019	5,808	336,957,872.6
	10-15	82,263	4,521	371,892,446.4
	5-10	105,410	2,600	274,091,052.9
	< de 5	65,533	680	44,545,784.6
	total	334,047		1,175,520,634.6
Menor severidad con 15 % de mortalidad	> 20	9,781	6,486	63,442,919.3
	15-20	24,865	5,808	144,410,516.8
	10-15	35,256	4,521	159,382,477.0
	5-10	45,176	2,600	117,467,593.9
	< de 5	28,805	680	19,091,050.7
	total	143,163		503,794,557.7

Cuadro 18. Relación beneficio costo considerando distintos porcentajes hipotéticos de mortalidad de árboles en la Cd. de México (Tomado de Romo *et al.* 2007).

Variable considerada	Escenarios de mortalidad con porcentajes hipotéticos		
	65 %	35 %	15 %
Número de árboles muertos	620,373	334,047	143,163
Beneficio (costo de remoción)	2,183,109,750.00	1,175,520,634.60	503,794,557.70
Costo del programa	3,678,620.35	3,678,620.35	3,678,620.35
Relación Beneficio Costo (RBC)	593.43	319.55	136.95

Evaluación de impacto por plagas forestales en Canadá

Impacto del descortezador de pinos *Dendroctonus ponderosae* Hopkins

Desde 1977, el gobierno canadiense viene monitoreando las migraciones recurrentes de *D. ponderosae* en Colombia Británica (CB), mismas que se dispersaron hacia la Provincia contigua de Alberta; asimismo, evaluó la sobrevivencia y expansión de infestaciones locales principalmente en la parte suroeste de CB.

A partir de finales de los 1990s las infestaciones por este descortezador ya se habían ya dispersado y establecido en nuevas áreas, central-oeste y noroeste, de CB.

Cambios en el clima, incluidos varios inviernos con temperaturas moderadas, han permitido al insecto sobrevivir más al norte y a mayores elevaciones.

En el 2006, el número de nuevas infestaciones en Alberta, se elevó de manera vertiginosa, como resultado de insectos procedentes de CB que se dispersaron a grandes distancias, salvando incluso la barrera que representaban las Montañas Rocallosas.

En el otoño del 2012, esta especie fue detectada en los límites de Alberta con los Territorios del Noroeste (Northwest Territories, NWT), ya para marzo de 2013 estaban dentro de esta última Provincia, indicando por primera vez que el insecto había sobrevivido el invierno en esas latitudes. Al mismo tiempo, hacia el sur de la CB, en el noroeste de los Estados Unidos, se desarrollaban infestaciones por *D. ponderosae* de dimensiones similares a las de Canadá (ASRD 2007). Para el 2013, el descortezador ya había impactado en Canadá, 17.8 millones de ha y en Estados Unidos, 6.4 millones (Dhar *et al.* 2016, Holmes y Koch 2019) (figura 158).

Dada la magnitud del problema, el gobierno canadiense instituyó una “Estrategia Nacional de Plagas Forestales” para disminuir la dispersión de *D. ponderosae* en el país, y divulgar el conocimiento sobre el insecto y su comportamiento en otras regiones.

Debido a sus circunstancias particulares, los gobiernos de CB, Alberta y de NWT siguieron patrones diferentes de atención a estas infestaciones sin precedentes.

CB reportó la existencia de 1000 millones de m³ de maderas muertas, con daños superiores a los 50,000 millones de dólares (Dhar *et al.* 2016); debido a esta extensión, era incosteable realizar control alguno, por lo que el gobierno se enfocó en predecir el impacto económico de las infestaciones y así tomar medidas que pudieran mitigar los efectos.

Alberta se concentró en realizar un monitoreo minucioso del avance de las poblaciones del insecto, enfrentado a un nuevo hospedante (*Pinus banksiana* Lamb.) y también realizó el control directo de focos importantes (Alberta Government 2012).

NWT estableció como objetivo el determinar el estatus y el riesgo que representa esta especie de descortezador para sus recursos naturales (NWT 2015).

Para la predicción de impactos en la economía de la Provincia de CB, la cual es eminentemente forestal y turística, se usaron modelos basados en precios fijos y flexibles de los productos a obtener del salvamento de la madera presente. Estos modelos (Niquidet *et al.* 2015) partieron de la premisa de un efecto directo del abastecimiento de la madera y que dicho efecto, sería transferido a otros sectores industriales a lo largo de toda la cadena de producción.

Uno de los primeros resultados de los modelos indicó un periodo corto de bonanza económica

local y un futuro de escasez en el abasto, afectando de manera obvia la economía regional.

Posteriormente, por medio de otros modelos, se vio que era posible reducir ese impacto económico negativo, mediante la organización de un convenio interregional de abastecimiento de madera. Este convenio definiría un flujo recíproco de madera, es decir que la madera de zonas fuertemente afectadas iría a las zonas menos impactadas y estas zonas de manera recíproca reducirían temporalmente su corta anual.

Otros modelos reconfirmaron una disminución significativa en el abasto de madera y una consecuente reducción en ganancias de impuestos "por tocón", explicando que vendría una alteración drástica del sector forestal en la provincia.

Otra aproximación al problema fue proyectar el uso de las grandes existencias de madera degradada en la producción de bioenergía. Se comenzó a usar parte de estos recursos para calentar invernaderos, sin embargo, los modelos que analizaron la distribución regional de madera para fibra, indicaron que una industria de bioenergéticos que utiliza residuos de sector forestal primario no es eficiente y a la larga el costo/beneficio sería negativo.

Se llegó a estos resultados al darse cuenta de que, de seguir esa estrategia, se afectaría fuertemente las industrias que requieren fibras, para pulpa y la de "pellets" que son muy importantes en la región.

Para establecer las prioridades de manejo del descortezador, el gobierno de Alberta consideró los valores en riesgo (ASRD 2007). Si las infestaciones ocurrieran como las desarrolladas en el 2007, potencialmente un 80% de pino maduro moriría.

Con este nivel de daño, se interferiría de manera severa el manejo sostenible de cuencas hidrológicas, ecosistemas forestales, sitios sensibles y

de alto valor como plantaciones con fines genéticos, hábitats silvestres, sitios de inventarios permanentes y áreas de conservación; también se afectaría la estabilidad a largo plazo de fuentes de fibra para las comunidades que dependen de estos recursos.

Los objetivos principales de manejo fueron contener las infestaciones, minimizar la dispersión del insecto al norte y sur de la vertiente este de Alberta y prevenir la dispersión de *D. ponderosae* hacia los bosques boreales en que existen macizos de *P. banksiana* e híbridos de *P. banksiana* x *P. contorta*.

Para lograr esto, se dividió la Provincia en tres zonas de manejo:

- Zona de avance con la mayor prioridad de atención, por ser la que presenta el mayor riesgo de expansión hacia el Este, y en la cual se busca reducir poblaciones que desafortunadamente están muy dispersas.
- Zona activa de contención que tiene el nivel más alto y significativo de infestación, tiene como objetivo reducir y detener el crecimiento poblacional del insecto año con año.
- Zona inactiva de contención, esta zona es donde los niveles de infestación han crecido de tal manera, que el manejo poblacional ya no es efectivo, ahora su objetivo es manejar los bosques para otros valores forestales diferentes a fibra y madera.

Paralelo a ello, el gobierno ha implementado tácticas a corto y a largo plazo para manejar las infestaciones y proteger la salud de sus bosques.

Las tácticas a corto plazo son las de detectar, evaluar y tratar los árboles con infestaciones actuales, utilizando derribo y quemado de árboles individuales, astillado de todo el árbol y la remoción y utilización de rodales infestados.



Figura 158. Infestación de *Dendroctonus ponderosae* en Columbia Británica, Canadá.
(Cortesía de Canadian Forestry Service)

Las de largo plazo toman al bosque como un todo, y buscan diversificar la estructura de clase de edades y desintegrar rodales grandes y continuos de pino, para que con el tiempo se logre mitigar incendios y futuras infestaciones por *D. ponderosae* y por otras plagas (ASRD 2007, Alberta Government 2012) (figura 158).

Por su parte, el gobierno de Northwest Territories se ha enfocado en la realización de mapeos aéreos de los rodales de pino en la parte sur de esa Provincia, en combinación con monitoreos poblacionales usando trampas cebadas con feromonas en los límites con Alberta. Si la presencia del insecto es confirmada, las detecciones irán seguidas de un monitoreo de la superviven-

cia invernal de las poblaciones del insecto entre abril y junio de cada año. Se espera que de esta manera se produzcan mapas de los bosques vulnerables al descortezador y con ellos fundamentar las tomas de decisiones para el manejo forestal sostenible. Hasta el momento se ha realizado un análisis de riesgo que incluye la evaluación y determinación de las opciones de respuesta a los riesgos potenciales para una estrategia de manejo (NWT 2015).

Defoliador *Choristoneura fumiferana* (Clemens)

Las infestaciones por *C. fumiferana* (Spruce Budworm (SBW), en inglés) en el este de Canadá han

ocurrido por siglos, con una periodicidad estimada de 25–40 años entre cada pico poblacional (Jardon *et al.* 2003) (figura 159).

Estas infestaciones han sido documentadas mediante inspecciones de campo donde fueron medidas las defoliaciones y las densidades poblacionales del insecto y de los datos obtenidos de estudios a largo plazo de dendrocronología de maderas de *Abies* y de *Picea* (Pureswaran *et al.* 2016).

Para entender los impactos que tiene *C. fumiferana* en la producción de madera en Canadá, así como su influencia en el manejo forestal, MacLean *et al.* 2001 desarrollaron el sistema de toma de decisiones “Spruce Bud Worm Decision Support System” (SBW DSS).



Figura 159. Spruce Bud Worm *Choristoneura fumiferana*. (a) Larva madura. (b) Rama con hilos de seda y brotes defoliados por las larvas. (c) Rodal de *Picea* con árboles defoliados. (Fotografías: a UGA2252020b Jerald E. Dewey, USDA Forest Service, Bugwood.org, b UGA 5449526 Steven Valley, Oregon Department of Agriculture, Bugwood.org y c UGA1398194 Steven Katovich, Bugwood.org)

Este sistema es un método de análisis económico, que permite estimar beneficios de mercado y costos de control en infestaciones hipotéticas (Slaney *et al.* 2009).

En el análisis se examinaron los costos y beneficios de proteger los bancos de carbono por medio del manejo de plagas, utilizando aspersiones aéreas de *Bacillus thuringiensis* Berliner. La característica principal de este análisis fue integrar el beneficio del secuestro potencial de carbono y los créditos por carbono dentro del SBW DDS.

Con esto, los manejadores de bosques y los políticos, pudieron diseñar y evaluar programas de manejo basados en objetivos no limitados por la maximización del valor maderable.

Chang *et al.* 2012 usando el mismo sistema SBW DDS combinado con un modelo dinámico CGE,

analizaron el impacto económico de futuras infestaciones de SBW mediante una proyección de impactos durante el periodo 2012-2041, encontrando que, bajo las condiciones de una infestación moderada no controlada, la economía de la provincia de New Brunswick tendría una pérdida de 3.3 billones de dólares y de 4.7 billones si ocurriera una infestación severa.

Paralelamente, se encontró que bajo escenarios de aspersiones aéreas, se mitigaban hasta en un 66 % los impactos y que los ajustes a los programas de cosecha (madera) y de salvamento podrían mitigarlos en un 18 % más.

Con ello los autores proporcionaron información para entender los impactos directos e indirectos de las infestaciones por SBW sobre la economía regional.

RESISTENCIA VEGETAL

Felipe Romero Rosales

Introducción a la resistencia vegetal

Todos los libros hasta hoy escritos, abordando el tema de “manejo integrado de plagas” se parecen en cuanto a que ninguno ha demostrado capacidad para, auténticamente, proponer algo que permita mantener un artrópodo dentro de los límites inferiores a su umbral económico, antes de recurrir al uso de un plaguicida autorizado. Sin embargo, uno de ellos (Abrol 2014), sorprendentemente, comenzó por una de las tácticas de combate que lo hará posible en el futuro: la resistencia vegetal que, junto con el control biológico serán la columna vertebral del MIP cuando seamos capaces de aplicarlo, cosa que, hasta hoy, nadie lo ha hecho en el mundo... ningún país.

Antes que insectos fitófagos terrestres hubo vegetales en la superficie de Pangea (Grimaldi y Engel 2005). Cuando los primeros insectos, después de adaptarse a la fitofagia diezmaron las poblaciones de vegetales primarios (Lannuzzi *et al.* 2008), “dejaron vivir” (seleccionaron) a aquellos que ya contenían defensas naturales o los obligaron a “inventar” genes capaces de conferirles resistencia a la fitofagia y, con el tiempo, a reconstruir grandes poblaciones.

Esas plantas, con nueva resistencia, abatieron las poblaciones de los fitófagos que las había sometido, dejando subsistir a los insectos que ya contenían genes de adaptabilidad o les obligaron a mutar, evolucionando nuevas maneras de fitofagia que abatieron a las “nuevas” poblaciones de plantas **defensivas** obligándolas a inventar otras formas de resistencia, dando origen, así, a una alternancia de ataques y contra ataques que culminaron en la coevolución (Ehrlich y Raven 1964) que originó especies de artrópodos altamente especializadas en sus huéspedes.

El resultado actual es que existen insectos más o menos especializados sobre vegetales más o menos resistentes, pero todo comenzó con las primeras plantas, antes de ser traqueofitas, espermátfitas, gimnospermas o angiospermas.

El primer análisis completo de la resistencia vegetal fue, quizás, el de Painter (Painter 1951) en cultivos agrícolas, es decir, en angiospermas.

En los ecosistemas silvestres la resistencia es la regla, mientras que en los agroecosistemas artificiales es la excepción, sean gimnospermas o angiospermas, porque el fitomejoramiento generalmente se emprende buscando, en las espermátfitas (pinos, álamos, eucaliptos, abetos, cedros y caobas), adaptabilidad, productividad en biomasa sustentable, fenotipo, precocidad, calidad de la madera, respuesta al cambio climático. Esta genética, muchas veces clonal pero siempre comercial, irremediablemente sacrifica la resistencia a plagas y enfermedades, solo recuperable por fitomejoramiento específico contra cada una de esas calamidades, o simultáneamente contra enfermedades y plagas.

El fenómeno de la resistencia vegetal

La resistencia vegetal (RV) aplicada es el resultado de la observación de los agricultores tradicionalistas del mundo, quienes la utilizaron para mejorar sus variedades locales, herencia de muchas generaciones de agricultura campesina.

El fitomejoramiento científico para RV es reciente, hijo de la genética y la experimentación estadística. La resistencia biotecnológica (RB), que incluye la transgénesis y la edición genética, es aún más nueva. Aquí nos referiremos a la científica (Romero y Villanueva 2000).

Durante los siglos XVIII y XIX se hicieron los primeros reportes científicos de cultivos resistentes a sus plagas, notablemente el trigo contra la mosca de Hess, el manzano contra el pulgón lanífero, el sorgo contra el chapulín (1878), las vides contra filoxera, y más.

Siete años después de El Origen de las Especies (Darwin 1859), Mendel publicó sus Leyes de la Herencia (Mendel 1865), redescubiertas en 1900 por de Vries, von Tschermack y Correns, propiciando el nacimiento del fitomejoramiento científico contra el chahuistle (roya) del trigo, mediante el uso de “genes mayores”, descritos mucho después por Flor 1942, mediante su hipótesis gene-por-gene, después conocida, gracias a Vanderplank 1963, como “resistencia vertical”.

La resistencia vertical, atribuible a un solo gene de resistencia a esa roya, propició el avance espectacular del fitomejoramiento contra fitopatógenos, pues bastaba con hallar una sola planta indemne con su espiga sana, para multiplicarla hasta obtener un nuevo cultivo resistente... que al cabo del tiempo era encontrado y dominado por una nueva “raza fisiológica” de la roya, pero siempre era posible dar con un nuevo gene **mayor**.

Así, los fitopatólogos pudieron hacer frente a hongos, bacterias, virus, o nematodos que tuvieran una relación gene a gene con sus hospedantes vegetales; bastaba con encontrar una “buena fuente de resistencia” y usarla hasta que apareciera una nueva raza fisiológica del patógeno, con un gene que acoplara y neutralizara al de resistencia del hospedante.

Las **buenas fuentes de resistencia** prácticamente no existen entre artrópodos, excepto entre algunos, muy pocos, que se comportan como patógenos, en cuanto a que solo se alimentan donde caen; ¿ejemplos?, algunos pulgones, escamas, chicharritas, mosquitas blancas, dos cecidomyíidos: la mosca de Hess y la agalla asiática del arroz. En consecuencia, resultó **fácil y elegante** el desarrollo de la resistencia **vertical** (de segregación estrictamente **mendeliana**) a fitopatógenos, impulsada por fitopatólogos, e impopular, tedioso e **infructífero** el de la resistencia horizontal contra insectos, porque la genética, en este caso, es multipoligenética, llamada “horizontal” por Vanderplank, retrasándose la entomología en esta área al no encontrar buenas fuentes de resistencia.

Todavía, a fines del siglo XX, trabajaba, en el CYMMIT un entomólogo prominente que no creía en “la patraña de la resistencia horizontal”, argumentando que no existía. Quizás no leyó a Flor, Vanderplank, Robinson, o simplemente no supo interpretarlos.

La planta, su origen y adaptación

El fenómeno de la RV lo referimos a plantas con semilla: gimnospermas y angiospermas; el resto (silópsidas, licópsidas, esfenópsidas y helechos) es poco importante desde el punto de vista económico, y no será mencionado.

Las evidencias fósiles testifican que las primeras plantas terrestres se originaron hace no menos de 450 millones de años, en el Periodo Ordoviciano o el Silúrico; sus precursores más probables son las algas verdes, pues algas y plantas comparten rasgos celulares comunes, como:

- La celulosa, principal constituyente de la pared celular.
- Los mismos tipos de clorofila.
- Otros pigmentos comunes a plantas y algas
- Su reserva alimenticia
- Para adaptarse a la tierra, las plantas tuvieron que vencer los obstáculos de:
 - Contar con la estructura y soporte que no necesitaron en el agua.
 - Vencer la desecación.
 - Dominar el nuevo intercambio gaseoso.
 - Tolerar temperaturas terrestres extremosas.
 - Reproducirse sin el auxilio del agua.
 - Resistir ataques de artrópodos, que resolvieron evolucionando los mecanismos de defensa que son objeto primordial de este capítulo.

Aunque abundaron y probablemente comenzaron a dominar la tierra durante el periodo Permiano o Pérmico, las gimnospermas no tuvieron tiempo, información genética o necesidad de diversificarse demasiado y, por ende, de inducir la coevolución de muchas especies plaga, ni defensas contra ellas.

Algunos de sus precursores indudables, los helechos con semilla, provienen del Carbonífero Inferior (Misisipiano), no dejando lugar a duda que las actuales gimnospermas (cicadofitas, gnetofitas, ginkofitas y coniferofitas) representan un mosaico heterogéneo de grupos que originalmente estaban poco relacionados entre sí (figura 160).

Su esplendor se dio en el Triásico. Siendo reducido su número de familias, géneros, especies

(1079, en el año 2016¹), hábitats, y reducida su variabilidad en raíz, tallos, hojas, flores y fruto, no han tenido que evolucionar defensas complejas contra sus pocos enemigos naturales.



Figura 160. Periodo Carbonífero (359-299 millones de años) inmensos pantanos y ciénagas rodeados de árboles primitivos como los *Calamites*, *Lepidodendron* y *Sigillari*, con ellos conviven artrópodos gigantes, semejantes a los insectos actuales, como *Arthropleura* y *Meganeura monyi*, un insecto emparentado con las libélulas actuales. (Ilustración: E. Llanderal)

Un enfoque diferente podría enunciar que desde sus comienzos presentaron tan formidables defensas que no necesitaron diversificarse, manteniendo bajo el número de sus enemigos.

Aun cuando los precursores de Hemiptera aparecieron en el Pérmico anticipándose al esplendor de las gimnospermas, no está claro si eran importantes entre sus fitófagos, aunque pocos dudan que lo fueran, pues las había con una corteza delgada y un floema cercano a ella, como para inducir una nueva especialización alimentaria. En todo caso, fueron las gimnospermas quienes propiciaron la primera gran radiación (especiación) de Insecta.

Tuvo que pasar todo el Pérmico de la era Paleozoica más el Triásico y Jurásico de la Mesozoica para que, en el Cretácico según evidencias fósiles, las plantas florecientes propiciaran otra especiación de Artrópoda. En ese periodo, hace 50–144 millones de años, se consumó la fragmentación de Pangea (cuadro 19).

¹Phytotaxa 261 (3): 201–217

Cuadro 19. Principales eventos geológico-evolutivos entre plantas e insectos.

ERA	PERIODO	ÉPOCA	MILLONES DE AÑOS AL PRESENTE	EVOLUCIÓN DE LA VIDA VEGETAL	EVOLUCIÓN DE LOS INSECTOS
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	HOLOCENO ²	10 MIL AÑOS	Agricultura y civilización	Civilización
		PLEISTOCENO	2	Cambios de clima que extinguen bosques	Aparece y se dispersa <i>Homo</i> spp. ¿Anoplura y mallophaga? No hay fósiles
	TERCIARIO	PLIOCENO	5	Declinan bosques. Segregación climática de flora. Herbáceas primitivas.	Precusores de <i>Homo</i> . Strepsiptera, Isoptera, Siphonaptera y Embioptera.
		MIOCENO	25	Evolucionan la mayoría de familias modernas de angiospermas.	Primeros homínidos
		OLIGOCENO	40		
		EOCENO	54	Evolución y dispersión mundial de los bosques modernos.	Radiación de mamíferos y aves, radiación de polinizadores.
PALEOCENO	65				
M E S O Z O I C A	CRETÁCICO		136	Pangea se fracciona. 3ª gran radiación vegetal. Inicia dominio de angiospermas. Declinan gimnospermas.	3ª gran radiación de insecta. Predominan peces acanthopterigios. Extinción de dinosaurios.
	JURÁSICO		195	Pangea comienza su desintegración. Primeras angiospermas. Quedan cicadofitas y coniferofitas. Desaparecen gimnospermas primitivas.	Actuales Diptera, Hymenoptera, Dermaptera, Trichoptera, Phasmida, Thysanura y Lepidoptera. Culminan fitófagos. Abundan dinosaurios. Primeras aves.
	TRIÁSICO		245	Pangea aún formando un solo continente. Predominan cicadofitas, ginkofitas y coníferas. Desaparecen helechos gigantes. ¿Angiospermas?	Primeros mamíferos. Grandes reptiles. Primeros dinosaurios ¿Orthoptera?

²¿Antropoceno?... “La edad de los humanos”, según Crutzen y Stoermer, 2000.

P A L E O Z O I C A	PÉRMICO		280	2ª gran radiación vegetal. Cicadofitas y coníferas. Predominan plantas con semilla. Declinan equisetos y lycopodios arbóreos.	2ª gran radiación de insecta 19 órdenes: hemiptera, homoptera, blattodea, coleoptera y precursores de diptera y thysanoptera. Hoja fósil con evidencia de masticadores. Extinción trilobitos. Declinan anfibios. Radiación de reptiles. Metamorfosis.
	CARBONÍFERO	SUPERIOR (Pensilvánico)	323	Gimnospermas muy primitivas. Bosques extensos de equisetos, licopodios y helechos gigantes (actualmente carbón), algunos con semilla.	1ª gran radiación de insecta. Odonatos gigantes. Cinco órdenes iniciales chupadores y alados. ¿Paleodyctioptera consumiendo polen? Diez órdenes al final. Período de los anfibios. Primeros reptiles
		INFERIOR (Misisipiano)	359		
	DEVONIANO		395	Pangea. 1ª gran radiación vegetal. Primeras plantas con semilla. Licopodios arborescentes forman bosques. Primeras vasculares: silofitas, lycopodios, equisetos y helechos.	¿Paleodyctioptera? Fósiles de <i>Rhyniella praecursor</i> , colémbolo saprófago y <i>Gaspeya paloventognathae</i> tisanuro. Inicia especiación de insecta ¿alas? Primeros anfibios. Predominan peces.
	SILURIANO		430	Primera evidencia de silópsidos terrestres (<i>Rhynia</i>). Dominan algas.	Insectos y ácaros (de origen crustáceo) colonizan la tierra. Explosión poblacional de trilobitos y corales.
	ORDOVÍCICO		500	Posiblemente primeras plantas terrestres. Predominan algas.	Peces sin quijada. Radiación de invertebrados: almejas, trilobitos, caracoles, corales y estrellas de mar.
	CAMBRIANO		570	Primeras algas modernas. Bacterias, cianobacterias y tal vez clorofitas.	Periodo de los invertebrados marinos. Almejas caracoles y trilobitos.
NEO P R O T E R O Z O I C A	EDIACARICO (DENTRO DEL PRECÁMBRICO)		635 4500	Bacterias. Algas verdiazules y verdes. Procariotes fósiles. Inicia la vida.	Comienza la vida multicelular.

Las defensas vegetales

Las primeras plantas terrestres no contaban con defensas específicas contra artrópodos porque no había herbívoros, suponiéndolas libres de ellos cuando eran acuáticas, lo que es dudoso. Al aparecer los primeros herbívoros, se dedicaron, con gran éxito, a especializarse a este hábito alimentario. La respuesta evolutiva de las plantas fue la adopción de defensas, en proporción directa al riesgo, e inversa al costo en nutrientes y energía. De esto se pueden obtener algunas conclusiones que configuran una **Teoría de las Defensas Vegetales**:

- Las plantas que se desarrollan bajo presiones de selección contundentes, que no tienen equivalente fitofágico, desarrollan defensas pobres contra sus herbívoros.
- Una planta con menor número de defensas está mejor adaptada al medio que una con muchas, siempre y cuando no tenga o sean escasos sus enemigos naturales.
- Las defensas cuestan nutrientes y energía; por tanto, los gastos de una planta individual son positivos si los utiliza para cubrir sus necesidades primarias como la reproducción, y al último invierte en defensas.
- Contrariamente, los gastos en defensas son una función negativa cuando la planta tiene que desviar recursos para defenderse en lugar de reproducirse.

Sobre estas bases generales, veamos en qué tipo de defensas las plantas invierten recursos y energía.

Defensas

Físicas. Como el color del vegetal (la luz que reflejan), su temperatura, humedad y su **sonido**. Note que son equivalentes al **combate físico** de la entomología económica.

Mecánicas o estructurales. Como el grosor, textura, tamaño, forma y volumen del todo o las partes, y densidad, p.e. de pelillos. Son equivalentes al **combate mecánico** de la entomología económica. (Algunos autores les llaman defensas morfológicas o físicas, sin serlo).

Fisiológicas. Como la reparación o reposición de tejidos u órganos; el vigor, y la reacción mediata o inmediata del vegetal o sus partes. Sin equivalente en entomología económica.

Conductuales. Como el ciclo, que puede ser coyuntural u oportunista, estacional, bianual, multianual o perenne, y determina la apariencia (Feeny 1975) o presencia del vegetal, misma que permite a sus enemigos naturales detectar la planta o no; así como la precocidad o tardanza, en la reproducción; la continuidad del desarrollo; el hábito de crecimiento—**arquitectura**—; y el rango de distribución geográfica. Serían equivalentes al **control cultural**.

Nutrimientales. Como la proporción nitrógeno: agua, que todavía puede ser obstáculo para que muchos artrópodos se hagan fitófagos. Como los bajos contenidos o mal balance de nutrientes; o como los excesos de celulosa o lignina. Sin equivalente en la entomología económica.

Aleloquímicas. Constituidas por la presencia de compuestos modificadores del ciclo y/o la conducta insectil, como los miméticos de la hormona juvenil de Insecta en *Abies* (Slama y Williams 1966); pero la toxicidad es la forma más conocida de este tipo de defensa vegetal, aunque hay otros tipos de xenobióticos **agazapados**, como las antihormonas o los bloqueadores de enzimas. Las defensas aleloquímicas tendrían un equivalente al combate químico de plagas.

Esas defensas son fruto de la presión de selección causada por los artrópodos (aparte la de los fitopatógenos), mas no debe perderse de vista que, desde mucho antes de tener plagas, las plantas contaban con lignina, celulosa, poco nitrógeno y algunas otras características no diseñadas específicamente contra herbívoros, como el balance nutricional, que no dejaban de ser un obstáculo para que estos consumidores primarios obtuvieran su energía de las plantas, productoras primarias por excelencia.

Los artrópodos y la fitofagia

En los primeros bosques de pantano, al finalizar el Devónico y su primera gran radiación vegetal hace 360 millones de años, ya había artrópodos; odonatos gigantes, presumiblemente depredadores de origen Carbonífero.

Esto nos lleva a deducir que si había depredadores del tercer nivel trófico (T_3), podría haber fitófagos alados o ápteros del segundo nivel (T_2) alimentándose de las plantas (T_1). Por ende, los insectos en su forma más primitiva, la áptera, tienen más de 360 millones de años sobre la tierra, supuestamente hasta 410 millones.

Desde el punto de vista estrictamente morfológico–funcional, durante los periodos Devónico y Carbonífero, especialmente durante la primera parte del Misisipiano, la Clase Insecta fue un calidoscopio en movimiento continuo que daba origen a más y más Órdenes, Subórdenes, Superfamilias, hasta Especies, la mayoría actualmente extintos. Al final del Carbonífero y entrando al Pérmico, ya había diez Órdenes de Insecta.

Durante el Pérmico llegaron a 19 Órdenes, de los cuales diez eran nuevos, entre ellos Hemiptera, Protocoleoptera y precursores de Thysanoptera y Diptera. Los grandes avances evolutivos, alcanzados por los insectos, hace no menos de 300

millones de años, coincidieron con el hecho de que su más abundante y poco nutritiva fuente de alimento, las plantas, alcanzó clímax espectaculares en momentos oportunos para ellos.

Si las evidencias fósiles demostraran inequívocamente que los primeros Órdenes de Insecta fueron saprófagos, estos precursores y sus descendientes directos tuvieron que vencer esa limitante y abrir su espectro alimentario hacia la fitofagia, para posteriormente devenir polífagos, oligófagos y monófagos. Los ortopteroideos fósiles atribuibles a ese mismo periodo eran masticadores, pero probablemente consumían hojas más **muertas que vivas**. La fitofagia pudo haber iniciado con el consumo de alimentos ricos en proteína como el polen, o con fermentados de partes de plantas en descomposición, pero evolucionó integralmente con los cambios de un Reino Vegetal cada vez más diversificado.

En todo caso, junto con el obstáculo de la pobre calidad alimentaria de las plantas, tuvieron que vencer el **obstáculo de la composición química** de las primeras plantas, aun cuando esta composición no fue, en rigor, defensiva, pues estamos partiendo del supuesto que, al principio, el vegetal no tuvo enemigos fitófagos que justificaran la elaboración de defensas; el obstáculo de fijarse a ellas o sustentarse físicamente en sustratos para los que aún no habían evolucionado estructuras mecánicas o secreciones adhesivas, además que aún no sabían minarlas, barrenarlas, o inducirles agallas; y para los artrópodos permanentemente expuestos a la atmósfera, el obstáculo de la desecación o pérdida de agua, que puede ser vencido utilizando las tácticas siguientes: beber, refugiarse en las zonas más húmedas (incluso en sus propias secreciones como hacen los salivazos), modificar la cutícula, usar el sistema traqueal, o combinaciones de todas ellas. Los huevecillos son los más afectados

por este obstáculo. Y son obstáculos reales a tal grado que hoy en día el número de Órdenes de insectos no fitófagos es mayor que el de fitófagos.

Mecanismos de resistencia (Painter, 1951)

Una especie vegetal solo es resistente o susceptible a las especies con las que ha coevolucionado y con las que “**comparte**” su patrimonio genético. Las plantas, en su **intento** por deshacerse de sus plagas, han seleccionado grupos de insectos que **solo saben** alimentarse de ellas y que, en consecuencia, **ignoran** que podrían ser plaga de más especies.

Antixenosis (no preferencia, según Painter)

El término **no preferencia** es desatinado para describir un mecanismo de resistencia vegetal, porque detalla la conducta del insecto frente a una planta, no la resistencia de ésta. En estas condiciones el término de Kogan y Ortman 1978 es más adecuado porque **antixenosis** genera la concepción de mal hospedero.

La **antixenosis**, es la primera línea de defensa, entendida como la capacidad del vegetal, a distancia o al contacto, para limitar el uso que de él hacen los insectos en su búsqueda de refugio, alimento, o sitio de oviposición.

Mientras la **antibiosis** actúa sobre insectos que ya están utilizando una planta, la antixenosis reduce el número de parásitos que llegan a ella y se quedan, o que la abandonan después de contactarla, obligándose a buscar otra de su gusto.

Ambos mecanismos fueron desarrollados por la planta para defenderse de los que ella misma seleccionó como sus enemigos naturales al repelerlos ancestralmente con defensas, las alomonas, que evolucionaron a caironomas al ser

sucesivamente vencidas, y ligaron más a los dos organismos.

Antibiosis

La **antibiosis** es la acción de aleloquímicos vegetales que afectan negativamente el desarrollo y biología de sus plagas.

Por definición, daña **directamente** a las plagas, y bajo este punto de vista sería la fuente única de RV. Solo que, en palabras de Painter, si se usara el término **resistencia** para describir exclusivamente los fenómenos de antibiosis, no habría forma de evaluar el daño diferencial que los insectos infligen a las plantas que resultan más o menos perjudicadas, más o menos tolerantes.

Antibiosis podría englobar dos extremos de acción química que en forma directa disminuyen la esperanza de vida de un insecto y su progenie: desde el carácter nutricional de la planta que dentro de sus límites genéticos es circunstancial porque puede variar de una a otra; hasta la síntesis de tóxicos verdaderos que, en caso extremo, nulifican el desarrollo (de especies no coevolucionadas). Aunque nadie duda en clasificar como “antibióticos” a los fitoquímicos que de alguna manera matan o no dejan que se manifieste el potencial biótico del insecto, también se está de acuerdo en que el término, como lo usó Painter, es demasiado amplio debido a que, dentro de los miles de sustancias **antibióticas**, hay muchas que en realidad no lo son, según el término **clásico**³.

Se conocen, otras defensas vegetales que no son aleloquímicas, como el encapsulamiento de huevos y larvitas, el tamaño y densidad de pubescencias, o la consistencia, que son **antibióti-**

³Interacción biológica que consiste en la imposibilidad de que ciertos organismos vivan en las inmediaciones de otros, que segregan una sustancia, el antibiótico, que provoca la muerte de aquellos.

cas en el sentido utilizado por Painter, pero no en el sentido de la definición clásica.

Tolerancia

Existen muchos fenómenos naturales, aparte la herbivoria, que atacan en forma directa contra el desarrollo y reproducción de las plantas, como los excesos o deficiencias en temperatura (estiajes y heladas) y humedad (sequía, inundaciones), los incendios, la competencia (por nutrientes, agua y luz), o el daño mecánico causado por vientos excesivos, rayos, granizo, y demás meteoros y siniestros que ya existían antes de la aparición de los herbívoros.

Los vegetales ya habían evolucionado cualidades de supervivencia para superarlos, para reparar o reemplazar las raíces, cicatrizar y reconstruir los tallos, reponer hojas, flores o frutos. El daño causado por esos fenómenos, dentro de ciertos límites, ya era superado por las plantas antes de su coevolución con los insectos, y puede afirmarse que había plantas tolerantes en el sentido de ser capaces de reproducirse mejor que otras, sometidas a los mismos fenómenos naturales. En consecuencia, tenían capacidad de transmitir ese aguante a su progenie.

El advenimiento de los artrópodos pudo contribuir a acentuar la tolerancia a esos adversativos y, finalmente, debieron darse casos específicos de coevolución planta–artrópodo donde los insectos y ácaros obligaron a sus hospederos a adoptar, evolutivamente, genes de reposición, reparación y recuperación de sus daños.

Evasión

La **evasión del hospedero** es, para Painter una falsa resistencia o pseudoresistencia porque, aduce: si el insecto tuviera acceso a la planta la consumiría según sus verdaderas características de susceptibilidad o resistencia.

Russell 1978, coincidiendo con nosotros, considera que **evitar a la plaga** (pest avoidance) debe considerarse mecanismo de resistencia verdadera.

El hecho es que hay plantas que germinan, y/o crecen, y/o florecen y/o fructifican fuera de los picos poblacionales de sus plagas (asincronía fenológica), evadiendo proporciones importantes del daño que habrían recibido si se hubieran **comportado** como el resto de su población.

¿Por qué se **defienden** por asincronía fenológica (Lara 1991)?; no es aventurado opinar que lo hacen como táctica de supervivencia adquirida por evolución, y que pudo generarse en respuesta a sus herbívoros.

De la misma manera que las plantas **adoptaron** ciclos perennes, bianuales, anuales, estacionales o coyunturales, sus insectos se adaptaron a ellos; pero en la competencia permanente algunas plantas **aprendieron** a adelantar o retrasar su ciclo o parte de él y a dejar temporalmente desfasados a sus herbívoros.

El proceso es coevolutivo y similar, si no es que idéntico, a la antibiosis y antixenosis; por lo tanto, debe ser reconocido como mecanismo de resistencia, y debe aceptarse que tiene las mismas bases genéticas y evolutivas, el mismo funcionamiento y el mismo resultado.

Es cierto que con el tiempo y la evolución los insectos pueden mover sus picos poblacionales y atacar a las plantas que estaban evadiéndolos por precocidad o retraso del ciclo, pero lo mismo puede suceder con cualquier otro mecanismo de resistencia: los insectos **aprenden** a superarlos.

Las defensas y sus causales

Es conveniente obtener una panorámica del valor relativo de las defensas típicas, de los causales más aceptados dentro de ellas, y de su

manifestación a través de uno o más mecanismos de resistencia.

El concepto antropocéntrico de **defensa vegetal**, que aquí proponemos, es el aplicado por los entomólogos dedicados al combate, que no control, de plagas; a saber: combate físico, mecánico, químico, que en las plantas equivaldría a defensas físicas, mecánicas, aleloquímicas, más otras defensas sin clara equivalencia con el combate de plagas profesional.

Con este criterio se elaboró el cuadro 20 donde, en la primera columna se enlistan las ***DEFENSAS TÍPICAS***, su **=agente causal=** o **+tipo de alomona+**, dentro de los cuatro MECANISMOS DE RESISTENCIA (segunda a quinta columna) en que se

pueden manifestar, y en la última columna la **EXPLICACIÓN** o **DESCRIPCIÓN** correspondiente.

Así, las defensas físicas (por ejemplo colores **repelentes**) se equiparan al combate físico; las estructuras vegetales que impiden a las plagas llegar a su alimento se equiparan al combate mecánico (p. e. pelillos muy largos o pegajosos), y las defensas aleloquímicas se equiparan con el combate químico de plagas artrópodos.

De la misma manera se equipararían las demás defensas, cuando fuera posible, para aplicar métodos sistemáticos de clasificación y no de criterio personal como lo hacen muchos autores que, sin conocimientos válidos, llaman **morfológicas o físicas** a las defensas mecánicas (Romero y Villanueva 2000).

Cuadro 20. Defensas vegetales típicas y sus agentes causales dentro de los mecanismos de resistencia.

MECANISMO DE RESISTENCIA					
DEFENSAS TÍPICAS =agente causal= +tipo de alomona	Antixenosis	Antibiosis	Tolerancia	Evasión	EXPLICACIÓN O DESCRIPCIÓN
FÍSICAS =Color (energía reflejada)=	?				Del vegetal o cualquiera de sus órganos.
=Temperatura=	X				Del vegetal o el cultivo.
=Humedad=	X				Del cultivo, planta o parte de ella. (No contenido de agua).
=Sonido=	?				No se hallaron evidencias en la literatura.
=Luz=	X				Palomillas que de noche solo ven ciertos cultivos.
MECÁNICO-ESTRUCTURALES (mal llamadas morfológicas o físicas) =Grosor=	X				De tejidos y secreciones.
=Consistencia=	X				Por incrustaciones, adhesivos, celulosa, lignina, ceras.
=Tamaño, forma, volumen, densidad= (de órganos o macro y micro estructuras)	X				De plantas, apéndices, brácteas, pelillos, sépalos.

DEFENSAS TÍPICAS =agente causal= +tipo de alomona	Antigenosis	Antibiosis	Tolerancia	Evasión	EXPLICACIÓN O DESCRIPCIÓN
CONDUCTUALES (hábitos del vegetal)=Ciclo de la planta= (coyuntural, estacional, bianual, perenne)				?	La duración del ciclo, según la Teoría de la Defensa Vegetal, define a las plantas más o menos aparentes.
=Adelanto o retraso del ciclo=				X	Patodemos precoces o tardíos.
=Ídem, de una parte del ciclo=				X	Desfase de la floración, fructificación o maduración.
=Hábito general o parcial de crecimiento=	?			?	Cambios, en forma o volumen (lechuga capitada, frijol trepador), que desconciertan al insecto.
FISIOLÓGICAS =Reparación de tejidos=			X		Rapidez para cicatrizar, suberizar.
=Reposición de tejidos u órganos =			X		Recuperación de raíces, tallos, hojas, frutos.
=Vigor (p.e. híbrido) =		?	X		F ₁ inexplicablemente más resistente que progenitores.
=Reacción inmediata=	X		?		Flujos de látex o resinas, expulsión de huevecillos, encapsulación hipersensible a huevos y/o larvitas.
NUTRIMENTALES =Pobreza y balance nutricional=	X	?			La planta no cubre las necesidades de sus plagas.
=Minerales y vitaminas=	?	?			Como coenzimas o cofactores; no como alimento.
=Celulosa, lignina y taninos=	X				Como obstáculos a la digestibilidad y como secuestradores de moléculas nutrimentales.
ALELOQUÍMICAS =Antixenóticos (modifican conducta vegetal)=+repelentes+	X				Avisan a sus vecinas que está siendo atacada. Ponen en fuga a los insectos afectados.
+inhibidores+	X				Insecto reprime impulsos originales. Actúan al contacto.
+dispersantes+	X				Actúan contra la agregación del insecto.
+excitantes+	X				Inician o aceleran movimiento o actos (morder, picar, ovipositar).
+supresores+ (arrestantes, deterrentes)	X				Disminuyen o paran movimiento o actos (alimentación y/o oviposición).
=Antibióticos ⁴ (modifican vida o ciclo)= +tóxicos+		X			Venenos crónicos o agudos.
+antimetabolitos+		?			Bloquean el metabolismo, la óxido-reducción y otras reacciones.
+antivitaminas y antienzimas+		?			Tal vez bloquean funciones coenzimáticas de vitaminas.
+antihormonas y mímicos de hormonas+		?			Aceleran, retardan o detienen el ciclo y/o la metamorfosis.

⁴En el sentido de Painter, no en el de la definición clásica: "secreción química que mata microorganismos sensibles o inhibe su crecimiento".

Así, las defensas físicas (por ejemplo colores **repelentes**) se equiparan al combate físico; las estructuras vegetales que impiden a las plagas llegar a su alimento se equiparan al combate mecánico (p. e. pelillos muy largos o pegajosos), y las defensas aleloquímicas se equiparan con el combate químico de plagas artrópodas.

De la misma manera se equipararían las demás defensas, cuando fuera posible, para aplicar métodos sistemáticos de clasificación y no de criterio personal como lo hacen muchos autores que, sin conocimientos válidos, llaman **morfológicas o físicas** a las defensas mecánicas (Romero y Villanueva 2000).

Genética de la resistencia

El subsistema vertical

Hasta hoy, la mayor parte de los trabajos notables de resistencia se han hecho en el área fitopatológica, donde Vanderplank identificó los subsistemas vertical y horizontal de resistencia.

La identificación de este subsistema se realiza a partir de cruza de cada miembro del patosistema planta-artrópodo, buscando segregaciones mendelianas clásicas **diferenciales** para uno o más pares de genes dominantes **mayores**, señalados con letra mayúscula en la figura 161a y b. La relación gene a gene, o gene por gene fue descubierta por Flor y se manifiesta "todo o nada" (como daño total o como inmunidad), lo cual le da carácter cualitativo. Puede presentarse contra enfermedades y contra insectos sésiles, pero difícilmente será hallada en plagas forestales de hoja perenne. La gran desventaja de esta resistencia es su precariedad. Generalmente es efímera, y debe emprenderse la búsqueda de otro gene vertical de resistencia.

El fitomejoramiento por resistencia vertical se logra cruzando la variedad **comercial** que recién

perdió su resistencia, con un progenitor silvestre poseedor del gene buscado. Después se hacen todas las retrocruzas necesarias para recuperar la resistencia sin perder las características **comerciales**.

Por ser visiblemente mendeliana en las proporciones de segregación, la R vertical es un material muy atractivo para ser estudiado; no así la resistencia horizontal.

Ésta, por ser multipoligenética, tiene características cuantitativas, es decir, valores graduales o continuos, lo que dificulta la identificación y análisis porque su genética es **independiente** de la de la plaga, no es gene a gene, y no segrega en forma visiblemente mendeliana.

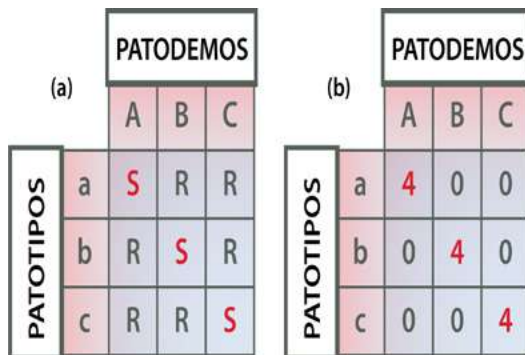


Figura 161. (a) Matriz 3 x 3 de interacción diferencial *todo o nada*, de resistencia o susceptibilidad que ocurre en un subsistema fitopatológico *vertical* que se acopla **gene a gene** (aA, bB, cC= S, o susceptible), o no se acopla (R, o resistente). Asignándole una escala numérica, se obtendrían los valores de daño máximo (4, todo) o mínimo (0, nada) ilustrados en (b).
(Esquema: E. Llanderal. Modificado de Robinson 1989)

El subsistema horizontal

Para que este modelo tenga valor explicativo del funcionamiento de la R horizontal se asume:

- La susceptibilidad del patodemo (hospedero) y la virulencia del patotipo (parásito) resultan en daños proporcionales a sus valores de resistencia y de **agresividad**, respectivamente.

- La herencia de esos atributos es controlada por muchos poligenes.
- Cada poligene contribuya con un valor fijo de susceptibilidad (o virulencia), igual al de los otros.
- Cada poligene (vistos como si fueran un gene) tiene dos tipos de alelos: positivos (+) y negativos (-).
- Cada alelo contribuye con un porcentaje de resistencia (+) o susceptibilidad (-), virulencia (+) o avirulencia (-), según se localice en el hospedante o el parásito.

Para que los daños sean de valor o rango constante, el uno por ciento de cualquier alelo ha de contribuir con 1 % de resistencia, susceptibilidad, virulencia o avirulencia.

La R horizontal puede acumularse, poco a poco, contra todos los parásitos de un cultivo, independientemente del valor máximo alcanzable; asimismo, para un parásito específico podría obtenerse resistencia **absoluta**, equivalente al máximo posible según los recursos genéticos del vegetal; pero siempre es menor que la R vertical, y puede erosionarse con el tiempo y la ausencia del parásito (figura 162).

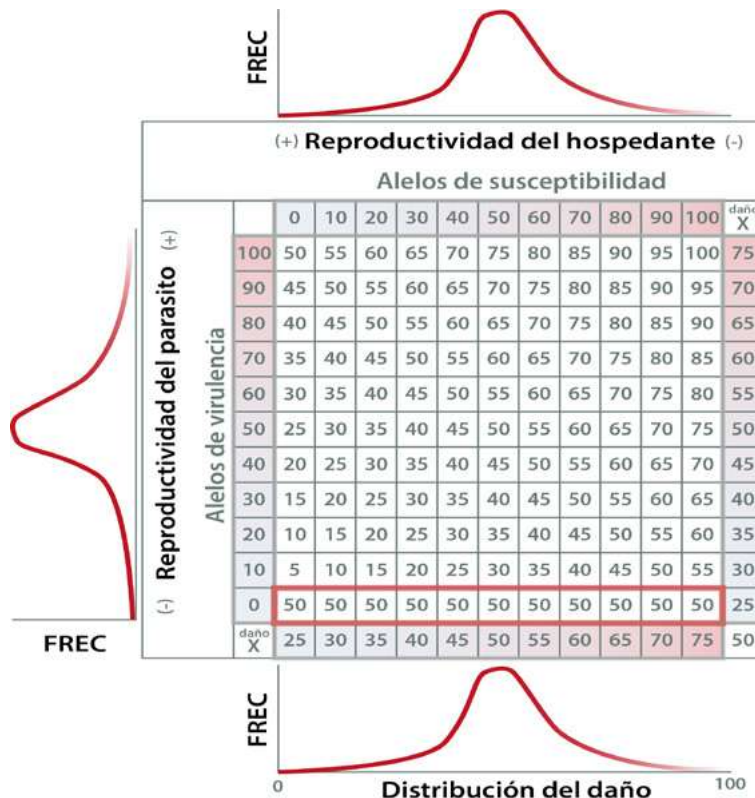


Figura 162. Modelo aditivo de resistencia horizontal de Person: distribución normal del daño por el patotipo sobre el patodemo. El daño (cuadro central) resulta de la suma de los multi poligenes del patodemo (susceptibilidad), más los multi poligenes del patotipo (virulencia), dividido por dos. Este modelo tiene el defecto de que se pueden "inducir daños" hasta de 50 % con cero alelos de virulencia del patotipo (la hilera encuadrada en rojo), cuando deberían tener un valor de cero.

(Esquema: E. Llanderal. Modificado de Robinson 1989)

El tiempo meteorológico de una estación puede favorecer al parásito de modo que el nivel de resistencia, que parecía adecuado, devenga deficiente, pero puede darse el caso contrario.

Los métodos de mejoramiento por RV horizontal son múltiples: masal, familiar, combinada, hibridación, etc.; hasta los procesos modernos de resistencia biotecnológica (RB) como la transgénesis y las ediciones genética y genómica.

La resistencia propuesta por Painter ha sido muy exitosa a pesar de las múltiples barreras que complican obtener resistencia poligénica hori-

zontal, en busca de metas agronómicamente aceptables.

Pero el refinamiento en el uso de herramientas genéticas moleculares, es decir, la resistencia biotecnológica (RB) está acrecentando la habilidad de identificar mejor los mecanismos y defensas vegetales, de tal suerte, que pronto estaremos alcanzando otros métodos de identificar y manipular nuevos fenotipos resistentes en cualquier cultivar, sin necesidad de introducirles genes de otras especies.

CONTROL BIOLÓGICO

Hugo César Arredondo Bernal y Martín Palomares Pérez

El control biológico, como ecología aplicada, se basa en la manipulación de los enemigos naturales y de algunos factores ambientales que ayuden a los organismos benéficos a incrementar su efectividad en el combate de plagas. Esta tecnología no solo actúa mediante el uso de los agentes bióticos, para inducir un ambiente menos adecuado a las plagas, sino que su mayor ventaja radica en que prolonga esta situación, es decir, su acción tiende a ser permanente: el aspecto más importante de tal tecnología. En este capítulo se analiza el concepto “control biológico”, su fundamento, metodología, tipos de enemigos naturales, sus atributos, y el método para evaluar su efectividad.

Fundamentos ecológicos

La estabilidad de los ecosistemas naturales se manifiesta por el equilibrio entre sus componentes. La densidad de una población cambia a través del tiempo; sus individuos mueren por vejez, inanición, factores climáticos, depredación, parasitismo y enfermedades; se reproducen y nuevos individuos se agregan o salen por inmigración o emigración; pero su valor tiende a oscilar alrededor de un promedio general, conocido como equilibrio poblacional (figura 163). Las poblaciones así dependen del control natural y de su potencial biótico; esto se conoce como “balance de la naturaleza”.

La resistencia ambiental es la suma de los factores que limitan el crecimiento de las poblaciones (temperatura, humedad, precipitación, abundancia de alimento y refugio, depredadores, parasitoides y patógenos, entre otros). El potencial biótico de un organismo se refiere al máximo grado inherente de reproducción bajo condiciones ambientales óptimas (Chapman 1931, Odum 1984).

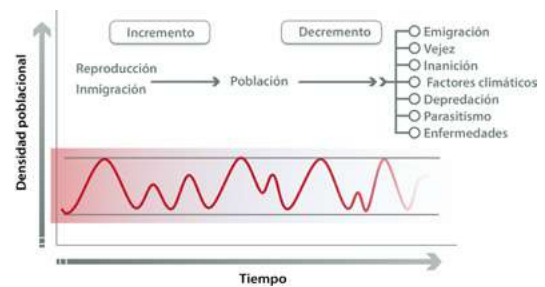


Figura 163. Cambios poblacionales de fitófagos en el ecosistema natural, debido a su potencial biótico y al complejo de factores que actúan sobre la población; la variación en densidad tiende a un promedio general de equilibrio. (Esquema: E. Llanderal)

Hay controversias respecto a los factores directamente involucrados en la regulación de poblaciones a través del tiempo. Algunos investigadores postulan que los factores bióticos son los únicos responsables, otros se inclinan por los factores climáticos, mientras que los terceros apoyan la acción conjunta.

Control natural incluye factores abióticos de mortalidad, que actúan independientes de la densidad poblacional y contra cierto porcentaje de la misma; por ejemplo, el efecto de la lluvia mata el mismo porcentaje de la población inde-

pendientemente que la plaga esté compuesta por 60, 600 o 6 millones de individuos por hectárea; lo mismo sucede con las temperaturas extremas y los insecticidas (Flint y van den Bosch 1981). La acción de un factor de “control” normalmente es corta, y la resurgencia de la plaga se da al poco tiempo (Rodríguez del Bosque 2019a) (figura 164).

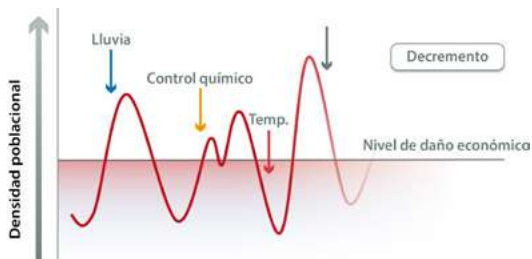


Figura 164. Factores abióticos de mortalidad que actúan independientemente de la densidad de población del organismo plaga. (Esquema: E. Llanderal)

En cambio, “regulación” implica un proceso que mantiene la población en equilibrio (en ecosistemas naturales) o dentro de límites que no provoquen daño económico (agroecosistemas forestales/agrícolas). Los factores ambientales bióticos, están condicionados por la densidad poblacional de la plaga; es decir, cuando crece la población plaga aumentan los enemigos naturales (parasitoides y depredadores). Cuando disminuye la población plaga se produce una retroalimentación, y el efecto que se presenta es regulativo, no de control (Flint y van den Bosch 1981). Lo anterior muestra que los procesos de **regulación** son diferentes a los del **control**. En sentido estricto, “control” involucra un efecto **densidad-independiente** (sin importar la densidad), con efectos cortos y fluctuaciones poblacionales muy variables.

En contraste, la “regulación” denota **densidad-dependiente**, (figura 165) la cual se inten-

sifica o relaja de acuerdo a la densidad de la plaga (Howard y Fiske 1911, Rodríguez del Bosque 2019a), y el efecto de la regulación es un equilibrio plaga-enemigos naturales “permanente”, a niveles superiores o inferiores.

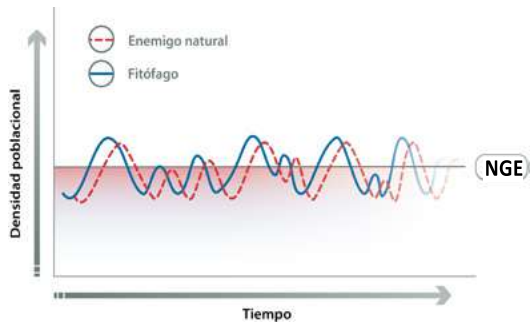


Figura 165. Efecto de los factores dependientes de la densidad poblacional sobre la población de un organismo; ambos fluctúan arriba y debajo de un “nivel general de equilibrio” (NGE). (Esquema: E. Llanderal)

Concepto de Control Biológico

“Control Biológico” es el uso de enemigos naturales como táctica para combatir insectos plaga. Aunque el término fue usado originalmente por Smith 1919, en la actualidad se ha ampliado y es controversial ya que implica aspectos académicos y prácticos (Wilson y Huffaker 1976, García *et al.* 1988, Eilenberg *et al.* 2001, Barrera 2015).

La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), define al control biológico como “el uso, contra plagas, de enemigos naturales, antagonistas o competidores vivos, u otras entidades bióticas capaces de reproducirse”, (NIMF 3 1996, NIMF 5 2002)¹.

¹ **Nota:** Hay posiciones académicas que sugieren el uso del término “Combate de plagas” en lugar de “Control”, debido a que el “Combate” implica la acción directa del hombre, mientras que la naturaleza ejerce un “control”. Aquí se manejarán indistintamente regulación, control y combate.

La resistencia vegetal y la técnica del macho estéril son supuestas formas de control biológico. Si consideramos que el control biológico es denso-dependiente y el abiótico no depende de la densidad, podemos aseverar que no son parte del control biológico, pues una planta resistente no aumentará su resistencia al aumentar la población plaga.

Con la técnica del macho estéril el comportamiento es similar: la liberación de machos estériles no aumenta si hay incremento de la población silvestre.

Desde el punto de vista económico, el control biológico implica la acción de parasitoides, depredadores y patógenos, para mantener la densidad de sus huéspedes y presas a un nivel más bajo del que existiría en su ausencia; igual que el uso de fitófagos y fitopatógenos para el control biológico de maleza. Una definición disciplinaria sería: **control biológico es el estudio, importación, conservación y aumento de enemigos naturales para suprimir poblaciones plaga** (Rodríguez del Bosque 2019b).

Tipos de control biológico

Hay diversas formas de control biológico y pueden ser usadas simultáneamente.

- Control biológico clásico o por importación de enemigos naturales.
- Control biológico neoclásico.
- Control biológico fortuito.
- Control biológico por incremento.
- Control biológico por conservación.

Control biológico clásico

Esta forma conlleva a importar enemigos naturales del lugar de origen del insecto plaga. Esto implica que la plaga no lo es en su centro de origen porque allí tiene enemigos naturales que

regulan su población, sin ocasionar daño económico. El insecto exótico se convirtió en plaga cuando, en su dispersión, normalmente por movilización de material vegetativo, no le acompañaron los factores regulatorios (enemigos naturales), desapareciendo el nivel general de equilibrio original (figura 166). Esta táctica se basa en buscar enemigos naturales en el lugar de origen de la plaga.

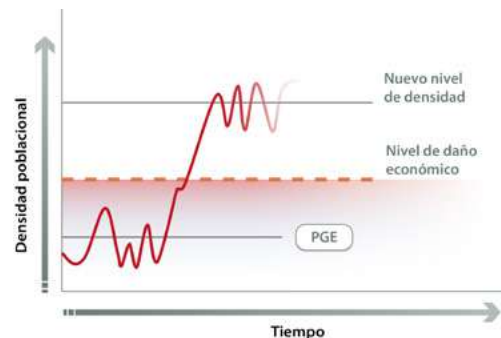


Figura 166. Comportamiento de una especie nativa o exótica cuando hay poca resistencia ambiental NGE= Nivel General de Equilibrio). (Esquema: E. Llanderal)

Aunque el principal objetivo del control biológico clásico son las plagas exóticas, también se ha aplicado a plagas nativas con importación de organismos benéficos exóticos. El primer éxito documentado fue el de la escama algodonosa de los cítricos, *Icerya purchasi* Maskell (Hemiptera: Margarodidae), en California, EE.UU., que fue controlada con la catarinita *Rodolia cardinalis* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) (figura 167) importada desde Australia en 1888.

En México, un caso exitoso fue el de la mosca prieta de los cítricos, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae), pues entre 1949 y 1950 la Dirección de Defensa Agrícola (hoy Dirección General de Sanidad Vegetal) realizó las primeras importaciones de las avispas de la familia Aphelinidae *Encarsia perplexa* Huang & Polaszek (= *Prospaltella opulenta* [Silvestri]), E.

clypealis [Silvestri] (= *P. clypealis*) y *E. smithi* (Silvestri) (= *P. smithi*) y el Platygasteridae *Amitus hesperidum* Silvestri (Jiménez-Jiménez 1958, Smith 1958 y Arredondo *et al.* 2008).



Figura 167. Adultos de *Rodolia cardinalis* depredando a *Icerya purchasi*, escama algodonosa de los cítricos. (Fotografía: <https://www.invasive.org//browse/detail.cfm?imgnum=5385575>. Florida Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Bugwood.org)

Otro caso es la conchuela del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae), (figura 168) de origen australiano, que fue combatida exitosamente con la importación, a México desde California, EE.UU., del parasitoide *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae) (Cibrián 2015).



Figura 168. *Glycaspis brimblecombei*, las ninfas se protegen con una cubierta cerosa. (Fotografía: D. Cibrián)

Las liberaciones, en este caso, se llaman “inoculativas” porque se libera un número limitado de especímenes con la expectativa de que se establezcan y se dé la regulación por ellos y su proge- nia (figura 169).



Figura 169. *Psyllaephagus bliteus*, hembra identificando a la ninfa de *Glycaspis brimblecombei* para ovipositar dentro de su cuerpo.

Control biológico neoclásico

Se pensó, en el pasado, que el control biológico clásico estaba limitado a plagas exóticas. Sin embargo, se ha demostrado que la importación de enemigos naturales exóticos también tiene potencial para regular plagas endémicas o nativas. Esta práctica se conoce como “Control Biológico Neoclásico” o “Control Biológico Clásico de Nueva Asociación” (Greathead y Waage 1983), que implica la asociación de un enemigo natural y un huésped o presa que no co-evolucionaron (Rodríguez del Bosque 2019b); un caso que ejemplifica esta práctica es la importación de diferentes especies de Braconidae para el control de mosca mexicana de la fruta (Aluja *et al.* 2008).

Control biológico fortuito

Implica la movilización accidental, pero favorable, de organismos benéficos exóticos a áreas nuevas donde se logra suprimir la población de una plaga; también se refiere a la regulación de

plagas exóticas por enemigos naturales nativos, sin la intervención del hombre (Rodríguez del Bosque 2019b); ejemplos son el control de los fitófagos exóticos *Phyllocnistis citrella* Stainton (minador de la hoja de los cítricos, Lepidoptera: Gracillariidae) (Bautista-Martínez *et al.* 2008) y *Aleurocybotus occiduus* Russell (mosquita blanca de los cereales, Hemiptera: Aleyrodidae) (Vejar y Rodríguez 2015) mediante entomófagos nativos.

Control biológico por aumento

El incremento de enemigos naturales implica usar especies nativas o exóticas, y producirlas masivamente para su liberación en campo, y bajen la densidad poblacional de la plaga por debajo del umbral económico. Esta forma es la que más se parece al uso de plaguicidas, ya que los enemigos naturales son utilizados como insecticida biológico (van Lenteren y Bueno 2003) porque se liberan periódicamente.

Involucra liberaciones inundativas de individuos que no se establecen en el agroecosistema; no obstante, el control se da mientras vive la población liberada, o se hacen liberaciones inculativas, esperando que el agente de control se multiplique y controle a la plaga por un tiempo determinado (Barrera 2015).

El control biológico por aumento está dirigido principalmente a plagas nativas. En muchas ocasiones los enemigos naturales se ven afectados por temperaturas extremas, aplicaciones excesivas y periódicas de agroquímicos, o escasez de fuentes de energía, entre otros factores. Para resolver este problema, se tiene que recolonizar inmediatamente, después que se presentan dichos periodos adversos; ejemplo de esta situación es descrita por Alvarado 1992 para el caso de *Trichogramma* en cultivo de hortalizas.

En el desarrollo tecnológico se busca obtener nuevas razas de enemigos naturales, mediante

cruzas selectivas que permitan tener individuos con mayor capacidad de supervivencia durante periodos adversos (DeBach 1964), además poder detectar mutaciones indeseables en la población de laboratorio y que puede tener repercusiones en campo.

Algunos ejemplos donde esta tecnología se ha aplicado contra plagas en México, son: En plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) se ha liberado con éxito al parasitoide *Anagyrus kamali* Morusi (Hymenoptera: Encyrtidae) y al depredador *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) para combatir la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* Green (Santiago-Islas *et al.* 2008) (figura 170).

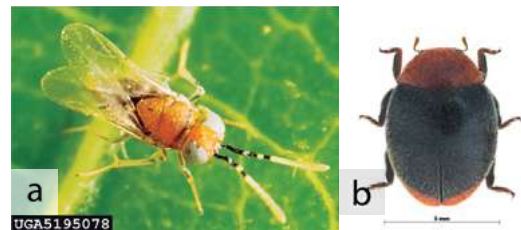


Figura 170. Enemigos naturales de la Cochinilla rosada.

(a) Hembra de *Anagyrus kamali*. (b) Adulto de *Cryptolaemus montrouzieri*. (Fotografías: a, J. W. Lotz, Florida Department of Agriculture and Consumer Services y b, J. M. Rodríguez, Centro Nacional de Referencia de Control Biológico)

En el sector agropecuario los ejemplos son: *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) para el control de mosca mexicana de la fruta (Aluja *et al.* 2008); *Encarsia formosa* (Gahan) y *Eretmocerus californicus* Howard (Hymenoptera: Aphelinidae) contra mosquita blanca (García-Valente y Ortega-Arenas 2008, Martínez *et al.* 2015); *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera, Pteromalidae) contra mosca doméstica y de los establos (Nava-Camberos y Ávila-Rodríguez 2008); *Trichogramma pretiosum* Riley y *T. exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para el control de gusanos

y barrenadores de caña de azúcar (Arredondo-Bernal 2015); *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) contra el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) (Sánchez-González *et al.* 2015).

También, se producen masivamente hongos entomopatógenos de las especies *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, *Beauveria bassiana* (Bals.) e *Isaria javanica* (Wize) Brown & Smith, para la regulación de poblaciones de mosquitas blancas en cítricos y hortalizas, pulgones, broca del cafeto y mosca pinta en caña de azúcar (Arredondo-Bernal 2019).

Estos hongos se han utilizado para control de las plagas forestales *Ocoaxo cardonai* Castro (Hemiptera Cercopidae) (figura 171) y *Zadiprion falsus* Smith (Hymenoptera: Diprionidae) (Cibrián 2017).



Figura 171. Control del salivazo de los pinos *Ocoaxo cardonai* con *Metarhizium anisopliae*. (Fotografía: D. Cibrián)

Control biológico por conservación

Se practica para ayudar organismos benéficos, exóticos o nativos, presentes en los agroecosistemas. Consiste en el establecimiento de prácticas culturales u otro tipo de modificaciones del ambiente, que directa o indirectamente ayuden

a preservar y aumentar su eficiencia, supervivencia, reproducción, y actividad como agentes de control biológico (Barrera 2015).

El táctica aumenta la posibilidad de que un enemigo natural exótico pueda establecerse; así como mejorar la acción de especies benéficas introducidas masivamente por incremento (Trujillo 1991).

Los procesos necesarios para establecer este tipo de control, deben fundarse en estudios que generen conocimientos de diferentes interacciones de los enemigos naturales con el agroecosistema, lo que hace imprescindible establecer perfiles higrotérmicos. Es importante determinar cuales plantas proporcionan sitios de refugio y apareamiento, alimento para los enemigos naturales adultos (como polen, néctar y secreciones melosas) que permitan la madurez gonadal, mayor longevidad y energía para la búsqueda de huéspedes o presas; así como presas y huéspedes alternos. También se debe reconocer el efecto tóxico de los productos químicos aplicados al cultivo o hábitat, y los factores climáticos adversos, de manera que, se pueda modificar el microclima del cultivo (William 1981, Schuster *et al.* 1976, Zandstra y Motooka 1978, DeBach 1964).

Un ejemplo es la aplicación de suplementos alimentarios para *Chrysoperla carnea* Stephens en campos de cultivo; esta fuente de alimento está compuesta de triptófano (aminoácido), levadura y azúcar; mientras el triptófano actúa como atrayente y permite la permanencia de *Chrysoperla* en el mismo sitio, la levadura y azúcar promueven la producción de huevos y oviposición (Hagen y Bishop 1979). La mezcla puede usarse para "sacar" a *Chrysoperla* de los cultivos cuando se pretenda hacer aplicaciones de agroquímicos, y una vez pasando el efecto del insecticida, colocar de nuevo la mezcla y reincorporar *Chrysoperla*.

Tipos de enemigos naturales

La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), define como enemigo natural a todo organismo que vive a expensas de otro y contribuye a limitar su población.

La definición incluye parasitoides, parásitos, depredadores, fitófagos y patógenos (NIMF 3 1996, NIMF 5 2007).

Los enemigos naturales utilizados como agentes de control biológico normalmente provocan la muerte de sus huéspedes o presas (Wilson y Huffaker 1976); los más comunes en programas de control biológico se listan a continuación:

Parasitoides

Son aquellos insectos que atacan otros artrópodos; de tamaño similar a su huésped y que se pueden desarrollar por dentro o fuera del mismo. El estado larvario es la fase parasítica, solo consume un huésped e invariablemente provoca su muerte. Los adultos son de vida libre y siempre están activos para buscar y parasitar otros huéspedes (figura 172).



Figura 172. Hembra de *Leptopilina boulardi*, parasitoides de larvas de *Drosophila* spp. (Fotografía: H. Arredondo)

Algunos ejemplos de parasitoides son las avispas del Orden Hymenoptera, que incluye a parasitoides de huevos de Trichogrammatidae, Mymaridae y Scelionidae, que atacan a especies de Lepidoptera; parasitoides de larva de Eulophidae, Braconidae y Encyrtidae que parasitan Lepidoptera y Hemiptera; parasitoides de pupas de Pteromalidae que ataca a Diptera; y parasitoides de adultos de la familia Tachinidae que atacan coleópteros plaga.

El término “parásito” es utilizado como equivalente a parasitoides, no obstante, se presentan diferencias entre un término y otro, ya que parásito es aquella especie animal que se alimenta de otro que es de mayor tamaño (huésped), al que generalmente no mata.

Depredadores

Son organismos que buscan, capturan y se alimentan de otros animales, conocidos comúnmente como presa, y generalmente de menor tamaño (figura 173).

Para completar su desarrollo requieren consumir varias presas; algunos se alimentan de una



Figura 173. Adulto de *Enoclerus arachnodes* depredador de descortezadores del género *Dendroctonus*. (Fotografía: J. Santillán)

diversidad de especies, por lo que son polífagos, mientras que los depredadores oligófagos tienen un rango menor de especies presa; los monófagos son más específicos.

Los adultos e inmaduros pueden tener la capacidad de alimentarse de sus presas, ejemplo especies de la familia Coccinellidae (figura 174), en otros casos oólo el estado larvario es depredador (ej.: especies de Chrysopidae).



Figura 174. Larva y de coccinélido, depredador de filoxeras en hoja de encino. (Fotografía: E. Llanderal)

Patógenos

Son hongos, bacterias, virus, nematodos y protozoarios que infectan, enferman y matan una diversidad de artrópodos. Cuentan con dos mecanismos de acción:

- Por contacto como los hongos que penetran al huésped por efectos físico-químicos.
- Por deglución, en el caso de bacterias, virus y protozoarios que deben ser ingeridos.

Debido a su rápida reproducción, son fáciles de producir en gran escala, y por su tamaño pueden aplicarse con equipo convencional para agroquímicos.

Ejemplos de microorganismos patógenos en el control biológico de plagas son la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* Berliner, utilizada para el control de lepidópteros y mosquitos; los nematodos *Steinernema feltiae* Filipjev y *Heterohabdithis bacteriophora* (Poinar) aplicados contra coleópteros y dípteros; y los hongos entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *M. acridum* Driver and Milner, *Lecanicillium lecanii* (Zimmerman), *Hirsutella thompsoni* Fisher, *Isaria javanica* (Bally) Samson & Hywel-Jones, *I. fumosorosea* Wize, *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., para abatir plagas de Lepidoptera, Hemiptera, Orthoptera, Diptera, Coleoptera (figura 175), entre otras (Arredondo 2015).



175. Adultos de *Ips lecontei* muertos por el hongo *Beauveria bassiana*. (Fotografía: J. Santillán)

Fitófagos y fitopatógenos

Son organismos que se alimentan de vegetales, útiles en el control de plantas invasoras o maleza; tienen alto grado de especificidad sobre su hospedera, por lo que se asegura que solo ataque a la maleza y no a otras plantas de importancia económica o agroalimentaria.

Entre los fitófagos se ubican los insectos, mientras que en los fitopatógenos se encuentran los virus, bacterias, nematodos, rickettsias, hongos y protozoarios.

Otros agentes de control biológico son los antagonistas y los competidores. El primer grupo contiene patógenos que no causan daño significativo a la planta hospedera, su colonización la protege de daños posteriores ocasionados por una plaga, mientras que los segundos compiten con la plaga por alimento o refugio (NIMF 5, 2007).

Atributos de los enemigos naturales

Ante el posible desarrollo de un programa de control biológico surge la pregunta de cuál especie benéfica utilizar. Desde el punto de vista económico, hay que seleccionar al enemigo natural capaz de regular la densidad de población de la plaga y mantenerla debajo del umbral económico (Doutt y De Bach 1964).

Stehr 1990 sugiere que un enemigo natural debe ser capaz de incrementar o disminuir su población de acuerdo al nivel poblacional de la plaga (debe ser denso-dependiente). De antemano, ni el comportamiento de las especies en el laboratorio, ni el papel en su lugar de origen son indicadores confiables de su efectividad contra una plaga en otro sitio; no obstante, existen características a considerar para seleccionar un enemigo natural que pueda ser efectivo sobre un insecto dañino.

Alta capacidad de búsqueda

Es la habilidad del parasitoide o depredador para encontrar a su huésped o presa inclusive a bajos niveles poblacionales. El éxito implica, primero, la localización del hábitat y luego la del huésped/presa (Doutt y DeBach 1964, Huffaker *et al.* 1971, Castañé 1995).

Especificidad

Hay controversia respecto al uso de una especie monófaga o una polífaga, pues la monófaga

puede ser más efectiva ya que dirigirá su actividad contra su especie "blanco", situación que no se presenta con especies polífagas ya que pueden atacar a las que no deben combatir.

Una alta especificidad es indicativa de adaptación al huésped/presa y de dependencia a su cambio poblacional (Doutt y DeBach 1964, Huffaker *et al.* 1971). La mayoría de los éxitos se han logrado con especies de hábitos específicos.

Alta capacidad reproductiva

Este atributo incluye alta fecundidad y un periodo corto de desarrollo, de tal manera que varias generaciones del organismo benéfico tengan lugar durante una generación del organismo a controlar y puedan afectar el mayor número de individuos plaga (Doutt y DeBach 1964, Jervis y Copland 1996).

Tolerancia a la heterogeneidad ambiental

Es preferible elegir un enemigo natural con amplio rango de tolerancia a factores climáticos, ya que le confiere capacidad de adaptación y supervivencia ante ambientes adversos, y le permite ocupar los mismos micro-ambientes que su huésped / presa (Huffaker *et al.* 1971, Van Alphen y Jervis 1996). También debe tener sincronía fenológica con su huésped/presa y capacidad de sobrevivir periodos en los que la víctima esté ausente (Huffaker *et al.* 1971).

Capacidad de modificar su densidad poblacional y la del huésped o presa

Mediante esto, los enemigos naturales intensifican o disminuyen su actividad a través de dos procesos:

- Respuesta funcional, que implica cambios de comportamiento en función de los cambios poblacionales del huésped/presa.

- Respuesta numérica, que es definida como la reacción en reproducción, inmigración y sobrevivencia de los agentes de control, según los cambios de densidad poblacional del huésped/presa (Doutt y DeBach 1964, Huffaker *et al.* 1971, Castañé 1995, Van Alphen y Jervis 1996). Difícilmente encontraremos un enemigo natural que posea todos los atributos mencionados; no obstante, habrá que decidirse por aquel que cumpla con la mayoría de ellos.

De ser posible, en programas de control biológico se deben incluir parasitoides de huevos, larvas, pupas y adultos. El efecto simultáneo de diferentes enemigos naturales, que afecten distintos estados de desarrollo del organismo a controlar se le conoce como parasitismo secuencial (Flanders 1965).

Evaluación de enemigos naturales utilizando tablas de vida

Una parte del control natural de las poblaciones plaga la ejercen los enemigos naturales (Evans 1984). Los parasitoides y depredadores buscan a sus huéspedes y presas en lugares donde éstos se encuentran, y la forma de medir su impacto como agentes de control biológico es a través de métodos de evaluación que demuestren su eficiencia en la supresión de sus poblaciones.

Desde el punto de vista práctico, hay dos maneras de determinar el papel de dichos enemigos naturales:

La primera compara la densidad de la plaga respecto a la abundancia de sus enemigos naturales de interés (DeBach y Bartlett 1964, Luck *et al.* 1988, 1999); este método requiere establecer parcelas con y sin los enemigos naturales a ser evaluados. En los proyectos de control biológico clásico, consiste en comparar la densidad de la

plaga antes y después de liberar al agente de control; o comparar la densidad de la plaga en parcelas con liberación del enemigo natural con parcelas sin liberación (testigo), ambas separadas espacialmente (Van Driesche *et al.* 2007).

La segunda involucra mecanismos de regulación poblacional a través del uso de modelos poblacionales y tablas de vida, que constituyen un componente importante para estimar la mortandad de una población de insectos (Varley y Gradwell 1970, 1971, Manly 1977, 1989, Bellows *et al.* 1992, Bellows y Van Driesche 1999, Badii *et al.* 2004).

La evaluación de enemigos naturales con tablas de vida representa una manera sinóptica y sintética de describir la supervivencia y la tasa de mortalidad de los individuos de una población, según la edad o un factor específico.

En la actualidad la tabla de vida se considera la herramienta más completa para analizar la mortalidad de una población plaga; permite determinar las probabilidades de supervivencia a una edad exacta o entre edades y compara las causas de mortalidad; esto permite valorar cómo el enemigo natural regula la población plaga (Van Driesche *et al.* 2007).

Existen diferentes formas de elaborar una tabla de vida, aquí se describe la que usa una cohorte, que se construye con cierto número (n) de individuos nacidos en el mismo intervalo de tiempo (la cohorte) y mide la supervivencia desde el nacimiento hasta la muerte del último individuo (Rabinovich 1980, Begon *et al.* 1988).

Los parámetros a evaluar en la tabla de vida de cohorte son los siguientes:

X = Edad por unidad de tiempo (días)

N_x = Número de individuos observados al inicio de cada estadio o estado

I_x = Proporción de sobrevivientes al inicio de edad x

- d_x = Número de muertos entre edades l_x y l_{x+1}
 q_x = Tasa de mortalidad (d_x / l_x)
 K = Fuerza de mortalidad
 $(K = \log_{10} a_x - \log_{10} a_{x+1})$
 L_x = Individuos vivos entre l_x y l_{x+1}
 T_x = Tiempo que falta vivir hasta la extinción
 $(\sum \text{inversa } l_x)$
 e_x = Esperanza de vida (T_x / l_x)
 m_x = Número de hijas producidas por unidad de tiempo.
 R_0 = Tasa neta de reproducción $\sum l_x m_x$

Al utilizar un enemigo natural como factor de mortalidad, la evaluación de los parasitoides o depredadores adquiere un significado real de supresión, pero solo cuando se estudia en conjunto con la mortalidad natural que sufre una plaga, desde que el huevo es depositado hasta la reproducción como adulto. En resumen, el efecto de los enemigos naturales es determinado por el nivel poblacional de la plaga en presencia de ellos, comparada con el nivel en su ausencia.

Para ejemplificar lo anterior, y con el fin de tratar de establecer una metodología útil en la evaluación de enemigos naturales en condiciones de campo, se describe a continuación el estudio del impacto que tuvieron las liberaciones del depredador *Ceraeochrysa valida* (Banks) (Neuroptera: Chrysopidae) sobre el psilido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), (Palomares-Pérez *et al.* 2016). Para contrastar los impactos de las liberaciones de *C. valida* sobre las condiciones naturales de supervivencia de *D. citri*, se construyeron cuatro tablas de vida de la plaga (cuadro 21a y b y cuadro 22a y b), estableciéndose, para cada intervalo de edad, los parámetros descritos anteriormente.

Las tablas de vida se construyeron mediante cohortes establecidas en árboles de limón mexicano. Las cohortes se formaron recolectando, en la misma huerta, 50 adultos de la plaga (1:1); se colocaron durante un periodo de 48 h en un brote tierno y limpio de 5 a 10 cm de longitud, para la oviposición. Para evitar la fuga de los insectos, el brote con los adultos fue cubierto con bolsas de tela de organza de 10x5x5 cm. Al transcurrir el tiempo establecido, se extrajeron y sacrificaron los adultos, se retiró la tela de organza y se registró, con ayuda de una lupa 10X, el número de huevos presentes en el brote.

Los huevos, y las ninfas que emergieron, se expusieron a los factores naturales de mortalidad, hasta completar su desarrollo. Los brotes tratados tuvieron liberación semanal de 20 larvas del segundo estadio de *C. valida*. Apoyados con la lupa, se realizaron observaciones del brote infestado y se registró la mortalidad individual durante periodos de 30 min, dos veces por día, para un total de 8 durante 4 h en intervalos de 24 h.

Se registró la ausencia del huevo o ninfa de la plaga y se identificó la especie o género de los depredadores o parasitoides observados con mayor frecuencia en una superficie de 40 x 40 cm alrededor del brote infestado. Los parámetros obtenidos se utilizaron para definir: la mortalidad real (relación entre el número de individuos que muere en una etapa [d_x] y el número inicial en la primera etapa de la tabla de vida), la mortalidad aparente (que sucede en ausencia del otro factor de mortalidad) (Bellows y Van Driesche, 1999), y la tasa neta de reproducción (R_0). Estos datos sirvieron para medir el impacto de la liberación del depredador.

Para asegurar la identidad de las especies que pudieran poner en duda la eficacia del depredador, se realizaron muestreos previos sobre los árboles experimentales.

Las tablas de vida demostraron que la mortalidad real de huevos y ninfas fue mayor en los tratamientos con liberación del depredador en tres de las cuatro tablas elaboradas (cuadros 21a y b y 22a), mientras que en la tabla de vida restante (cuadro 22b) la mortalidad real fue igual en ambos tratamientos, probablemente porque du-

rante la investigación hubo lluvia, factor importante de mortalidad en huevos y ninfas de la plaga. Los factores naturales, la infertilidad de los huevos, la liberación del depredador y la presencia de enemigos naturales, dieron como resultado mayor mortalidad real en el estado de huevo en las cuatro tablas de vida (cuadros 21 y

Cuadro 21. Tablas de vida de *Diaphorina citri* con y sin liberación de *Ceraeochrysa valida* en árboles de limón mexicano en condiciones naturales durante diciembre (2014) y enero (2015).

Estado	Factor de Evaluación	No. de Insectos (Ix)	No. de Muertos (dx)	k-valeé	Mortalidad		% K-valué	No. de Insectos (Ix)	No. de Muertos (dx)	k-valeé	Mortalidad		% K-valué
					Real	Aparente					Real	Aparente	
Diciembre 2014								Enero 2015					
a) Con liberación													
Huevos		215	185		0,86	0,86		112	70		0,62	0,62	
	Infértiles		49	0,11	0,22	0,22	22,8		20	0,08	0,17	0,17	17,9
	Depredados			136	0,74	0,63	0,63	82		50	0,34	0,44	0,44
Ninfas		30	25		0,11	0,83		42	25		0,22	0,59	
	Liberación de <i>C. valida</i> y otros enemigos naturales		25	0,77	0,11	0,83	83,3		21	0,3	0,18	0,5	50
	Parasitada		0	0	0	0			4	0,09	0,03	0,09	19,1
	Lluvia		0	0	0	0			0	0	0	0	
Adulto		5						13					
	Rela. sexual	0,5						0,5					
	F1 progenie	35						66					
	Ro	0,16						0,58					
Total				1,62	0,96		97,7			0,93	0,84		88,9
b) Sin liberación													
Huevos		158	118		0,74	0,74		150	42		0,28	0,28	
	Infértiles		32	0,09	0,2	0,20	20,3		30	0,09	0,2	0,2	20
	Depredados		86	0,49	0,54	0,54	68,2		12	0,04	0,08	0,08	10
Ninfas		40	16		0,1	0,40		108	50		0,33	0,23	
	Depredación		15	0,2	0,09	0,37	37,5		50	0,27	0,33	0,46	46,3
	Parasitada		0	0	0,00	0,00	0		0	0	0	0	0
	Lluvia		0	0	0	0			0	0	0	0	
Adulto		23						32					
	Rela. Sexual	0,5						0,50					
	F1 progenie	115						176					
	Ro	0,72						1,17					
Total				0,78	0,93		85,4			0,67	0,44		76,3

22). La mortalidad real de ninfas fue mayor en tres tratamientos; en el tratamiento con liberación (cuadro 21a), la mortalidad se debió al parasitoide *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae).

En las tablas de vida sin liberación del depredador, la tasa neta de reproducción, R_0 (cuadros

21b y 22b) (Palomares-Pérez *et al.* 2016) estuvo cerca o por arriba de la unidad, lo que implica aumento de la población plaga, resultado contrario a las liberaciones, donde R_0 (cuadros 21a y 22a) estuvo debajo de la unidad.

Esto indica que la población plaga decreció con la liberación del depredador. En presencia de

Cuadro 22. Tablas de vida de *Diaphorina citri* con y sin liberación de *Ceraeochrysa valida* en árboles de limón mexicano en condiciones naturales durante febrero y marzo (2015).

Estado	Factor de Evaluación	No. de Insectos (lx)	No. de Muertos (dx)	k-valué	Mortalidad		% K-valué	No. de Insectos (lx)	No. de Muertos (dx)	k-valué	Mortalidad		% K-valué
					Real	Aparente					Real	Aparente	
Febrero 2015								Marzo 2015					
a) Con liberación													
Huevos		196	128		0,65	0,65		154	40		0,25		
	Infértiles		70	0,19	0,35	0,35	35,7		30	0,09	0,19	0,19	19,5
	Depredados		58	0,25	0,29	0,29	46		10	0,03	0,06	0,06	8,1
Ninfas		68	68		0,34	1,00		114	102		0,66	0,89	
	Liberación de <i>C. valida</i> y otros enemigos naturales		4	0,02	0,02	0,05	5,9		102	0,97	0,66	0,89	89,5
	Parasitada		0	0	0	0			0	0	0	0	
	Lluvia		63	1,8	0,32	0,92	98,4						
Adulto		1						12					
	Rela. Sexual	0						0,5					
	F1 progenie	0						75					
	R_0	0						0,48					
Total				2,29	1	99,4			1,10	0,99		92,2	
b) Sin liberación													
Huevos		260	210		0,8	0,8		127	31		0,24	0,24	
	Infértiles		72	0,14	0,27	0,27	27,7		20	0,07	0,15	0,15	15,8
	Depredados		132	0,52	0,50	0,50	70,2		11	0,04	0,08	0,08	10,3
Ninfas		56	50		0,19	0,89		96	71		0,55	0,73	
	Otros		7	0,05	0,02	0,12	12,5		71	0,58	0,55	0,73	74
	Parasitada			0,69	0,14	0,67	85,7		0	0	0	0,00	
	Lluvia		38										
Adulto		7						25					
	Rela. sexual	0,5						0,50					
	F1 progenie	32						137					
	R_0	0,12						1,07					
Total				1,56	1,00	97,3			0,70	0,80		80,3	

lluvia, R_0 con y sin liberación (cuadro 21a y b) (Palomares-Pérez *et al.* 2016) estuvo por debajo de la unidad, implicando que el comportamiento de la población plaga en ambos tratamientos fue afectada por ella. Para evaluar la eficacia de un depredador o parasitoide se requiere un análisis de la acción de este enemigo natural expresada en mortalidad parcial, y lo que aporta a la mortalidad total de la plaga.

Para este caso, se ejemplifica el estudio de Palomares-Pérez *et al.* 2016 que evaluaron la capacidad de depredación de *C. valida* sobre *D. citri* en condiciones naturales; en su estudio, fueron expuestas, durante 24 h, 20 larvas del segundo estadio del depredador sobre los cinco estadios ninfales de la plaga. Se realizaron 4 repeticiones y se compararon contra cuatro brotes sin liberación. Con la ayuda de una lupa de 10X,

previamente contaron el número de ninfas presentes en los brotes, y por diferencia se calculó la cantidad de muertos. De igual forma se identificaron los factores naturales (parasitoides, depredadores, y condiciones ambientales) que modificaron la mortalidad de la plaga durante el ensayo.

En el cuadro 23 se observa que la acción de los enemigos naturales y las condiciones ambientales ejercieron una mortalidad sobre la plaga de 23.02%. La misma tabla indica que si se libera al depredador bajo las mismas condiciones naturales, la mortalidad aumenta a 73.51%.

En resumen, el efecto real de la acción de los enemigos naturales es determinado por el nivel que alcanza la plaga en presencia de los parasitoides o depredadores, comparada con el nivel de la plaga en ausencia de ellos.

Cuadro 23. Mortalidad a las 24 h de *Diaphorina citri* con y sin liberación de *Ceraeochrysa valida* en árboles de limón mexicano en Tecomán, Colima, durante diciembre de 2014 a marzo de 2015.

Tratamiento	Meses	No. de individuos	No. de muertos	% de muertos
Liberación	*Diciembre	440	349	79.31
	Enero	175	121	69.14
	Febrero	145	97	66.89
	Marzo	184	127	69.09
	Total	944	694	73.51
Sin Liberación	*Diciembre	200	50	25.5
	Enero	155	32	20.64
	Febrero	99	22	22.22
	Marzo	63	15	23.81
	Total	517	119	23.01

*Año 2014

CONTROL FÍSICO

David Cibrián Tovar y Sergio Arturo Quiñonez Favila

Las tácticas de control físico de insectos de importancia agrícola fueron revisadas por Vincent *et al.* 2001, 2003 y 2009. Se utilizan para limitar o impedir el acceso a un cultivo, inducir cambios de comportamiento o causar daño o muerte de los insectos. Generalmente no interfieren con otros métodos de control y se pueden combinar con algunos de ellos.

El control físico se divide en métodos pasivos y activos, los pasivos causan cambios en el ambiente que rodea a los insectos objetivo y son de mayor duración que los segundos.

Los métodos activos se utilizan para destruir, dañar o inducir estrés en los insectos, así como para removerlos y se clasifican de acuerdo al modo de energía que utilizan: calor, radiación

electromagnética, destrucción mecánica (también llamado control mecánico) y medios neumáticos.

Con base en Vincent *et al.* 2009 se propone el cuadro 24 que incorpora los métodos de control que se tienen documentados, la mayoría en insectos forestales con algunos ejemplos de importancia agrícola.

Cuadro 24. Clases de tácticas físicas para el combate de insectos forestales.

Clase pasivos	Método	Ejemplos de plaga a combatir	Escenario forestal donde se aplica	Citas
Pasivos	Adhesivos incoloros	Barrenadores de la madera	Áreas urbanas y plantaciones	Fonseca <i>et al.</i> 2009 Yang <i>et al.</i> 2019
	Trampas adhesivas de color	Insectos voladores, mosquitas fungosas y mosquitas blancas	Viveros, plantaciones y áreas urbanas	Bethke y Dreistadt 2013 Castresana 2016
	Forrado de brotes o ramas	Insectos voladores	Plantaciones	Zarate 1989 Augusto 2007
	Barreras de exclusión	Insectos voladores	Invernaderos y viveros	Serrano 2011
	Aceites minerales o comestibles	chupadores de savia y ácaros fitófagos	Viveros, plantaciones y áreas urbanas	Martínez <i>et al.</i> 2003 Orozco <i>et al.</i> 2016
	Jabones y detergentes	Chupadores de savia y ácaros fitófagos	Viveros, plantaciones y áreas urbanas	Ware 1994
	Tierras de diatomeas naturales	Insectos de granos almacenados y chupadores de savia	Semillas y áreas urbanas	Korunic 2016 Korunic <i>et al.</i> 2016
	Sustancias minerales, arcillas y caolín	Chupadores de savia	Áreas urbanas	Vincent <i>et al.</i> 2003
	Modificación de atmósfera	Barrenadores de semillas	Semillas y frutos	Brackman y Guedes 1995

Clase activos	Método	Ejemplos de insectos plaga a combatir	Escenario forestal donde se aplica	Citas
Mecánico	Fragmentación y trituración	Descortezadores	Bosques naturales, plantaciones y áreas urbanas	Cibrián <i>et al.</i> 2014
	Recolecta y destrucción manual	Barrenadores de conos, gusanos de bolsas y hormigas arrieras	Bosques naturales	Cibrián <i>et al.</i> 1995, Escobar <i>et al.</i> 2002.
	Lavado de follaje	Chupadores de savia y defoliadores	Áreas urbanas y viveros	Carrano 2014
	Aspirado o soplado	Chupadores de savia	Áreas urbanas	Carrano 2014
Térmico	Quema de corteza o trocería	Descortezadores	Bosques naturales	Cibrián <i>et al.</i> 2013
	Quemas controladas de vegetación	Defoliadores y barrenadores de conos	Bosques naturales	Miller 1978
	Solarización de trocería	Descortezadores	Bosques naturales	Castellanos <i>et al.</i> 2013
Agua	Agua caliente, vapor o inmersión	Barrenadores de semillas	Viveros	Fisher <i>et al.</i> 1993
	Inmersión de trocería en agua	Barrenadores de madera	Bosques naturales	Knigth y Heikkenen 1980
	Aspersión continua sobre trocería	Descortezadores y barrenadores ambrosiales	Bosques naturales	Nijholt 1978

Tácticas pasivas

Adhesivos incoloros

Son pegamentos de alta persistencia que toleran los cambios de temperatura y humedad. Los troncos se impregnan para atrapar insectos de pequeño a mediano tamaño, y se sugiere su uso en plantaciones de árboles de navidad para prevenir infestaciones de barrenadores de la base del tronco, bupréstidos y tortricidos. Fonseca *et al.* 2009 realizaron estudios sobre secuencia de arribo de barrenadores y descortezadores en pinos afectados por incendios forestales, para lo cual usaron Stickem® un pegamento de alta densidad que soporta gran variedad de climas manteniéndose la adherencia durante varios meses. Se aplica en superficies de cartón, plástico, madera o metal.

Trampas adhesivas de color

Se utilizan en ambientes cerrados como invernaderos y por lo general son bobinas de 30 kg de plástico de 60 cm de ancho y calibre 350 (figura 176).



Figura 176. Rollos de plástico amarillo con pegamento para capturar insectos voladores dentro de invernaderos.

Las trampas cromáticas de color amarillo o azul, se cubren por las dos caras de una sustancia adhesiva que puede ser aceite vegetal, grasa de carro, manteca o pegamento especial como el Stickem. El amarillo de la trampa funciona como estímulo que genera respuesta de mosco fungoso, pulgones y moscas blancas (Castresana 2016).

Forrado de brotes o ramas

El algodón o telas de materiales sintéticos se utilizan para proteger yemas y brotes de crecimiento. Augusto 2007 protegió brotes de crecimiento en plantaciones de cedro y caoba de uno a tres años de edad usando algodón, con el que empaquetó dichos brotes durante la época de crecimiento vegetativo, de marzo a septiembre, con el objetivo de evitar la oviposición de la palomilla *Hypsipyla grandella* Zeller, con resultados significativos en la protección del brote de crecimiento, ya que hubo mayor promedio de altura en los árboles tratados que en los testigos, en tres de los cuatro experimentos.

Barreras de exclusión de tela de propileno

Se utiliza entre la planta y los insectos fitófagos. Se trata de una "tela" no tejida de polipropileno, estabilizado contra rayos ultravioleta para evitar el daño y deterioro del sol; es resistente, liviana y permite el paso del agua y el 85 % de la luz solar, por lo que tiene muy poco efecto en la fotosíntesis y el desarrollo normal de las plantas. Además de protección fitosanitaria, protege del frío y las heladas, granizo y lluvia fuerte. Por su durabilidad se puede reutilizar durante varios ciclos de cosecha. Se ofrece en rollos de diferentes medidas para cubrir todo tipo de cultivos, plantaciones, arboles, etc. Con este tipo de material, u otro parecido, se hacen bolsas para pro-

teger frutos en desarrollo. También se pueden proteger brotes de crecimiento de cedro y caoba (Serrano 2011).

Aceites minerales

Son derivados de petróleo de alta refinación y actúan por contacto al bloquear los orificios de respiración o espiráculos de los insectos.

Están formados por una mezcla de hidrocarburos saturados y no saturados, los saturados son estables a la luz y la temperatura, poco fitotóxicos y con propiedad insecticida regular. Los no saturados son fitotóxicos, con alto poder insecticida, inestables a la luz.

En un aceite mineral que se puede aplicar en todo tiempo, la proporción de hidrocarburos saturados es mayor que los no saturados, en un aceite de invierno la proporción de hidrocarburos no saturados es mayor. Combaten insectos pequeños de cuerpo blando que estén expuestos sobre follaje y ramas (Martínez-Ferrer *et al.* 2003). En altas temperaturas pueden ser fitotóxicos. En la etiqueta de estos productos se mencionan los fitoquímicos que no se deben mezclar; por ejemplo, azufre, fertilizantes foliares a base de nitrógeno e insecticidas como dimetoato y carbaril.

Jabones y detergentes

Se utilizan contra insectos de tamaño pequeño y cuerpo blando que viven expuestos sobre follaje y ramas, como psíidos, pulgones, mosquitas blancas, filoxeras, escamas y otros. Matan por deshidratación al modificar la cubierta cerosa del exoesqueleto de los insectos. Son sales alcalinas de ácidos grasos, existen jabones con base en sales de potasio y jabones de sales de sodio, ambos solubles en agua; aunque los primeros son más eficaces. En el mercado se conocen como jabones agrícolas (Ware 1993).

Tierras de diatomeas naturales

Korunic 2013 y Korunic *et al.* 2016 hicieron una revisión del uso de las tierras de diatomeas en el combate de insectos, principalmente de aquellos que atacan granos almacenados; son tierras de varios colores, con pH variable, insolubles en agua, con bajo contenido de humedad, no inflamables, formadas por sílice amorfo en su mayoría, derivadas de diatomeas fosilizadas.

Tienen un bajo porcentaje de sílice cristalino, el cual es potencialmente carcinogénico en humanos, lo que representa alto riesgo a la salud de los aplicadores, si inhalan continuamente los polvos.

Las partículas miden de 1 a 150 micras, tienen poros pequeños, internos y con capacidad de absorber ceras de la epicutícula de los insectos, lo que daña la capa cerosa y por lo tanto ocasiona la pérdida de agua y su muerte. A pesar de estas propiedades se utilizan en ambientes cerrados y poco en arboricultura para control de chupadores de savia.

En Brasil, Ferreira *et al.* 2015 intentaron controlar hormigas arrieras con tierra de diatomeas, pero los resultados no fueron exitosos.

Sustancias Minerales

El caolín (silicato de aluminio hidratado) es el que más se utiliza como barrera física, se adhiere al cuerpo provocando irritación y repelencia, previene la oviposición en psílidos, pulgones, picudos, algunas palomillas, se utiliza en huertos de frutales, principalmente perales (Vincent *et al.* 2003)

Modificación de atmósfera

Se utiliza como táctica de combate en frutos y semillas de exportación. En cámara especiales se aumenta la concentración de CO₂, con lo que se disminuye el contenido de oxígeno.

Métodos activos.

Tácticas de combate mecánico

Son métodos que van de simples a complejos, efectivos y de disponibilidad inmediata, de costos variables, y poco contaminantes. Algunos demandan gran cantidad de mano de obra. Se utilizan para matar directa o indirectamente por fragmentación, por exposición de sustratos que contienen larvas o adultos y por recolecta directa de insectos o de las estructuras vegetales infestadas. A continuación, se exponen algunos ejemplos.

Fragmentación de la corteza y trituración de troncos y ramas

Descortezadora acoplada a motosierra, para el control de insectos descortezadores se utiliza una descortezadora acoplada a motosierra, que tiene cuchillas de corte alojadas en un tambor cilíndrico propulsado por la cadena conectada al motor de la motosierra (figuras 177 y 178).



Figura 177. Descortezadora acoplada a la espada de la motosierra. El tambor y las cuchillas curvas se adaptan a la curvatura de los troncos infestados.

(Fotografía: A. Llanderal)

Cuando las cuchillas pasan sobre la corteza la fracturan en pequeñas porciones de menos de 1 cm de longitud, que pueden llevar insectos en su interior, pero salen del cilindro de la maquina a más de 100 km/hora y golpean la carcasa en donde está alojado el cilindro, los insectos mueren al ser cortados por las cuchillas o por el golpe al ser expulsados.



Figura 178. Descortezadora adaptada a la espada de la motosierra. (Fotografía: S. A. Quiñonez)

En el cuadro 25 se muestra el resultado logrado en trozas descortezadas en comparación con datos obtenidos en trozas testigo (Cibrián *et al.* 2014).

Cuadro 25. Efectividad de la descortezadora en el combate de descortezadores de pino.

Muestras de 10 x 20 cm	Número de trozas	Media de insectos vivos por unidad de muestreo	Error estándar
Testigo	8	26.4	7.06
Descortezadora	10	0.34	0.09

Astilladora

Para combatir insectos descortezadores que atacan ramas y puntas delgadas se sugiere la utilización de astilladoras movidas por motor diésel o gasolina (figura 179). Son equipos con capacidades y tamaños variados.

Para el control de *Dendroctonus* e *Ips*, Cibrián *et al.* 2013 Y 2014 probaron dos modelos de astilladora. El primero fue la Bandit 150XP que acepta troncos de diámetros máximos de 30 cm.

Las pruebas se hicieron con trocería de *Pinus cooperi* Blanco y *P. engelmannii* Carr. atacada por *Ips lecontei* Swaine y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, en el Rancho Santa Bárbara, Durango, Dgo. Se seleccionaron 20 trozas, 10 de ellas como testigo de las que se extrajeron los descortezadores, con una media de 12.7 individuos por unidad de muestreo (U.M.) de 20 X 20 cm; posteriormente se astillaron 10 trozas hermanas y se revisó el material resultante, encontrando una media de 0.004 descortezadores por U.M., lo que arroja una efectividad del 99.9% de combate de descortezadores (Cibrián *et al.* 2014).



Figura 179. Astilladora de gran capacidad marca Bandit, modelo 150. (Fotografía: S. A. Quiñonez)

El segundo ensayo fue con una astilladora FARMÍ, modelo CH160 que acepta troncos de diámetros máximos de 11 cm. En este equipo se procesaron troncos de 1.20 m de largo infestados por *Dendroctonus mexicanus*, igual que el caso anterior, se tuvieron trozas testigo. De ambos grupos se calculó la superficie de corteza infestada, la cual se transformó a unidades de muestreo rectangulares de 10 X 20 cm.

Se tuvieron tres trozas por árbol (6 en total) más dos trozas como testigo. Posteriormente, se contó el número de descortezadores vivos correspondientes a cada grupo. Los valores obtenidos se resumen en el cuadro 26.

Cuadro 26. Supervivencia de individuos de *Dendroctonus mexicanus* en trozas sometidas a la astilladora Farmi.

Grupo	N	Número promedio de insectos vivos	Desviación estándar	Error estándar
Testigo	2	8.03	5.97	4.22
Astilladora	6	0.02	0.04	0.01

Recolección y destrucción manual

Consiste en la recolección de los insectos o de las estructuras infestadas y su posterior destrucción.

Por ejemplo, conos infestados por el barrenador *Conophthorus edulis* Hopkins, plaga de los pinos piñoneros. Los insectos estarán dentro de los conillos desde agosto hasta abril del año siguiente, por lo cual hay suficiente tiempo para hacer recolectas masivas de ellos, trabajo manual de recolección que pueden hacer los ejidatarios o poseedores de los piñonares, ya que los árboles son de bajo porte y con ramificación abundante que facilita la trepa y el desplazamiento por la copa (Cibrián *et al.* 2018).

Otros insectos que se pueden combatir por recolección son los gusanos de bolsa *Malacosoma incurvum aztecum* (Neumogen), (Lepidoptera: Lasiocampidae) de la zona chinampera de la Ciudad de México, que infestan los ahuejotes (*Salix bonplandiana* Kunth); la mayoría de las larvas son de hábitos nocturnos, por lo que durante el día están dentro de las bolsas y es cuando se pueden recolectar y destruir (Cibrián *et al.* 1995).

La recolección de bolsas con larvas de *Gloveria* sp. (Lepidoptera: Lasiocampidae) también se ha llevado a cabo en rodales de pino piñonero.

La extracción con pala recta y muerte de las nuevas reinas de hormigas arrieras, en los nuevos hormigueros en el suelo, es una táctica exitosa para prevenir el desarrollo en plantaciones forestales, áreas urbanas y viveros. La inspección en búsqueda de nuevos nidos se realiza en la segunda mitad del año, cuando los montículos son fácilmente visibles y la tierra está suave (Escobar *et al.* 2002).

Lavado de follaje

En viveros forestales, plantaciones de árboles de navidad y en árboles urbanos de alto valor económico, se pueden usar chorros de agua para eliminar insectos frágiles, sésiles o de lento movimiento, como pulgones, pulgones lanígeros, mosquitas blancas y escamas; también se pueden “lavar” ácaros del follaje.

Cuando al chorro de agua se agrega un detergente o jabón insecticida, el control es más efectivo. Los jabones potásicos actúan por contacto, y los activos del producto disuelven las capas del exoesqueleto, lo que ocasiona deshidratación y muerte.

En arbustos y árboles en jardines de casas o parques, el uso de estos jabones es altamente recomendable, ya que sustituyen a insecticidas químicos de mayor impacto ecológico (Carrano 2014).

Tácticas térmicas

Los insectos tienen un rango de temperatura en el cual se pueden desarrollar, reproducir, migrar, etc. En una parte del rango está la temperatura óptima de desarrollo y en los extremos existen condiciones que los obligan a un desarrollo más lento y mueren más allá de dichos extremos.

En un modelo de influencia de la temperatura, en el tiempo, se tendrá una curva en forma de J invertida (figura 180).

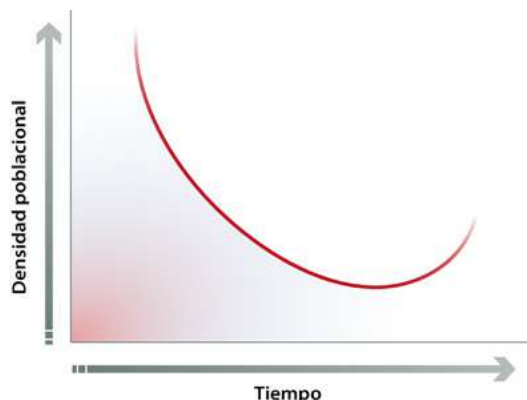


Figura 180. Variación en el tiempo de desarrollo de una especie de insecto. En la medida en que incrementa la temperatura se tendrá un desarrollo más rápido, hasta que se llega a un óptimo, y posteriormente al seguir aumentando la temperatura se requiere más tiempo hasta que llega a una temperatura letal. (Esquema: E. Llanderal)

En función de la temperatura, la tasa de desarrollo adopta la curva de la figura 181 en la que el límite térmico inferior se aproxima a cero en forma asintótica, lo que se debe a que los insectos sobreviven largo tiempo a temperaturas inferiores; en cambio, en el otro extremo, la temperatura óptima está cercana a la temperatura letal máxima. En ambos extremos es difícil determinar con precisión el umbral de muerte (Pedigo y Rice 1996).

Uso de fuego para control de insectos descortezadores

En Chihuahua, Cibrián *et al.* 2013 experimentaron el fuego para el control de *Dendroctonus mexicanus* e *Ips lecontei*, en trocería de *Pinus arizonica* Engelman, demostraron que el fuego es una alternativa eficiente para el combate de

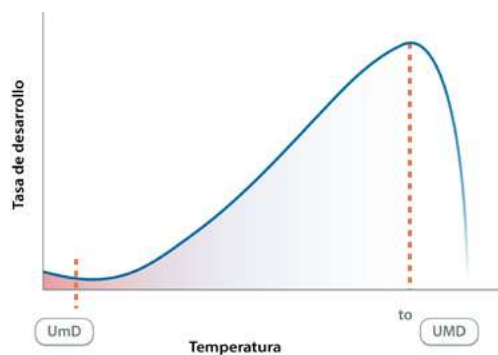


Figura 181. Efecto de la temperatura en el desarrollo del ciclo biológico de un insecto. En la temperatura más baja la curva se aproxima a cero de manera más lenta que en el extremo de alta temperatura. (Esquema: E. Llanderal)

descortezadores de pino, aunque tiene el inconveniente que cuando se queman trozas completas, la pira de incineración requiere largo tiempo de consumo, en ocasiones más de 24 horas; en consecuencia, un incremento en costos de vigilancia de la hoguera; además en presencia de vientos, existe el riesgo de causar incendios que pueden quedar fuera de control. El aporte de gases de efecto invernadero a la atmósfera por combustión de madera es otro impacto no deseado.

En la Norma Oficial Mexicana 019 (SEMARNAT 2019) el uso de fuego está autorizado para el control de descortezadores y en ella se describe la quema de puntas, ramas o arbolado con diámetros entre 5 y 15 cm de fuste con corteza; esta quema se debe hacer en fosas o en pilas, evitando que las ramas gruesas alcancen el estado de ceniza. Al término de la quema se debe asegurar que el fuego esté totalmente apagado y observar lo establecido en la legislación y la Norma Oficial Mexicana 015 (SEMARNAT 2007).

En el estudio de Cibrián *et al.* 2013, se seleccionaron tres árboles infestados por *Ips lecontei* en los que había larvas y adultos en el tronco y en

todas las ramas. De estos árboles se utilizaron 60 ramas infestadas de 30 cm de longitud que fueron elegidas al azar y clasificadas de acuerdo a dos categorías de diámetro: grueso entre 10-15 cm de diámetro, y delgado los menores de 10 cm.

Se apilaron ramas para crear tres fogatas con alturas de 100, 70 y 40 cm.; las trozas se expusieron al fuego durante 5, 10 y 15 minutos, con tres repeticiones por tratamiento (figura 182). Las mediciones por quema fueron: altura de llama y temperatura (figura 183).



Figura 182. Preparación de hogueras para medir altura de flama, temperatura y efectividad de muerte de insectos descortezadores. (Fotografía: S. A. Quiñonez)

De las trozas testigo, seleccionadas al azar, se extrajeron las larvas, pupas y adultos de *Ips lecontei* y sus depredadores. Los conteos totales, se convirtieron para estimar el número de insectos por unidad de muestreo de 200 cm²; estos valores se compararon con los conteos realizados en las ramas quemadas, las cuales se retiraron del fuego después del tiempo programado, cuando la corteza chamuscada, tenía color negro, pero con el floema y madera calientes; la temperatura, al ser retiradas se midió con termómetros de superficie; de las trozas chamuscadas se extrajeron las larvas, pupas y adultos, determinando su condición de vida o muerte.



Figura 183. Proceso de quema y altura de flama en hogueras de dos tamaños. (Fotografías: S. A. Quiñonez)

Los datos se convirtieron a unidades de muestreo de 400 cm². En el cuadro 27 se muestran los resultados, constatando que la muerte de los insectos y de sus depredadores fue del 100% en todos los tratamientos, incluso en el que tuvo 5 minutos de exposición al fuego.

Cuadro 27. Supervivencia promedio de individuos de *Ips lecontei* por unidad de muestreo de 400 cm² en trozas de *Pinus arizonica* sometidas a tres tiempos de exposición al fuego.

H	CAT	T	A	UM	VIVOS	MUERTOS
100	D	15	5,625	28.1	0	0
		10	5,002	25.0	0	0
		5	4,546	22.7	0	34
	G	15	8,935	44.7	0	3
		10	10,632	53.2	0	1
		5	14,490	72.5	0	58
70	D	15	6,619	33.1	0	72
		10	5,401	27.0	0	4
		5	6,542	32.7	0	15
	G	15	14,444	72.2	0	165
		10	11,164	55.8	0	60
		5	8,537	42.7	0	13
40	D	15	7,042	35.2	0	0
		10	5,949	29.7	0	2
		5	4,980	24.9	0	0
	G	15	12,398	62.0	0	69
		10	14,060	70.3	0	87
		5	10,851	54.3	0	116
T e s t i g o	D	T	2,640	13.2	90	0
		T	2,543	12.7	42	0
		T	1,826	9.1	13	0
	G	T	3,687	18.4	15	0
		T	4,276	21.4	180	0
		T	5,093	25.5	69	0

- **H**, altura en centímetros de la pila.
- **CAT**, categoría de diámetro (**G**, grueso o **D**, delgado).
- **T**, tiempo en minutos de exposición al fuego.
- **A**, área total de corteza en cm² de las trozas,
- **UM**, número de muestras de 20 X 20 cm presentes en **A**.
- **VIVOS**, número de adultos de *Ips lecontei* vivos por unidad de muestreo.
- **MUERTOS**, el número de adultos de *Ips lecontei* muertos por unidad de muestreo.

La conclusión del estudio, es que el uso de fuego por periodos cortos combate los insectos y no hace falta llegar al punto de incineración de la madera infestada.

Quemas controladas de vegetación

Se utilizan para el control de insectos que bajan al suelo a pupar. La vegetación herbácea de áreas y rodales semilleros de pino, se quema para incinerar conos caídos, en cuyo interior existen larvas y pupas de *Cydia* (Lepidoptera: Tortricidae) o de *Megastigmus* (Hymenoptera: Torymidae) (Miller 1978 y Cibrián *et al.* 1998,).

También se utiliza este método para control de larvas de las moscas sierra *Zadiprion* y *Neodiprion* que han bajado de la copa del árbol para pupar o de pupas que ya están enterradas. Se escarifica el suelo para exponer los capullos donde están larvas y pupas y luego se recolectan para su quema o se aplican quemas controladas (Quiñonez, Com. Pers.)

Solarización de trocería

Una de las tácticas de control de descortezadores *Dendroctonus* es el "derribo y abandono". Los árboles infestados se derriban, su porción infestada se separa del árbol, se desrama y divide en trozas de medidas comerciales que se acomodan orientadas de norte a sur, en espacios abiertos para que reciban la máxima insolación diaria.

En el floema y corteza externa, zona de vida de larvas, pupas y preadultos, se alcanzan temperaturas superiores a 60°C, suficientes para matar a los individuos en las áreas expuestas; después de tres a siete días, la trocería se voltea 90° para matar a los insectos de los costados (Villa-Castillo 1993, Castellanos *et al.* 2013). Este método se utiliza en lugares inaccesibles para la extracción de la madera, en áreas naturales protegidas o en zonas de litigio por posesión de tierras.

Secadores de madera

La madera recién aserrada puede tener inmaduros de insectos barrenadores y puede ser atacada por descortezadores o barrenadores ambrosiales que introducen hongos manchadores. Para evitarlos se seca la madera lo más rápido posible, en estufas industriales de secado, o secadores solares (Fuentes *et al.* 2003). Muñoz 2008 y Herrera *et al.* 2017 resumen el proceso de secado con estufas solares.

Temperaturas bajas

Se utilizan para la conservar semillas o frutos. En cámaras frías, con temperaturas de 1 a 5 °C, después de 10 a 25 días muere el 100 % de larvas de dípteros o de lepidópteros dentro de los frutos (Brackman y Guedes 1995).

Agua

Agua caliente

Se utiliza para matar larvas de insectos dentro de bellotas de encino. La cosecha de bellotas se debe realizar antes de que caigan al suelo, ya que las larvas son pequeñas y aún no hacen su mayor daño. Las bellotas se mantienen en agua caliente a 49 °C durante 30 minutos, misma que no se debe exceder, ya que se puede causar mortalidad de la semilla (Fisher *et al.* 1993).

Inmersión de trocería en depósitos de agua

La trocería, con corteza, se almacena en depósitos de agua, estanques, represas, lagos, etc. Al aumentar el contenido de humedad, los descortezadores, barrenadores ambrosiales y barrenadores de la madera no pueden infestar y de existir previamente dentro de la trocería morirán al aumentar el contenido de humedad, con lo que se mantiene la calidad de la madera.

Una desventaja es que algunos tipos de madera absorben tanta agua que se hunden, por lo cual es recomendable un depósito de agua apropiado (Knigth y Heikkenen 1980).

Aspersión de agua en patios de trocería

El riego por aspersión a las trozas, en patios de aserradero, también protege contra insectos descortezadores, barrenadores ambrosiales y barrenadores de la madera. Es una práctica que tiene muchos años de uso. Cuando se conocen las fechas de vuelo de los insectos se logran menores costos de aplicación.

Una limitante es que todas las trozas deben recibir aspersión uniforme, para que la protección sea efectiva (Nijholt 1978, Livingston 2004).

EL PAPEL DE LA SILVICULTURA EN LA PREVENCIÓN Y MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Guillermo Sánchez Martínez

Desde el origen de la industria forestal, ciertos grupos de insectos como los descortezadores de coníferas, barrenadores, defoliadores, algunos microorganismos fitopatógenos, han sido vistos más como organismos que compiten con los humanos que como agentes de disturbios naturales que intervienen en procesos ecológicos de importancia para la dinámica del bosque (Miller y Keen 1960, Haack y Byler 1994). En parte, debido al énfasis predominante de una visión utilitaria de los recursos forestales, cuesta reconocer que los fitopatógenos e insectos plaga nativos, son parte natural del ecosistema como los mismos árboles (Smith *et al.* 1997).

Los insectos forestales como agentes de disturbio natural

La historia evolutiva de los bosques templados revela que la mortalidad causada por agentes naturales biológicos, es un proceso que ha evolucionado por largo tiempo (Sturgeon y Mitton 1982). Muestras de madera fosilizada indican que los insectos descortezadores de coníferas han existido desde el origen esos bosques, lo cual sugiere que insectos y hospedantes han co-evolucionado por lo menos 245 millones de años (Sturgeon y Mitton 1982, Amman y Logan 1998). Esta co-evolución también debió ocurrir entre coníferas y defoliadores de Hymenoptera, puesto que este Orden se originó hace aproximadamente 240 millones de años (Price 1997). En contraste, la competencia del ser humano con las plagas forestales comenzó hace poco más de tres siglos en Europa y de un siglo en México y Norteamérica (Amman y Logan 1998, Barker 2003 y Perry 1951), tiempo relativamente corto para comprender las interacciones que

ocurren entre los organismos vivos que habitan los bosques. Como agentes de mortalidad, algunos grupos de insectos y varios patógenos, participan en procesos ecológicos mayores en los ecosistemas forestales, como el flujo de energía, la sucesión vegetal, los ciclos biogeoquímicos y la evolución. Baker 1992 y Lundquist 1995 plantearon la hipótesis de que, en el futuro, los manejadores del bosque podrían planear la conservación de disturbios naturales, puesto que ciertos componentes de la diversidad biológica, entre ellos las aves, mamíferos y algunos reptiles, requieren de árboles muertos que utilizan como hábitat y fuente de alimento (Farris *et al.* 2004, Spiering y Knight 2005, Nappi *et al.* 2015, Stockland *et al.* 2012, Chávez-León 2017).

Además, los disturbios naturales que causan mortalidad, propician diversidad estructural y composición de especies en los rodales que componen el bosque (Smith *et al.* 1997). Ejemplos específicos de animales silvestres que requieren de árboles muertos para hacer sus nidos en cavidades, o como lugares de percha, son los

pájaros carpinteros (Familia Picidae), la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* Swainson) (figura 184) y diversas especies de búhos (Familia Strigidae).



Figura 184. Cotorra serrana *Rhynchopsitta pachyrhyncha*, perchando en ramas de pino. (Fotografía: A. Gómez)

En la Sierra Madre Occidental de México, en los estados de Durango y Chihuahua, pueden observarse ejemplares de cotorra serrana occidental anidando o perchando en árboles muertos en pie de las especies *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus* spp., *Abies* sp. y *Populus tremuloides* Michaux. A falta de árboles muertos, puede ocurrir la extinción de especies, como es el caso de *Campephilus imperialis* (Gould), el pájaro carpintero imperial, que en el pasado habitaba la Sierra Madre Occidental de México y ahora está extinta.

Dadas las tendencias hacia la diversificación del uso de los recursos forestales, más allá de la producción de madera, y uso de tecnologías amigables con el ambiente, los especialistas en salud forestal deben atender también los aspectos positivos de las “plagas forestales” en los ecosistemas naturales, y ver de manera integral las interacciones ecológicas entre los organismos que habitan el bosque y su efecto en la salud forestal, bajo una visión amplia que permita tomar las mejores decisiones de acuerdo a los

objetivos específicos de manejo de los predios forestales. Por otra parte, es necesario entender las interacciones que ocurren entre árboles y agentes biológicos a lo largo del desarrollo de árboles y rodales, de manera que mediante prácticas silviculturales puedan prevenirse o reducirse los daños causados por plagas y enfermedades.

La silvicultura como ecología aplicada

Los conocimientos teóricos sobre ecología forestal y silvicultura señalan que, durante las etapas de desarrollo del rodal, una vez que la regeneración ha ocupado el espacio de crecimiento disponible, los árboles compiten por los recursos que requieren (agua, luz, nutrientes, etc.) hasta que alguno de ellos se convierte en factor limitante para el crecimiento y la sobrevivencia (Oliver y Larson 1996). En esta competencia, poco tangible para el ser humano, los árboles más adaptados sobreviven y los más débiles son excluidos del rodal, como parte del proceso de selección natural. De esta forma, los árboles excluidos mueren ya sea por inanición o por agentes naturales de disturbio (Spurr y Barnes 1980, Oliver y Larson 1996, Smith *et al.* 1997). Por otra parte, al acercarse al final del turno biológico (estado de viejo crecimiento), los árboles senescentes morirán irremediablemente por cualquier factor natural, para dar paso a la nueva regeneración, pues, llegado el momento, mueren como cualquier ser vivo (Smith *et al.* 1997). Oliver y Larson 1996 y Smith *et al.* 1997 mencionan que la silvicultura es básicamente ecología aplicada, y como tal, la mayoría de los tratamientos silvícolas imitan los disturbios naturales que causan mortalidad de árboles, tales como el fuego, el viento, las plagas y las enfermedades.

Los aclareos, las cortas selectivas, cortas sucesivas, matarrasas, cortas para regeneración mediante árboles padres, y las quemas prescritas, entre otras prácticas, imitan hasta cierto punto el efecto de un disturbio natural mayor o menor, que puede ser de alto, mediano o bajo impacto en la vegetación residual. Bajo dichas premisas, la herramienta principal de la silvicultura consiste en eliminar los árboles, de una manera planeada, que de otra forma morirían gradualmente por competencia entre ellos o por disturbios naturales (Oliver y Larson 1996, Smith *et al.* 1997).

La experiencia en investigación durante varios años, ha permitido aprender de primera mano que, en ausencia de manejo silvícola, ciertos insectos son capaces de propiciar cambios importantes en la estructura vertical y horizontal del bosque, y en la abundancia y diversidad de las especies, manifestando su papel como agentes de disturbio natural y su efecto en la dinámica forestal.

Desde el punto puramente ecológico, en ausencia de manejo silvícola la naturaleza simplemente toma su curso, en el cual los insectos, microorganismos, plantas parásitas y otros factores, se encargan de mantener la dinámica en el largo plazo. Ejemplos de estos hechos se pueden observar en las áreas forestales, que por su inaccesibilidad por falta de caminos en zonas remotas, o porque están designadas como Áreas Naturales Protegidas (caso particular de México) o Áreas Silvestres con mínima intervención humana (Wilderness Areas en EE.UU. y Canadá), no son sujetas a tratamientos silvícolas convencionales, y es frecuente observar infestaciones crónicas de descortezadores, muérdagos, y diversos microorganismos que causan pudriciones u otros daños fisiológicos.

En estas áreas, la renovación del bosque, así como la dinámica de los rodales y la sucesión

vegetal, se da gradualmente de manera natural, y aun cuando ocurran eventos naturales catastróficos, el bosque se renueva con el tiempo y la protección contra actividades que dañen a la vegetación en los procesos de regeneración.

El árbol y sus características como hospedante

Varios estudios demuestran que diversas especies de insectos plaga tienen preferencia por ciertas características del hospedante en cuanto a especie, edad y dimensiones, que el manejador del bosque requiere conocer para el buen mantenimiento de la salud forestal. Por ejemplo, Mitchell y Preisler 1991, durante 10 años de observación de un brote de *Dendroctonus ponderosae* Hopkins en *Pinus contorta* Douglas, encontraron que la población del descortezador colapsó, cuando en el rodal afectado ya no hubo disponibilidad de árboles con diámetro normal (DN) mayor a 23 cm. Al inicio del brote, *D. ponderosae* atacó árboles desde 10 cm de DN, pero al cuarto año, cuando ya no hubo árboles mayores de 23 cm, cesó por completo el ataque.

Leuschner *et al.* 1976 caracterizaron 77 brotes de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman en los que hubo 4,956 árboles atacados en el Este de Texas, encontrando que, aunque atacó árboles de *Pinus taeda* Linnaeus desde 2.54 cm hasta 73.66 cm de DN, el descortezador prefirió los árboles mayores al diámetro promedio.

De manera similar, Sánchez-Martínez y Silva-Rodríguez 2008 estudiaron las características de árboles atacados por *Dendroctonus adjunctus* Blandford, en un brote ocurrido en 2,000 ha al norte de la Sierra Madre Occidental de México, encontrando que atacó principalmente a *Pinus arizonica* Engelm., con DN entre 31 cm y 32 cm y altura de 15.9 m a 16.1 m, provocando un cambio

en la estructura diamétrica de irregular a regular. Los árboles no atacados por dicho descortezador tuvieron un DN promedio de 22.3 cm.

Para el caso de Arizona (EE. UU.), Negrón *et al.* 2000 encontraron que el DN promedio de *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson, atacado por *Dendroctonus adjunctus* fue de 43.3 cm en las Montañas Pinaleno, Bosque Nacional Coronado, y de 47.7 cm en las Montañas Valle de Pinos, Bosque Nacional Dixie, mientras que el promedio del diámetro no atacado fue de 52.2 cm y 56.6 cm en esos sitios respectivamente.

Los ejemplos anteriores muestran que cada especie de insecto forestal tiene preferencia por un tamaño y edad del hospedero. Casos extremos los representan *Dendroctonus rhizophagus* Thomas & Bright que se especializa en atacar árboles menores de 10 años, de menos de 1.5 m de altura y de menos de 8 cm de diámetro del tallo, al nivel del suelo (Sánchez-Martínez y Wagner 2009), y *Dendroctonus pseudotsugae barragani* Furniss que prefiere árboles mayores de 120 años, preferentemente con DN promedio mayor a 41.17 cm (Furniss *et al.* 1981, Sánchez-Martínez *et al.* 2012a). Árboles más jóvenes o de menor diámetro, pueden ser atacados por *D. pseudotsugae barragani*; sin embargo, son resistentes y aunque sean atacados no siempre mueren. Aquellos de DN menor de 32 cm, sobreviven al ataque o no son atacados.

La preferencia por ciertas características del hospedante no es exclusiva de los descortezadores, también la presentan otros grupos de insectos. Por ejemplo, las larvas de los defoliadores *Neodiprion gillettei* (Rohwer) atacan exclusivamente al renuevo de pino (brinzales); *Neodiprion omosus* Smith al renuevo y arbolado joven; *Neodiprion autumnalis* Smith prefiere fustales jóvenes y medios; mientras que otras especies como *Neodiprion fulviceps* (Cresson)

prefieren arbolado maduro o sobre maduro (Dumbar y Wagner 1990 y 1992, Sánchez-Martínez y Wagner 1999, Sánchez-Martínez *et al.* 2012b); el género *Monoctenus* se alimenta exclusivamente de follaje de la familia Cupressaceae, principalmente del género *Juniperus* (Smith 1988).

Otro ejemplo de preferencia de hospederos lo representa *Megapurpuricenus magnificus* (LeConte), barrenador de encinos, que en México prefiere *Quercus potosina* Trel. sobre otras especies (Sánchez-Martínez *et al.* 2010) (figura 185).



Figura 185. Barrenador del encino *Megapurpuricenus magnificus*. (Fotografía: G. Sánchez)

Los ejemplos se pueden extender a otros grupos de insectos como los barrenadores de brotes y yemas de los géneros *Eucosma*, *Rhyacionia* e *Hypsipyla*, que afectan principalmente al renuevo y arbolado joven en plantaciones forestales y rodales o sub-rodales naturales, coetáneos, que crecen en condiciones abiertas con alta incidencia solar.

La importancia de reconocer las características de los hospedantes preferidos por diversas especies de insectos forestales, radica en el hecho de que los manejadores del bosque o plantaciones forestales, requieren saber las etapas de vulnerabilidad del arbolado a diversos factores

bióticos a lo largo de su vida y prever actividades silvícolas para su control.

En el caso de bosques naturales, un rodal con mayor diversidad de especies y de estructuras es menos vulnerable al ataque de plagas que un rodal homogéneo (Smith *et al.* 1997).

Interacciones entre las características del rodal y la incidencia de plagas

Densidad

Una de las principales variables relacionadas con la presencia de plagas forestales, como descortezadores y defoliadores, es la densidad del rodal (e.g. Shore *et al.* 1992, Olsen *et al.* 1996, Amman y Logan 1997, Ostaff *et al.* 2006) (figura 186).

Como ha sido mostrado por Nowak *et al.* 2015, *Dendroctonus frontalis*, una de las especies más agresivas de insectos descortezadores, tiende a preferir aquellos rodales que no reciben aclareos durante su desarrollo y, por ende, son más densos. La densidad del rodal tiene efecto directo en la competición por espacio de crecimiento, de manera que, en la medida que aumenta la densidad y supera la capacidad de carga del



Figura 186. Rodal de *Pinus patula*, infestado por *Dendroctonus frontalis*. (Fotografía: D. Cibrián)

rodal, los árboles reducen su vigor: los que crecen en rodales más densos, sufren más estrés hídrico durante los periodos de sequía prolongada, que los que crecen en rodales menos densos (Fettig *et al.* 2007).

Mitchell *et al.* 1983 encontraron que el ataque de *Dendroctonus ponderosae* fue menor en rodales con áreas basales entre 7 a 15 m²/ha, cuyos árboles presentaron mayor índice de vigor medido en masa de tallo por m² y se observó que la mortalidad causada por el descortezador se incrementó a partir de que el área basal superó los 20 m²/ha (figura 187).

Observaciones similares fueron hechas antes por Sartwell y Stevens 1975, quienes registraron incremento de la mortalidad causada por *Dendroctonus ponderosae* e *Ips* spp. en *Pinus contorta* Douglas a partir de los 26.08 m²/ha de área basal (figura 188), por lo que una de sus recomendaciones fue reducir la densidad del rodal mediante aclareos para disminuir los ataques de estos descortezadores.

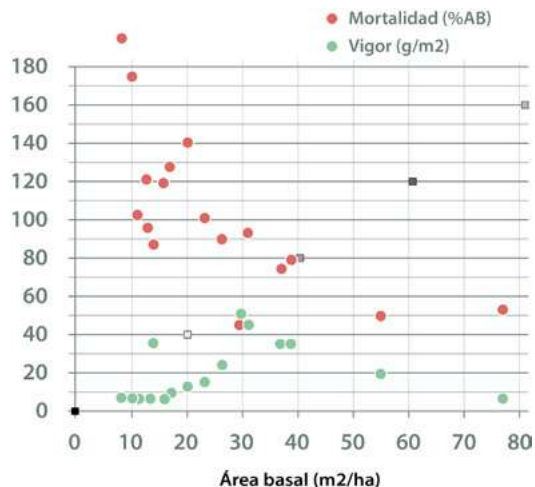


Figura 187. Vigor y mortalidad de *Pinus contorta*, causada por *Dendroctonus ponderosae* en respuesta a la densidad del rodal. Vigor expresado en gramos de tallo producido/m² de superficie foliar de copa. (Redibujado por: E. Llanderal de Datos tabulares de Mitchell *et al.* 1983)

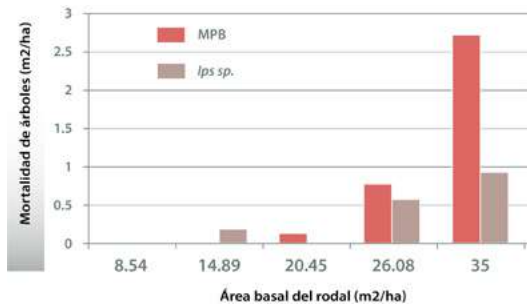


Figura 188. Relación entre la densidad (expresada en área basal) de *Pinus contorta* y la mortalidad de árboles causada por *Dendroctonus ponderosae* (MPB) e *Ips* sp. Datos de Sartwell and Stevens 1975. (Esquema: E. Llanderal)

Otros especialistas mencionan que aquellos rodales con área basal residual entre 7.2 y 9 m²/ha son poco afectados por *D. ponderosae* en *Pinus ponderosa*, y que el umbral para este descortezador en rodales de esta especie en Dakota del Sur está aproximadamente a los 11.15 m²/ha de área basal (Schmid y Mata 1992, Amman y Logan 1997). Por su parte, Sandoval y Cibrián 1984 encontraron que la máxima frecuencia de ataques de *Dendroctonus adjunctus* en bosques de pino de Zoquiapan, México, ocurrió cuando la densidad del rodal se encontraba entre 22 y 25 m²/ha.

Como es demostrado por Kolb *et al.* 1998, el flujo de resina declina linealmente en función de la densidad del rodal, lo cual explica parcialmente la susceptibilidad del arbolado a los ataques de descortezadores de coníferas, quienes actúan como depredadores oportunistas atacando preferentemente árboles que tienen poca resina, principal de defensa de las coníferas.

Por otra parte, al reducir la densidad se incrementa el potencial hídrico prematutino en la temporada seca de verano, lo cual beneficia a los árboles (Zausen *et al.* 2005). Sin embargo, el flujo de resina no siempre se incrementa con el solo hecho de reducir la densidad del arbolado,

y en ocasiones puede ser mayor en rodales no aclareados si el área basal aún no supera cierto umbral, como fue observado por Zausen *et al.* 2005 en rodales de *Pinus ponderosa* en el norte de Arizona, quienes además observaron que el flujo de resina fue mayor en rodales aclareados y tratados con quemas prescritas de baja intensidad. Sin embargo, es difícil generalizar respecto a la densidad óptima de un rodal ya que este valor varía en función de la calidad de estación (calidad de sitio), la capacidad de carga del rodal y de la precipitación promedio anual, entre otros factores, características que dependen, por una parte, de la ubicación geográfica en el sentido amplio y, por otra, de las condiciones micro-ambientales de la localidad.

Es recomendable que el especialista en salud o sanidad forestal tenga conocimientos de las características de sus rodales en cuanto a calidad de estación y conozca las herramientas indicadoras de la capacidad del rodal para mantener condiciones de crecimiento saludables, como los diagramas de densidad o tablas de densidad, herramientas que son del dominio del silvicultor profesional. De esa manera, se podrán dar recomendaciones en cuanto a la densidad óptima para los rodales bajo manejo local.

Por otra parte, deben estar familiarizados con los principales agentes biológicos que suelen afectar a los bosques, y las características de los rodales que favorecen su proliferación, de manera que, a través de prácticas silvícolas, hagan menos propicio el ambiente para las plagas de mayor importancia en su zona de influencia.

Debe tomarse en cuenta que, mientras las condiciones de alta densidad favorecen a los descortezadores de coníferas, otros insectos, como las moscas sierra de coníferas (Hymenoptera: Diprionidae) y los barrenadores de yemas de pinos (*Rhyacionia* spp.), prefieren rodales abier-

tos de baja densidad y alta incidencia solar (Ostaff *et al.* 2005, McMillin y Wagner 1993). Las especies de moscas sierra *Neodiprion fulviceps*, *Neodiprion autumnalis*, *Neodiprion gillettei* y *Monoctenus sanchezi* Smith representan ejemplos puntuales de la preferencia de rodales con baja densidad o amplio distanciamiento entre árboles. Los brotes de *Zadiprion ojedae* Smith & Sánchez-Martínez, *Zadiprion falsus* Smith y *Zadiprion howdeni* Smith que se han observado en México, generalmente han ocurrido en rodales con densidad relativamente baja, especialmente en Sonora, Chihuahua, Durango y Oaxaca, por lo que, hasta cierto punto, es común encontrar esos insectos bajo esas condiciones (Sánchez *et al.* 2012b).

Composición de especies

Otra de las variables importantes que interactúan con las plagas, es la “composición de especies forestales”, refiriéndose con ello a la cantidad y abundancia de especies arbóreas y arbustivas, dentro del rodal y dentro del bosque.

Uno de los principios generales del control silvicultural es que, los rodales mixtos son menos susceptibles al ataque de insectos y microorganismos que los rodales puros (Smith *et al.* 1997). En este caso, la abundancia de la especie preferida es un factor limitante para los agentes biológicos dañinos, de manera que el impacto se limita a la especie o especies preferidas presentes en el rodal, quedando el resto de la vegetación con daños mínimos o sin daño. Un ejemplo de esto es lo observado en el brote de *Dendroctonus adjunctus* ocurrido en la Sierra La Ráspadura, en Namiquipa, Chihuahua, entre los años 2002 a 2005, en el que este descortezador prefirió a *Pinus arizonica*, la especie más abundante en el área afectada, dejando casi intacto

a *Pinus durangensis* Martínez, *P. ayacahuite* Ehr., y por supuesto sin afectar a las poblaciones de *Quercus* spp. (Sánchez-Martínez y Silva-Rodríguez 2008). De ser más abundante la presencia de las últimas dos especies de pino, la mortalidad hubiera sido menor. Sin embargo, el rodal estaba dominado por *P. arizonica*; es decir, se acercaba a una condición de rodal casi puro.

Muchas de las áreas de bosques templados en México son, por naturaleza, rodales mixtos, conteniendo varias especies de pinos y encinos lo cual les da cierta resistencia al ataque de plagas y enfermedades, lo mismo que los rodales de otras coníferas como *Pseudotsuga menziesii* y *Abies* spp., que frecuentemente crecen en comunidades con especies de pinos y encinos.

Esta es una de las razones por las que los brotes epidémicos de descortezadores son más comunes en los EE. UU. y Canadá, donde existen áreas extensas pobladas por una sola especie, como en el caso de los rodales puros de *Pinus ponderosa* en Arizona y Nuevo México, los de *Pinus contorta* en las Montañas Rocallosas en Columbia Británica y Alberta (Canadá) y Colorado (EE. UU.); y las extensas áreas de *Pinus taeda* en el sureste de los EE. UU.

Ejemplo de ello es el último brote epidémico de *Dendroctonus ponderosae* en Columbia Británica, en las primeras dos décadas del siglo XXI, donde más de 15 millones de hectáreas fueron afectadas de manera catastrófica en bosques con dominancia de *Pinus contorta*. Es por ello recomendable para los bosques de México que, si bien en las diferentes áreas de producción maderable hay preferencia por alguna especie, durante las cortas intermedias, o aclareos, debe mantenerse una razonable diversidad de especies, lo cual dará al bosque condiciones más saludables.

Estructura

La estructura de la vegetación se refiere al arreglo vertical y horizontal de la vegetación forestal; es decir, al número de estratos que presenta el rodal definido por las clases de edad de los árboles, o por el tamaño alcanzado por las diversas especies, y por la uniformidad o irregularidad de la distribución de la vegetación en el plano horizontal (Oliver y Larson 1996, Smith *et al.* 1997). A través de la estructura de la vegetación se puede determinar qué tan homogéneas o heterogéneas son las condiciones del rodal, atributo importante para la proliferación de un agente biológico dañino. Las condiciones homogéneas de estructura hacen que, por lo general, un rodal sea más susceptible a los daños causados por plagas como los descortezadores, defoliadores, y barrenadores de brotes y yemas.

En términos silvícolas, puede afirmarse que un bosque coetáneo es más susceptible al ataque de varios grupos de insectos de importancia forestal que un bosque incoetáneo (Smith *et al.* 1997). Ejemplos específicos de dicha afirmación son las masas jóvenes coetáneas de *Pinus arizonica*, *P. engelmannii* Carr., *P. durangensis* y *P. cooperi* C. E. Blanco, que son propiciadas por determinados métodos de regeneración, tales como árboles padres o franjas de matarrasa en Chihuahua y Durango, donde es común observar altas infestaciones de *Dendroctonus rhizophagus*, así como afectaciones por barrenadores de brotes y yemas (*Rhyacionia neomexicana* (Dyar) y *Eucopina sonomana* (Kearfott) (= *Eucosma sonomana* (Kearfott))). También está documentada la alta frecuencia de ataques de moscas sierra (Hymenoptera: Diprionidae) en plantaciones de pino en Norteamérica (Haack y Mattson 1993), debido a que las plantaciones son masas coetáneas de un solo estrato, además de que generalmente son de una sola especie, por lo que representan

monocultivos similares a los que existen en la agricultura.

Para el caso de México, entre 2015 y 2017, se presentaron altas infestaciones de *Neodiprion omosus* en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham en el Estado de Veracruz; es común observar a estos insectos en plantaciones de pino en otros Estados (figura 189).



Figura 189. Plantación de *Pinus patula* en Coatepec, Ver. establecida fuera de su rango altitudinal, severamente defoliada por la mosca sierra *Neodiprion omosus*. (Fotografía: D. Cibrián)

Peligro, susceptibilidad y riesgo

Conocer las características de los árboles preferidos por los agentes causales biológicos de interés, así como las características del rodal que contribuyen a la susceptibilidad, permite estimar el peligro, susceptibilidad y el riesgo de que ocurra un ataque de plagas forestales.

De esta forma, se pueden desarrollar sistemas que estimen la susceptibilidad y el riesgo de ocurrencia de un brote de plaga en particular.

En Europa, EE. UU. y Canadá, estos sistemas han sido denominados como "Hazard-rating systems", "Risk-rating systems" o "susceptibility and risk-rating systems", que traducidos al español significan "Sistemas de calificación de peligro",

“Sistemas de calificación de riesgo” y “Sistemas de calificación de susceptibilidad y riesgo”; su finalidad es que sirvan como herramientas de predicción y a la vez como marco de trabajo para planear y priorizar tratamientos silviculturales en los rodales bajo manejo (Hedden *et al.* 1981, Shore y Safranyik 1992). Sin embargo, aún en el idioma inglés, esta terminología ha causado confusión, por lo que es necesario aclarar a qué se refiere cada una de las palabras.

En este sentido, **“peligro”** se refiere a la posibilidad de que ocurra algún mal si algunas condiciones se presentan; por ejemplo, existe la posibilidad de que ocurra un incendio forestal de alta intensidad, si el ambiente es muy seco y hay abundante material combustible en el suelo, porque si llegara a caer una colilla de cigarro encendida o un rayo, el material combustible prendería rápido. Otro ejemplo podría ser la posibilidad, de que ocurra un accidente carretero por avalancha de nieve, si las nevadas son abundantes y los conductores viajan por una parte de la carretera cercana a la base de una montaña de alta pendiente. Entonces, en la literatura técnica forestal, **“hazard”** se refiere a peligro.

La palabra **“susceptibilidad”** (sinónimo de vulnerabilidad), proveniente del adjetivo susceptible, se refiere a la capacidad de recibir el efecto de algo negativo o positivo. En el tema que nos ocupa, susceptibilidad se refiere a las características, del árbol o rodal, que lo hacen propenso de ser atacado por una plaga en particular (Shore y Safranyik 1992); por ejemplo, un rodal sobremaduro de *Pseudotsuga menziesii*, con árboles mayores de 180 años, estaría más propenso a recibir el efecto del ataque de *D. pseudotsugae barragani*, que un rodal con árboles menores de 60 años, porque este descortezador prefiere árboles sobremaduros. El efecto del ataque en los rodales susceptibles es mayor mortalidad.

Por el contrario, un rodal de *Pinus arizonica*, o *P. engelmannii* en plena etapa de regeneración, en el norte de México, es más propenso a recibir el ataque de *Dendroctonus rhizophagus*, que un rodal con regeneración avanzada, o con árboles en etapa de latizal bajo, porque este insecto ataca específicamente brinzales.

Debe aclararse que el hecho de que un árbol, o rodal, presente características de alta susceptibilidad, no necesariamente implica que va a ser atacado, pues para que el ataque ocurra, debe existir una población de insectos suficiente para causar la infestación.

Shore y Safranyik 1992 hacen alusión a que varios **“sistemas de calificación de peligro”** desarrollados para *Dendroctonus ponderosae* en EE. UU. y Canadá, en su etapa de validación no tuvieron buenos resultados por diversas razones, entre ellas:

- Porque algunos sistemas incluían variables no relacionadas significativamente con la susceptibilidad.
- Porque algunas variables sí estaban relacionadas con la susceptibilidad pero no en la forma en que se había hipotetizado.
- Porque varios sistemas ofrecían índices de predicción de uso limitado para los manejadores del bosque, tales como **“susceptible”** o **“no susceptible”**; pero, ante todo, uno de los problemas principales de la mayoría de esos sistemas, fue que no consideraban los niveles de población del insecto plaga, o la distancia de los rodales susceptibles respecto a las áreas infestadas.

Esto ha sido observado en gran parte de los bosques de *P. ponderosa* en el norte de Arizona donde, a pesar de que existen condiciones de susceptibilidad al ataque de descortezadores presentes en esa zona (*Dendroctonus frontalis*,

Dendroctonus brevicomis LeConte y *D. ponderosae*), no se han presentado brotes epidémicos por más de 100 años (Sánchez-Martínez y Wagner 2002, Zausen *et al.* 2005). Por razones no completamente conocidas estas especies de descortezadores se mantienen endémicas en el norte de Arizona, a pesar de comportarse agresivas en otras partes de ese país.

Hasta aquí, podemos concluir que un sistema de calificación de peligro y de susceptibilidad es incompleto e insuficiente para fines prácticos de predicción del ataque de una plaga forestal, por lo que es necesario un sistema que incluya un valor numérico de "riesgo", refiriéndose con este término a la probabilidad de un árbol o rodal de sufrir un ataque y mortalidad (Smith *et al.* 1981, Shore y Safranyik 1992).

Un sistema de calificación de susceptibilidad y riesgo es de valor cuando integra el conocimiento de las interacciones que ocurren entre el hospedante, el ambiente y los insectos, ya sea mediante modelos empíricos o mediante modelos desarrollados con los conocimientos disponibles y la experiencia práctica. Citando algunos ejemplos, uno de los sistemas de calificación de susceptibilidad por árbol, fue desarrollado por Keen 1936, (figura 190) el cual es aplicable para evaluar la susceptibilidad de *P. ponderosa* al ataque de *Dendroctonus brevicomis* en bosques maduros del sureste de Oregon y noreste de California (EE. UU.), para una calidad de sitio en particular.

Este sistema se basa en 16 categorías de susceptibilidad, resultantes del estado de los árboles respecto a cuatro clases de edad relativa:

- 1) Joven
- 2) Inmaduro
- 3) Maduro
- 4) Sobremaduro

y cuatro clases de apariencia (vigor) de copa:

- A) Vigorosa; mayor que 55 % de la altura total del árbol y ancho de copa promedio o mayor, follaje denso y posición dominante.
- B) Moderada; de ancho promedio o más angosto y longitud mayor que 55 % de la altura total, con posición codominante.
- C) Pobre; muy angosta y rala, posición intermedia o codominante con diámetro promedio menor para la clase de edad.
- D) Muy pobre; follaje disperso y ralo, suprimido o intermedio, diámetro subnormal para la edad.

En el sistema de calificación de susceptibilidad de Keen 1936, en cada clase de edad la susceptibilidad se incrementa conforme el vigor de la copa decrece de A a D, con excepción del grupo de mayor edad en los cuales la categoría de copa C es más susceptible que la D. Por otra parte, hay un incremento gradual de riesgo conforme el árbol avanza en edad, aunque de acuerdo con Keen (op. cit.) es más importante la condición de la copa que la edad, de manera que en las clases de edad 1, 2, y 3, todos los árboles con copas en la categoría C y D son susceptibles al ataque de *Dendroctonus brevicomis*.

Keen (op. cit.) atinadamente menciona que este sistema fue desarrollado para ciertas condiciones de bosque del noroeste del Pacífico, por lo que es necesario hacer adecuaciones para que sea aplicable a otras regiones.

Atendiendo a esta recomendación, Hornibrook 1939 adaptó el sistema de Keen para ser aplicado a bosques de *Pinus ponderosa* en las Black Hills de Dakota del Sur, donde *P. ponderosa* es más atacado por *D. ponderosae* que por *D. brevicomis*.

Otro sistema, más simple, fue el desarrollado por Salman y Bongberg 1942, denominado Sistema Californiano de Calificación de Riesgo, en el que propuso cuatro categorías con base en la condición de deterioro de la copa (figura 191).

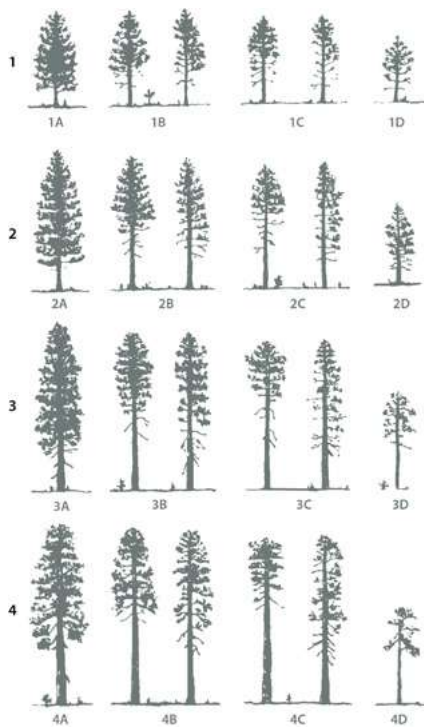


Figura 190. Sistema de calificación de susceptibilidad de *Pinus ponderosa* al ataque de *Dendroctonus brevicomis* desarrollado por F. P. Keen, en función de cuatro categorías de edad relativa (1 a 4) y cuatro clases de vigor de copa (A-D). (Redibujado por L. Arango, de Keen 1936, p. 921)

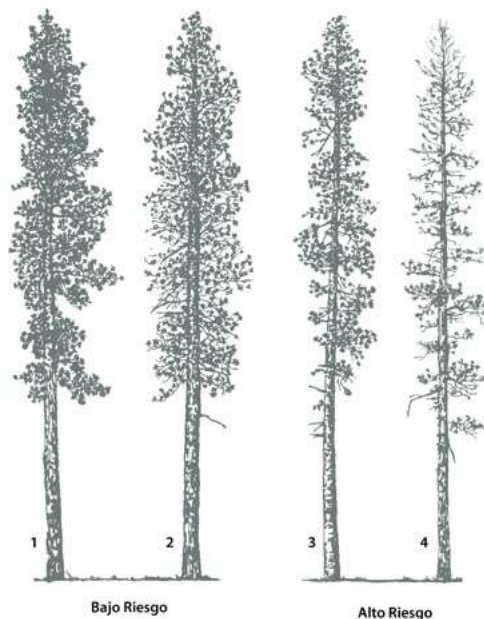


Figura 191. Sistema de calificación de susceptibilidad de *Pinus ponderosa* al ataque de *Dendroctonus brevicomis* en función de cuatro categorías de edad (1 a 4) y cuatro clases de vigor de copa (A-D). Redibujado de Keen, F. P. Relative susceptibility of ponderosa pine to bark-beetle attack. *Journal of Forestry*, 1936, 34(10): p. 921. (Con permiso de Oxford University Press a nombre de Society of American Foresters. Redibujado por L. Arango)

Estos sistemas fueron desarrollados en condiciones de altas infestaciones de *Dendroctonus brevicomis* y *D. ponderosae*, por lo que los autores tuvieron la oportunidad de evaluar la presencia y ausencia de ataques de los insectos y en las diversas condiciones de rodal (Smith *et al.* 1981).

En la práctica, estos sistemas han servido, tanto para la planeación de las cortas, como para el marcaje de árboles a derribar durante aclareos, cortas intermedias o cortas finales, buscando aprovechar aquellos árboles que, de otra manera, serían infestados por descortezadores.

A nivel de rodal, puede destacarse el sistema de calificación de susceptibilidad y riesgo de ataque por *Dendroctonus ponderosae* en *Pinus*

contorta, desarrollado por Shore y Safranyik 1992, el cual, por una parte, toma en cuenta las características de susceptibilidad del rodal y por otra la población de insectos y la distancia de un rodal susceptible respecto a un foco de infestación. Estos autores definen el riesgo como la posibilidad en el corto plazo, de mortalidad en un rodal como resultado del ataque de *Dendroctonus ponderosae*, enfatizando que el riesgo es función de la susceptibilidad del rodal y de la “presión de los escarabajos descortezadores”, refiriéndose con esto a “la magnitud de una población de *D. ponderosae* afectando a un rodal, determinada por el número de árboles recientemente infestados, y su proximidad con el rodal que está siendo evaluado” (Shore y Safranyik 1992, p. 1).

Por lo tanto, el sistema de calificación de susceptibilidad y riesgo desarrollado por estos autores comprende:

- El cálculo de la susceptibilidad.
- El cálculo de la presión de los insectos.
- El cálculo del índice de riesgo.

Sin entrar en los detalles numéricos, el **cálculo de la susceptibilidad** del rodal considera la abundancia relativa de área basal de árboles susceptibles, la edad de los árboles dominantes y codominantes, las coordenadas y la altitud a la que se encuentra el rodal.

El **índice de presión de insectos** se estima tomando en cuenta el número de árboles infestados fuera del rodal que está siendo evaluado, en un radio de 3 km, el número de árboles infestados dentro del rodal evaluado, y la distancia

entre el rodal evaluado y la orilla de la infestación más cercana.

El **cálculo del índice de riesgo**, resulta de la combinación de los valores anteriores, obteniendo valores de riesgo para el rodal de 0 a 100 (figura 192). Los detalles matemáticos del sistema pueden consultarse en la citada fuente.

El control silvicultural de insectos forestales

El control silvicultural consiste en cualquier modificación que se haga al sistema utilizado para el crecimiento y aprovechamiento forestal, con el fin específico de reducir los daños causados por insectos, hongos y fuego (Barbosa y Wagner 1989, Smith *et al.* 1997). Para ello, debe entenderse como "sistema silvicultural" al programa planeado de

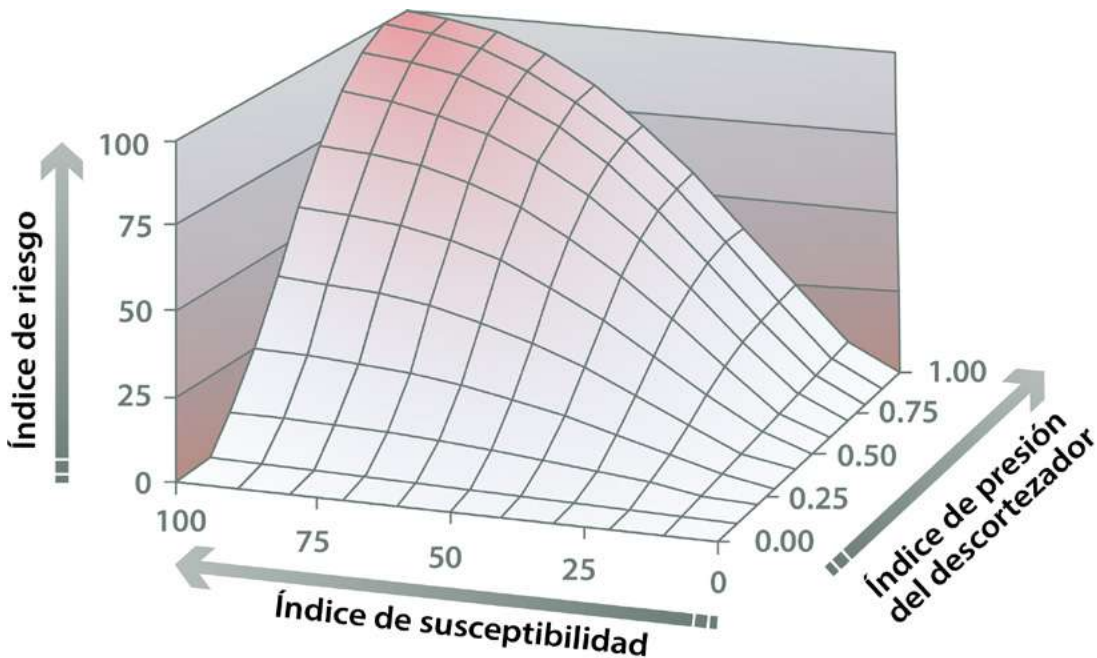


Figura 192. Gráfica que representa el sistema de calificación de susceptibilidad y riesgo de ataque de *Dendroctonus ponderosae* sobre *Pinus contorta* desarrollado por Shore y Safranyik. (Redibujado por E. Llanderal, de Shore y Safranyik 1992, p. 5)

tratamientos silvícolas que se extiende por el periodo de vida del rodal, desde el tratamiento de regeneración y tratamientos intermedios, hasta el logro del objetivo de manejo, tomando en cuenta que el sistema se puede ajustar con el paso del tiempo según las circunstancias que se presenten (Smith *et al.* 1997).

Más que un control directo, con el control silvicultural se trata de evitar condiciones del rodal que favorezcan a los agentes naturales de disturbio, siendo una solución indirecta y de largo plazo (Barbosa y Wagner 1989). Las modificaciones al sistema silvicultural son básicamente etapas específicas que se toman contra un determinado agente causal y no deben generalizarse a todos los bosques (Smith *et al.* 1997). Así pues, el control silvicultural consiste en conocer las características del árbol y del rodal que favorecen o desfavorecen la presencia de insectos plaga, y manejar la vegetación de manera que los insectos se mantengan en niveles endémicos (Barbosa y Wagner 1989).

Prácticas silvícolas que favorecen el buen estado de la salud forestal

Una de las prácticas silvícolas que favorece el vigor del arbolado es el aclareo del rodal. En términos generales puede decirse que un árbol vigoroso resiste el ataque de plagas, particularmente de descortezadores. Los aclareos inciden directamente en mejorar el vigor de los árboles residuales, ya que a través de ellos se libera y hace disponible mayor espacio de crecimiento, con lo cual se reduce la competencia por agua y luz (Smith *et al.* 1997). Por otra parte, los aclareos producen cambios inmediatos en las condiciones del microclima del rodal, como la humedad, la intensidad de luz, la turbulencia del viento y la temperatura de los fustes en el lado sur, lo cual

afecta la conducta de los descortezadores de manera negativa. Existen evidencias científicas de que la velocidad del viento en rodales aclareados puede interferir en el flujo de las moléculas de semioquímicos, que los insectos descortezadores usan para ubicar los árboles susceptibles y en proceso de ataque (Amman y Logan 1998). Otros tratamientos silviculturales pueden consistir en cortas selectivas orientadas a diversificar la composición de especies y edades, tomando en cuenta lo antes expuesto en cuanto a las características de los hospederos preferidos. Las cortas selectivas también pueden orientarse a la remoción de árboles sobremaduros, dañados o infestados.

Otra práctica silvícola es la aplicación de quemas prescritas de baja intensidad, para reducir el riesgo de incendios catastróficos y evitar el debilitamiento excesivo del arbolado expuesto a los incendios (Smith *et al.* 1997).

Las modificaciones a los sistemas silvícolas, con fines de control silvicultural de plagas forestales, solo son necesarias para aquellos pocos organismos que causan daños serios; por eso se hace énfasis, en este capítulo, en los insectos descortezadores de conducta agresiva y algunos otros como los defoliadores y barrenadores de brotes y yemas.

Cortas silvícolas para control de daños

Para el caso especial del control de descortezadores, porque son de las pocas especies de insectos que producen la muerte del arbolado, una vez que la infestación ya se ha hecho presente, existen prácticas silvícolas que sirven, por un lado para tratar de detener el ataque y, por otro, para reducir las pérdidas económicas que representan el perder árboles que no estaban programados para la corta (particularmente en áreas dedicadas a la producción maderable). En

este sentido existen tres tipos de corta de control de daños, las cuales son:

- **Cortas de pre-salvamento.** Diseñadas para amortiguar y evitar el daño a través de la remoción de los árboles altamente susceptibles.
- **Cortas de saneamiento.** Diseñadas para eliminar a los árboles atacados y evitar su dispersión a otros árboles (figura 193).
- **Cortas de salvamento.** Realizadas para salvar la madera de árboles muertos o dañados.

Las cortas de pre-salvamento pueden basarse en el vigor mostrado por los árboles, bajo la premisa de que los menos vigorosos son más susceptibles al ataque, tomando en cuenta un sistema de calificación de susceptibilidad y riesgo desarrollado o adaptado para las condiciones locales. Las cortas de saneamiento son generalmente aplicadas para reducir la dispersión de los insectos.

Las cortas de salvamento tienen como propósito principal recuperar cierto valor de la madera que de otra forma se perdería. En este último caso, el valor recuperado debe ser suficiente para pagar por las labores extraordinarias de derribo y extracción, ya que no son cortas programadas en el sistema silvícola, sino que son derivadas de una infestación, en las cuales, los árboles a derribar son aquellos seleccionados por los insectos y no por el silvicultor y donde, a menudo, puede haber necesidad de construir caminos de acceso a los lugares infestados (Smith *et al.* 1997).

Las cortas de salvamento deben realizarse lo más rápido posible, ya que de tardarse se corre

el riesgo que la madera se deteriore por la acción de insectos barrenadores y microorganismos.

Epílogo

Uno de los mensajes principales de este capítulo es que el comportamiento de las plagas está estrechamente relacionado con las características de los árboles y del bosque. Por una parte, los insectos prefieren árboles de cierta especie, edad, tamaño y vigor; por otra, la susceptibilidad de un rodal depende de la composición de especies arbóreas, edad, densidad y estructura.

En la medida que un rodal se simplifica, tiende a parecerse a un monocultivo agrícola; por ende, a ser más susceptible a agentes dañinos. Por ello, la silvicultura debe aplicarse para mantener rodales saludables y minimizar los daños por plagas.



Figura 193. Corta de saneamiento en un bosque de pino infestado por el descortezador *Dendroctonus mexicanus*. (Fotografía: S. A. Quiñonez)

CONTROL QUÍMICO

Este capítulo está integrado por tres subcapítulos, el primero establece los fundamentos del control químico y se redactó desde una perspectiva general, con el objetivo de ofrecer al usuario forestal un marco de conocimiento sobre formulación de insecticidas, clasificación y modo de acción; aspectos básicos de toxicología referida a seres humanos y a insectos; resistencia, métodos de aplicación y manejo seguro de insecticidas. Un segundo subcapítulo describe ejemplos de insecticidas de los grupos toxicológicos actualmente conocidos, que son moléculas utilizadas para control de plagas forestales en México o en otras partes del mundo. Un tercer subcapítulo se enfoca en la técnica de inyección de insecticidas en árboles, nueva tecnología que reduce los impactos ecológicos que se tienen con los otros métodos de aplicación.

Fundamentos de control químico

Antonio Segura Miranda

Antecedentes

El método químico es una forma de control de plagas en la que se utilizan sustancias químicas naturales o sintéticas, que tienen actividad biológica y que necesariamente al aplicarlas contaminan las superficies agrícolas, los cultivos y los productos y subproductos que son tratados.

La conjunción de la FAO (Organización Mundial para la Agricultura y Alimentación) y la WHO (Organización Mundial para la Salud), en el artículo 2° del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (FAO 2006) define a los plaguicidas como "cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no de-

seadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en (o sobre) sus cuerpos".

El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte.

La Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) (última reforma publicada en DOF el 26 de diciembre de 2017) (SENASICA 1994) define como plaguicida a “cualquier insumo fitosanitario destinado a prevenir, repeler, combatir y destruir a los organismos biológicos nocivos a los vegetales, sus productos y subproductos”.

Por otra parte, en la Ley General de Salud de los Estados Unidos Mexicanos (LGS 1984) (última reforma publicada DOF 29-11-2019), y en reglamentos y lineamientos de esta ley, se dice que “un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destine a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal”, las sustancias defoliantes y las desecantes también son plaguicidas.

El reglamento en materia de registros, autorizaciones de importación y exportación y certificados de exportación de plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias y materiales tóxicos o peligrosos, administrado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), define a los plaguicidas dependiendo de su presentación industrial, calidad y uso. Esta Comisión es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud con autonomía administrativa, técnica y operativa. De conformidad con el artículo 278 de la Ley General de Salud (LGS), se retoma la definición de la FAO y se menciona que un plaguicida es “cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las sustancias defoliantes y las desecantes”.

El registro de plaguicidas de uso agrícola y forestal se realiza a través de la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) de la Secretaría de Salud, con la opinión técnica de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Clasificación de los plaguicidas

Plaguicida técnico: aquél en el cual el ingrediente activo se encuentra a su máxima concentración, como resultado de su síntesis y de sus compuestos relacionados. Es utilizado exclusivamente como materia prima en la formulación de plaguicidas.

Plaguicida formulado: mezcla de uno o más plaguicidas técnicos, con uno o más ingredientes inertes o diluyentes, cuyo objeto es dar estabilidad al ingrediente activo o hacerlo útil y eficaz.

Plaguicida de uso agrícola: el plaguicida formulado, de uso directo en vegetales que se destina a prevenir, repeler, combatir y destruir los organismos biológicos nocivos a éstos.

Plaguicida de uso industrial: el plaguicida formulado para su empleo en la elaboración de productos de uso directo no comestibles, como pinturas, lacas, barnices, papel, celulosa o cartón, y el plaguicida formulado empleado en el tratamiento de aguas de recirculación en procesos industriales.

Plaguicida de uso doméstico: el plaguicida formulado para ser aplicado de manera directa en casas, edificaciones e instalaciones no industriales.

Plaguicida de uso forestal: el plaguicida formulado para prevenir, repeler, combatir o destruir a los organismos nocivos a los recursos forestales.

Plaguicida de uso pecuario: el plaguicida formulado que se utiliza para el control de plagas

que afectan a los animales, a excepción de aquellos productos administrados vía oral o parenteral.

Plaguicida de uso urbano: el plaguicida formulado para uso exclusivo en áreas urbanas, incluido el utilizado en predios baldíos y vías de ferrocarril.

Plaguicida de uso en jardinería: el plaguicida formulado para aplicarse en áreas verdes no destinadas al cultivo de productos agrícolas o forestales.

Plaguicida equivalente: aquel que con base en perfiles de impurezas toxicológicas y ecotoxicológicas y en las propiedades físicas y químicas de ingredientes activos, generados por distintos fabricantes, no representa un nivel de riesgo mayor comparado con el perfil de referencia.

Plaguicida misceláneo: aquel que aunque no posee propiedades físico-químicas y toxicológicas, presenta características que permiten el control de plagas.

Regulador de crecimiento: el insumo de nutrición vegetal que favorece o inhibe los procesos celulares en las plantas, con base en moléculas orgánicas.

Los plaguicidas también se clasifican según el tipo de plagas contra las que se utilizan (cuadro 28).

Hay plaguicidas que actúan en toda una clase de organismos, al no ser selectivos; otros pueden serlo y hay productos con más de un tipo de actividad biológica.

Los productos plaguicidas se preparan industrialmente en diferentes formulaciones para facilitar su uso y manejo, así como para poderlos aplicar por medio de diferentes técnicas y equipos de aplicación.

La formulación consiste en una mezcla proporcional de los ingredientes: plaguicida o plaguicidas, materiales inertes (sólidos o líquidos) y agentes coadyuvantes, principalmente surfactantes.

Cuadro 28. Clasificación de los plaguicidas con base en su actividad biológica.

Tipo de plaguicida	Tipo de plaga
Acaricidas	Para el combate de ácaros
Insecticidas	Para el combate de insectos
Fungicidas	Para prevenir o controlar hongos
Herbicidas	Para el combate de malezas
Defoliantes y desecantes	Para desecar y/o defoliar vegetación
Nematicidas	Para combatir nematodos
Bactericidas	Para combatir bacterias en los vegetales
Rodenticidas	Para combatir roedores
Avicidas	Para combatir aves
Piscicidas	Para combatir peces
Molusquicidas	Para combatir moluscos
Semioquímicos	Para manejar plagas, principalmente insectos

Estas preparaciones son sometidas a ensayos de campo para determinar su eficacia biológica, según la Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, (SAGAR 1995) que establece los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su Dictamen Técnico. Para que un producto plaguicida obtenga el Registro Sanitario Coordinado (RSCO) (Secretaría de Salud, COFEPRIS), además de la efectividad biológica, debe cumplir con los requisitos respecto a Toxicología e Impacto Ambiental indicados en el Reglamento de Registro de Plaguicidas.

Formulaciones de plaguicidas

Por su estado físico se clasifican en:

- Formulaciones sólidas. Sólido técnico, gránulo fino técnico, polvo técnico, gránulo soluble, polvo, pasta sólida, polvo humectable, perdigones o comprimidos, polvo micronizado, micro-encapsulados, polvo soluble, cebo envenenado, tabletas o pastillas, bloque parafinado, gránulo técnico, collares, gránulo dispersable, jabón y aretes.
- Formulaciones líquidas. Líquido técnico, solución concentrada, líquido para coadyuvante, solución concentrada técnica, líquido viscoso técnico, concentrado emulsionable, líquido soluble, emulsión o dispersión, líquido miscible, pasta gelatinosa, suspensión acuosa técnica, solución acuosa y concentrado para ultra-bajo-volumen
- Formulaciones gaseosas. Gases licuados o comprimidos.

Los cuadros 29 y 30 presentan la clasificación de acuerdo al tipo de formulación o preparación comercial. Los fumigantes pueden tener preparación primaria como líquido confinado en un recipiente totalmente sellado, o bien como pastilla o perdigón, desde donde se genera el gas fumigante.

Cuadro 29. Clasificación de las formulaciones líquidas de plaguicidas.

Formulaciones	Tipo	Contenido de ingrediente activo	Uso de agua
Líquidas	Concentrados emulsionables	>5 - >90 %	Sí
	Líquidos miscibles o solubles	>98 %	Sí
	Soluciones acuosas	>30 %	Sí
	Suspensiones oleosas	>4 %	Sí
	Microencapsulados	>20 %	Sí
	Geles	>60 %	Sí
	Soluciones verdaderas	Variable	No

Cuadro 30. Clasificación de las formulaciones sólidas de plaguicidas.

Formulaciones	Tipo	Contenido de ingrediente activo	Uso de agua
Sólidas	Polvos para espolvoreo	1-10 %	No
	Polvos humectables	5-95 %	Sí
	Polvos solubles	15-98 %	Sí
	Gránulos	1-25 %	No
	Gránulos dispersables	>50-90 %	Sí
	Pellets solubles	>90 %	Sí
	Pastillas, tabletas y perdigones	>90 %	No
Cebos envenenados	<5 %	No	

Clasificación de insecticidas

Los insecticidas son insumos que se utilizan para matar insectos plaga. La mayoría son sustancias químicas sintéticas, actualmente se utilizan varias sustancias de origen natural; se pueden clasificar de varias maneras, los más comunes son:

Por su origen

- Químicos
- Bioquímicos
- Microbianos
- Botánicos
- Misceláneos

Por su composición química

- Compuestos inorgánicos. Solo se consideran los derivados de cobre, azufre, zinc y aluminio.
- Compuestos orgánicos. Los que contienen átomos de carbono en su estructura química. La mayoría son de origen sintético, fabricados a partir de compuestos químicos básicos, que pertenecen a distintos grupos o familias químicas. Algunos son extraídos de plantas, por lo que se conocen como botánicos (figura 194).



Figura 194. Frutos del árbol del neem *Azadirachta indica*.

- Insecticidas biológicos. Se llama así a los virus, microorganismos o sus metabolitos, formulados como insumos que pueden controlar a una plaga en particular.

Por la concentración química

- Insecticida técnico. Aquel en el cual el ingrediente activo se encuentra a su máxima concentración, obtenida como resultado de su síntesis y de sus compuestos relacionados. Es utilizado exclusivamente como materia prima en la formulación de insecticidas.
- Insecticida formulado. Es la mezcla de uno o más insecticidas técnicos, con uno o más ingredientes inertes o diluyentes, cuyo objeto es dar estabilidad al ingrediente activo o hacerlo útil y eficaz.

Por su modo de acción

Se atribuye la actividad de los insecticidas a las interacciones que, como sustancias químicas tienen, con macromoléculas biológicas específicas, para modificar la actividad natural y fundamental de éstas.

La interacción entre el tóxico y el receptor biológico está determinada por la afinidad entre

ellos y puede existir selectividad, por lo que pueden presentarse fenómenos de agonismo o de antagonismo.

Así mismo, existe una relación entre la concentración del tóxico y sus efectos biológicos o respuesta del organismo, dependiente de factores toxicodinámicos y toxicocinéticos.

El modo de acción de los insecticidas lo define Ware 1994 como "la suma de las respuestas anatómicas, fisiológicas y bioquímicas, que producen el efecto tóxico letal de un producto químico, así como el destino físico (sitio) y molecular (degradación) del compuesto en el organismo".

Por lo general, el modo de acción se refiere a cómo actúan los ingredientes activos después de que penetraron en el cuerpo de los insectos, de manera que se dice que los insecticidas actúan por contacto, por ingestión (algunos son sistémicos) y por inhalación. Cuando un producto posee más de un modo de acción, se dice que es polivalente.

La organización **Insecticide Resistance Action Committee** (IRAC por sus siglas en inglés) (IRAC 2019) describe y actualiza la información de los modos de acción de los insecticidas, por lo que se sugiere al lector consultar su página www.irac-online.org/teams/mode-of-action/, en la que actualmente se reconocen 35 modos de acción establecidos, de los cuales 27 están vigentes en 2019 y cuatro no tienen número asignado.

Los vigentes están agrupados en cuatro procesos fisiológicos que son: sistema nervioso y muscular (**azul**), respiración (**rosa**), crecimiento y desarrollo (**verde**) y sistema digestivo (**naranja**); otro adicional incluye los procesos no conocidos o inciertos (**gris**).

En el cuadro 31 se describen los modos de acción que reconoce IRAC en 2019 (IRAC 2019).

Cuadro 31. Modos de acción de insecticidas, según IRAC 2019. Los números ausentes corresponden a modos de acción que ya no están vigentes en el comercio de insecticidas.

Grupo	Nombre	Subgrupo químico
1	Inhibidores de la acetilcolinesterasa (AChE)	1A Carbamatos 1B Organofosforados
3	Moduladores del canal de sodio	3A Piretroides
4	Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina (nAChR)	4A Neonicotinoides
5	Moduladores alostéricos del receptor nicotínico de la acetilcolina (nAChR)	Espinosinas
6	Moduladores alostéricos del canal de cloro regulado por glutamato (GluCl)	Avermectinas Milbemicinas
7	Miméticos de la hormona juvenil	7B Fenoxicarb 7C Piriproxifén
8	Diversos inhibidores no específicos (multi-sitio)	8C Fluoruros 8F Generadores de isotiocianato de metilo
9	Moduladores de los órganos cordotonaes	9B Derivados de la piridina azometina
10	Inhibidores del crecimiento de ácaros	10A Clofentezín 10B Hexitiazox
11	Disruptores microbianos de las membranas digestivas de insectos.	11A (<i>Bacillus thuringiensis</i> y las proteínas insecticidas que producen
15	Inhibidores de la biosíntesis de quitina, afectando CHS1	Benzoilureas
16	Inhibidores de la biosíntesis de quitina, tipo 1	Buprofezín
17	Disruptores de la muda, Dípteros	Ciromazina
18	Agonistas del receptor de ecdisona	Diacilhidracinas
19	Agonistas del receptor de octopamina	Amitraz
20	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III	20B Acequinocil 20D Bifenazato
21	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial	Acaricidas e insecticidas METI
22	Bloqueadores del canal de sodio dependiente del voltaje	22A Oxadiazinas 22B Semicarbazonas
23	Inhibidores de la acetil CoA carboxilasa	Derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico

Grupo	Nombre	Subgrupo químico
24	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial IV	24A Fosfinas
25	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial II	Derivados de beta-cetonitrilo
28	Moduladores del receptor de la rianodina	Diamidas
29	Moduladores de los órganos cordotonales-lugar objetivo sin especificar	Flonicamida
31	Baculovirus, Virus patógenos ocluidos, específicos del huésped	Granulovirus Nucleopoliedrovirus
UN	Compuestos de modo de acción desconocido o incierto	Azadiractina Azufre Polisulfuro de calcio Sales potásicas de ácidos grasos vegetales
UNE	Extractos vegetales y aceites crudos de MDA desconocido o incierto	Aceites crudos
UNF	Hongos entomopatógenos de modo de acción (MDA) desconocido o incierto	<i>Beauveria bassiana</i> <i>Lecanicillium muscarium</i> <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> <i>Metarhizium anisopliae</i>
UNM	Disruptores mecánicos no específicos	Aceites de parafina Maltodextrina Tierra de diatomeas

Toxicología aplicada en el manejo de insecticidas

La toxicología es la ciencia que estudia la naturaleza y los mecanismos de los efectos tóxicos nocivos de las sustancias, químicas, naturales o sintéticas, en organismos vivos y otros sistemas biológicos. Los estudios toxicológicos pueden ser cualitativos y/o cuantitativos.

La toxicidad es la capacidad de una sustancia para causar un efecto adverso en un corto plazo a un organismo vivo o sistema biológico. En el caso de los insecticidas se tienen dos puntos de vista sobre la toxicidad. El primero, de acuerdo al control químico de plagas, es el potencial de un ingrediente activo (i.a.) para causar la muerte u otro efecto en la plaga. El segundo se refiere a

la toxicidad como potencial de una sustancia para causar efectos negativos en la salud humana y/o el ambiente y sus componentes.

Cálculo de la toxicidad

La toxicidad se expresa cuantitativamente por medio de la dosis o concentración que cause algún efecto.

La DL_{50} se refiere a la dosis que mata al 50 % de la población sometida a un ensayo y la CL_{50} a la concentración de una sustancia en el medio ambiente o sustrato de los individuos, que mata al 50 % de la población sometida al ensayo. Estos valores son indicadores generales de la toxicidad aguda de una sustancia, sirven para expresar qué tan peligroso es un insecticida y clasificarlo de acuerdo a la normatividad mexicana (NOM-232-

SSA1-2009) (SSA 2009). Se determinan vía oral (por ingesta) o vía dermal (por contacto).

Comúnmente la toxicidad se expresa en miligramos de sustancia por individuo o por peso de individuo (mg de i.a./kg peso, o en $\mu\text{g}/\text{insecto}$, etc.).

La concentración se expresa en mg de i.a./l o por m^3 de sustrato ambiental o en partes por millón (ppm).

La toxicidad se determina midiendo, para cada dosis o concentración, el efecto que ocasiona; pudiéndose estimar por medio de una curva elaborada con los datos **Dosis-Efecto (Respuesta)**. La figura 195 muestra un ejemplo de la gráfica sigmoide Dosis-Respuesta, que se obtiene al graficar el logaritmo de la dosis o concentración (variable independiente) contra el porcentaje de mortandad (variable dependiente).

Para una mayor precisión de la DL_{50} o de la CL_{50} , se aplica el Modelo Probit, que es un tipo de regresión en el que la variable dependiente solo puede tomar dos valores (vivos o muertos).

En el Modelo Probit se grafica el logaritmo de la dosis o la concentración *versus* los valores Probit, que se obtienen al transformar el porcentaje de mortandad en una “unidad de probabi-

lidad” o “Probit”, 0 para 0.0001 y 10 para 0.9999 (Bliss 1934).

Bliss construyó una tabla que ayuda a los investigadores a convertir porcentajes de mortandad a su número Probit; con el cual, al graficar el logaritmo de la dosis o concentración contra el Probit, se obtiene una línea más o menos recta. La transformación facilita realizar estudios de diversa índole. Por ejemplo, comparar la toxicidad de varios insecticidas, determinar la toxicidad de diferentes tipos de formulación, o bien, estimar la resistencia de una plaga a un insecticida. La figura 196 ejemplifica el desarrollo de resistencia de una plaga a un insecticida.

Los insecticidas disponibles difieren ampliamente en su toxicidad hacia los seres humanos y otros organismos. La DL_{50} oral aguda es un indicador de la cantidad que podría matar a una persona con determinado peso y se expresa en mg de insecticida por kilogramo de peso corporal. La DL_{50} se determina en experimentos de laboratorio con ratones, ratas, conejos, cobayos y hámsters entre otros, que permiten hacer otros estudios toxicológicos como la determinación de carcinogénesis, teratogénesis, mutagénesis, irritaciones oculares y cutáneas, etc.

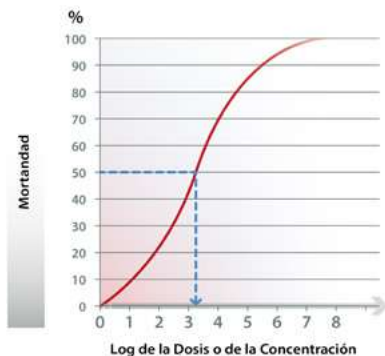


Figura 195. Curva dosis (log. dosis) versus respuesta mortalidad, gráfica para determinar la DL_{50} . (Esquema: E. Llanderal)

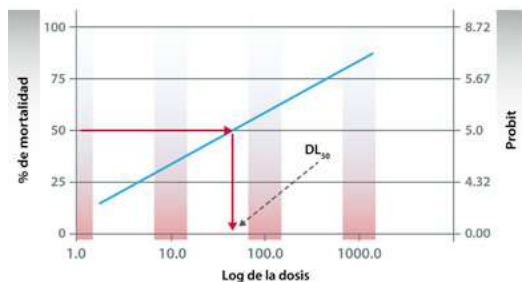


Figura 196. Modelo Probit. Se obtiene al graficar el log de la dosis vs el porcentaje de mortalidad de los organismos de prueba, o de su respectivo número Probit. (Esquema: E. Llanderal)

Muchos insecticidas son selectivos y varían ampliamente en el grado de toxicidad hacia los organismos; la mayoría actúan en el sistema nervioso de los insectos y parecen ser menos tóxicos a los animales de sangre caliente, aunque también actúan en su sistema nervioso y por lo tanto son peligrosos.

En la actualidad se integra el conocimiento para desarrollar insecticidas que solo actúen en los insectos y no tanto en los mamíferos, por ejemplo, productos hormonales, semioquímicos e inhibidores de la formación de la cutícula.

Para que un insecticida actúe en un insecto, deben ocurrir los siguientes pasos:

- Contacto de las moléculas con el insecto.
- Penetración dentro del cuerpo.
- Metabolismo del insecticida.
- Almacenamiento y excreción de las moléculas en sitios inertes.
- Transporte a un sitio de acción.

• Interacción con el sitio de acción, causando disturbios que provoquen la acción insecticida. Cualquier diferencia cualitativa o cuantitativa en esos pasos, significa que pueda haber toxicidad selectiva entre insectos.

El cuadro 32 presenta la toxicidad oral y dermal agudas de algunos insecticidas.

En el marco ecológico, la toxicidad puede expresarse selectivamente entre especies; así mismo, la susceptibilidad a insecticidas de los artrópodos plaga varía entre especies.

Lagunes-Tejeda *et al.* 2009 realizaron una revisión de los valores de susceptibilidad (DL_{50}) para 64 insecticidas y acaricidas en 33 especies de artrópodos, con el objetivo de que las DL_{50} se pudieran usar para determinar la susceptibilidad o resistencia de esas especies en México, y tomar la decisión de aplicarlos para el control de alguna plaga que ataca a los cultivos agrícolas.

Cuadro 32. Toxicidad oral, dermal e inhalatoria de algunos insecticidas (referida a seres humanos).

Insecticida	Tipo	DL_{50} oral aguda (mg/kg)	DL_{50} dermal aguda (mg/kg)	CL_{50} mg/l
Acefato	Organofosforado	945	>10,000	15.0
Acetamiprid	Neonicotinoide	146	>2,0000	>1.15
Azadiractina	Natural	3,540 a 5,000	>2,0000	2.41
Azinfos metílico	Organofosforado	9	175	0.15
Bifentrina	Piretroide	54.5	>2,000	1.01
Buprofezin	No clasificado	>2,198	>2,000	>4.57
Carbarilo	Carbamato	614	>5,000	2.4
Clorrantraniliprole	Diamida antranílica	>5,000	>5,000	>5.1
Diazinon	Organofosforado	1,139	>2,000	>5.0
Diflubenzuron	Benzoilurea	>4,650	>2,000	>2.5
Fenitrotion	Organofosforado	330	890	2.2
Malation	Organofosforado	1,778	>2,000	>5.0
Lambda cialotrina	Piretroide	56	>632	0.066
Permetrina	Piretroide	>430	>2,000	>0.685
Spinosad	Natural	>5,000	>2,000	30.0

La toxicidad como referencia a la resistencia

La toxicología aplicada a los insectos, muy importante en las últimas tres décadas, estudia la resistencia de los organismos plaga a los insecticidas.

En la práctica, “resistencia” significa que los insectos y ácaros plaga no son aniquilados con los mismos métodos y materiales que se están usando bajo las recomendaciones originales, esto es, usando los productos autorizados y recomendados a las dosis máximas.

La resistencia es “el desarrollo de la habilidad para tolerar dosis altas de tóxicos, que resultarían letales a la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie” (IRAC 2019). Este cambio, heredable en la sensibilidad de una población plaga, se refleja en la falla de control del producto, cuando es aplicado de acuerdo a las recomendaciones.

El fenómeno de la resistencia se ha observado desde hace más de un siglo, ya que en 1908 la escama de San José (*Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock)), una plaga de los manzanos, presentó resistencia a la mezcla sulfo-cálcica (Brown 1958). Sin embargo, el fenómeno se viene acentuando con el uso de sustancias orgánicas sintéticas, pues a partir del descubrimiento de las propiedades insecticidas del DDT, y de su desmesurado uso, y del desarrollo de más moléculas insecticidas, se abusó del control químico, con el consecuente aumento del número de especies resistentes. Para 2014, 586 especies presentaron resistencia y 325 insecticidas la propiciaban en una o más especies (Sparks y Nauen 2015).

Cuando se detecta resistencia de una plaga a un insecticida, se debe corroborar que efectivamente existe, para lo cual se llevan a cabo bioensayos que determinan la DL₅₀ de la raza susceptible y de la resistente; con los datos obtenidos

se calcula el índice de resistencia (IR) (Rodríguez *et al.* 2009).

$$IR = \frac{LD_{50} \text{ de la población de campo resistente}}{LD_{50} \text{ de la población susceptible}}$$

Un ejemplo hipotético de resistencia se presenta en la figura 197. Realizando los bioensayos con insectos susceptibles criados en el laboratorio, e insectos que presentan resistencia capturados en el campo, se determina la mortandad a diferentes dosis o concentraciones.

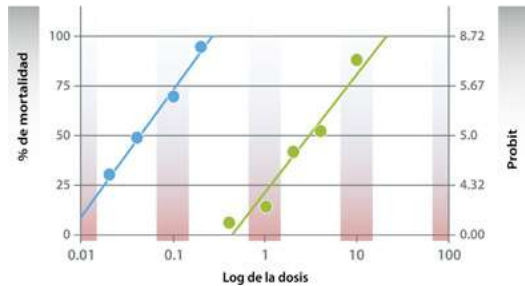


Figura 197. Modelo Probit al graficar el log de la dosis vs el porcentaje de mortalidad, o de su respectivo Valor Probit, en el que una plaga presenta resistencia a un insecticida. (● susceptible; ● resistente) (Esquema: E. Llanderal)

A partir de la gráfica se obtienen los valores de DL₅₀ y se mide el aumento de la raza resistente. El índice de resistencia que resultaría del ejemplo anterior sería:

$$IR = \frac{25}{0.03} = 83.3$$

Métodos y equipos de aplicación de insecticidas

Van desde equipos simples hasta equipos sofisticados.

- **Pulverizadores**, permiten que el producto aplicado se esparza como líquido en gotas muy finas.

- **Espolvoreadores**, distribuyen los insecticidas en forma de polvo.

Según el tamaño de gota o partícula se denomina el método (cuadro 33).

Cuadro 33. Diámetro de gota o partícula de insecticida según su aplicación.

Método	Diámetro de la partícula o gota
Dispersión	Granulados (agregados de partículas)
Espolvoreación	0.05 mm (partícula)
Pulverización	> 0.15 mm (gota)
Atomización	0.05-0.15 mm (gota)
Nebulización	< 0.05 mm (partícula o gota)
Fumigación	Tamaños moleculares (partícula gaseosa)

Para aplicar los insecticidas se utilizan aspersoras con las cuales se aplican soluciones acuosas y su boquilla se ajusta fácilmente a varios patrones de asperjado (de chorro delgado a nube amplia).

Son equipos de diferente tamaño y forma, con sistema de bombeo que puede ser manual o de motor.

Generalmente con bomba de pistón sellada, coladera en la boca de llenado (reduce el riesgo de impurezas en la solución), tapa con un asa y con broches para sujetar el tubo rociador, válvula de respiración, palanca de bombeo y boquilla ajustable a patrones de asperjado variables (chorro fino hasta nube de niebla) (figura 198).

Pulverización

También llamada aspersión; la fase líquida generalmente es agua, pero puede ser aceite o insecticida sin diluir. Las gotas pequeñas se obtienen con orificios pequeños y altas presiones, que en teoría, pueden dar mejor cobertura, pero existen límites prácticos para su pequeñez. Dependiendo de la temperatura del aire y

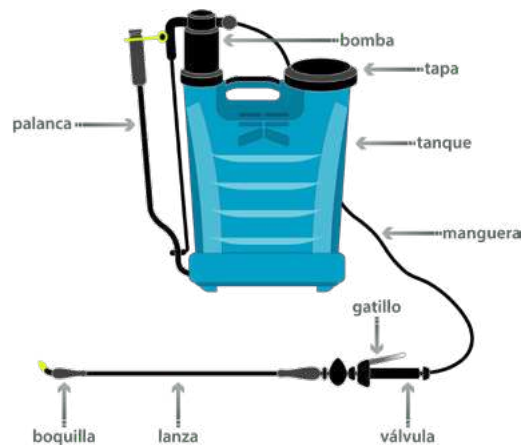


Figura 198. Bomba aspersora manual y sus componentes. (Ilustración: E. Llanderal)

de la superficie de las hojas, puede ocurrir que las gotas muy pequeñas se evaporen sin llegar a tocar las plantas.

Para insecticidas convencionales se recomienda un mínimo de 50 gotas/cm². Para insecticidas sistémicos se requiere menor cantidad de gotas/cm², ya que después se trasladan a los sitios de acción.

Atomización

Es similar a la pulverización, pero en vez de líquido a presión, la atomización utiliza una corriente de aire para transportar las gotas.

Con la atomización, localizada o de amplio espectro, se minimizan los deslizamientos de los químicos tóxicos que provoca el viento. Generalmente se usan volúmenes de líquido menores a los usados en pulverización, pero se logra una mayor penetración en la planta.

El tamaño de gota es pequeño (50-250 micras). Los atomizadores permiten rociar sustancias sintéticas o materiales orgánicos (por ejemplo, aceites y mezclas de soluciones naturales).

Boquillas

Las boquillas son importantes en la aspersión y atomización, convierten el líquido en gotas, determinan su tamaño, las distribuyen en un patrón determinado y precisan el caudal o volumen de aplicación. Existen boquillas de cono hueco, de cono sólido, de aspersión plana y de aspersión uniforme.

Con gotas grandes se tiene menor cobertura, menor penetración, menos deriva y menos evaporación; con gotas pequeñas hay mejor cobertura, mayor penetración, más deriva y más evaporación (figura 199).

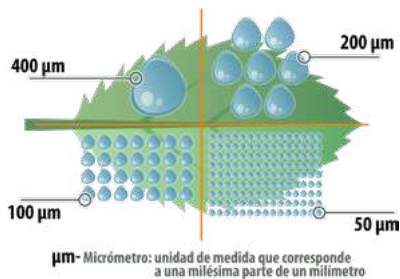


Figura 199. Tamaño de la gota, determinada por la boquilla. (Ilustración: E. Llanderal)

La tecnología de boquillas avanza con rapidez; están produciendo nuevos modelos con mejores prestaciones, por lo que se sugiere al lector revisar los más recientes y sus características.

- La boquilla de cono sólido da un espectro elíptico.
- La de abanico plano es la más popular, ya que puede usarse con insecticidas, a baja presión da gotas relativamente grandes que son menos sensibles al viento.
- La de cono hueco debe incorporar un difusor que produce un espectro de forma cónica, con el interior vacío.
- La de chorro cónico se usa principalmente en insecticidas y su gama normal de trabajo es de 2.5 a 15.0 bar.

- La de gotas grandes se usa con la de chorro cónico, produciendo un espectro muy similar y gotas más grandes con la misma presión. Con esta boquilla se puede aplicar una aspersión en presencia de viento, reduciendo el riesgo de deriva; como las gotas grandes reducen la cobertura, se recomienda aumentar el volumen de aplicación en un 10% a una presión de 3.0 a 15.0 bar.

Nebulización

Es la técnica de usar insecticidas líquidos, ya preparados para usarse o para diluirlos en pequeñas cantidades de agua.

Existen también termo-nebulizadores que aplican calor al insecticida para reducir la gota hasta formar una niebla; el tamaño de gota es menor a 50 micras; una desventaja es que las corrientes de aire desplazan la nube a grandes distancias y la temperatura la evapora antes de llegar a su objetivo. Se utilizan formulaciones a ultrabajo volumen, debiéndose aplicar en condiciones climáticas estables y con poco viento.

Calibración de equipos

El uso de equipo calibrado correctamente es tan importante como la selección misma del insecticida que se va a utilizar.

- La calibración apropiada del equipo permite:
- Reducir problemas como el acarreo del insecticida por el viento y una cobertura no uniforme.
 - Mejorar la eficiencia del insecticida para controlar plagas.
 - Reducir impactos negativos a la vida silvestre.
- Una calibración adecuada asegura la efectividad de la aplicación. Antes de calibrar el equipo, debe asegurarse que sea utilizado siguiendo las recomendaciones en la etiqueta. Cada boquilla rociadora se debe calibrar manteniendo una diferencia

de no más de 5 % del volumen requerido. La calibración se debe hacer después de haber cambiado dosis, boquillas y filtros.

Calibración en superficies planas

Para calcular los l/m² a aplicar se hacen los siguientes cálculos en secuencia:

- **Caudal de aplicación.** Se mide el gasto de aspersión en litros por metro lineal.
- **Velocidad de trabajo.** Se debe medir en una distancia conocida (por ejemplo 10 m), el tiempo que demora en recorrerla con el equipo en condiciones de trabajo y a ritmo normal. Para datos más representativos se deben obtener varios valores.

Ejemplo:

Distancia recorrida: 10 metros:

Tiempos realizados: 30, 31, 28, 27 segundos.

Promedio: 29 segundos / 10 metros.

Velocidad: 20.4 metros por minuto.

- **Ancho del abanico de aspersión** (distancia entre pasadas). Para obtener una distribución homogénea, se deben superponer o translapar los abanicos. Por ejemplo, boquillas de ángulo 80° deben tener un ancho de labor (distancia entre pasadas) de 50 cm. Boquillas con ángulo de 110° deben tener un ancho de labor de 70-75 cm. Ambas para una altura de trabajo de 40-50 cm, siendo ésta la distancia entre la boquilla y el suelo. Para mantener una altura constante se coloca una cadenita en la punta de la lanza, de un largo igual a la altura de trabajo buscada.

Cambios en la presión de aspersión

Para variar el volumen a aplicar se puede cambiar la velocidad de trabajo; al aumentarla disminuye el volumen aplicado. Mediante la modificación

de la velocidad, podemos entregar distintos caudales con la misma boquilla. Esta operación se ve dificultada en equipos que no poseen manómetros o reguladores de presión.

- **Manómetro:** indica la presión de trabajo, siendo de vital importancia mantenerla constante durante todo el trabajo.
- **Válvula reguladora:** regula la presión de trabajo, no permitiendo que el equipo trabaje por arriba ni por debajo de la presión determinada.

Válvulas de presión

Existen dos tipos:

- **De presión definida.** 1 bar 15 psi, 2 bar 30 psi, 3 bar 45 psi.
- **De presión modificable.** En este caso se puede regular la presión.

Las válvulas se pueden colocar al final de la lanza aspersora o justo después de la empuñadura. Se sugiere utilizarlas, ya que se logra mayor economía de tiempo, y menor esfuerzo físico, mayor seguridad para el operario y cobertura más uniforme.

Frecuencia de calibración

En los equipos de aplicación la calibración se debe hacer al menos una vez al año y debe ser registradas en la bitácora de uso del equipo con fecha, nombre de la persona y su calificación. La calibración debe hacerla personal capacitado.

Mantenimiento de equipo

El equipo no se debe exponer innecesariamente a condiciones ambientales extremas como a la lluvia o al sol; no golpearlo y guardarlo en lugares secos, lubricar los lugares recomendados por el fabricante, eliminar todo residuo del producto que quede en el tanque y sistema de conducción, limpiar todos y cada uno de los aditamentos antes de guardarlos y cambiar las piezas

dañadas apenas se detecten fallas. Antes de usarlo se debe quitar el polvo y la suciedad que se ha acumulado durante el almacenamiento. Diariamente, y después de cada jornada de trabajo, se debe lavar el equipo con agua limpia, haciéndola circular por todo el sistema y poniendo especial cuidado de no contaminar fuentes de agua con los desechos.

Las boquillas se deben limpiar con cepillos suaves y palillos de plástico; nunca soplar con la boca, ni usar cepillos de metal, no desatascar las boquillas con la boca sino con agua o una sonda blanda, no intentar limpiar las boquillas cuando la bomba esté en funcionamiento o cuando el depósito esté a presión. Se sugiere usar filtros para evitar que las boquillas se obstruyan o desgasten innecesariamente.

Como parte final se debe armar el equipo y ponerlo a funcionar con agua para asegurar que no tenga fugas. Después drenar toda el agua, aplicar lubricantes en la parte del equipo que recomiende el fabricante; finalmente guardar todo con cuidado.

Manejo y uso seguro de insecticidas

Precauciones y riesgos

La vestimenta de protección del aplicador es la primera línea de defensa para evitar intoxicación y contaminación (figura 200).

La utilidad de los insecticidas descansa en su propiedad de interrumpir procesos vitales de los insectos plaga; sin embargo, la mayoría puede causar intoxicaciones o inclusive la muerte al hombre y a los animales, por lo que deberán usarse con especial cuidado.

Es esencial que las personas que los utilizan comprendan claramente los riesgos asociados con estos productos y aprendan a manejarlos y usarlos con las debidas precauciones.

Todas las personas expuestas a los insecticidas deben estar conscientes del riesgo de que estos productos penetren al organismo, por ingestión, inhalación o por absorción a través de la piel. Por tal motivo, es necesario que se ajusten estrictamente a las medidas de seguridad, básicas para la protección del personal operativo, de la comunidad y del ambiente.

Es fundamental que los trabajadores sean instruidos sobre las buenas prácticas en el manejo y uso de los insecticidas.



Figura 200. Indumentaria para el uso seguro de insecticidas. (Ilustración: E. Llanderal)

Cada trabajador debe estar enterado de las propiedades de los insecticidas que usa o maneja, así como de las prácticas reglamentarias para el transporte de materiales peligrosos, para evitar riesgos innecesarios y tomar las medidas adecuadas en caso de un accidente que provoque la liberación de estas sustancias.

Es recomendable que en las áreas de trabajo, comedores y sanitarios se exhiban carteles conteniendo las siguientes reglas para el manejo y uso seguro de los insecticidas:

- Antes de manejar un insecticida envasado asegúrese de que el envase no tenga fugas.
- Antes de utilizar cualquier insecticida, lea cuidadosamente la etiqueta.
- Asegúrese de contar con el equipo de protección adecuado para el insecticida a aplicar; recuerde que el uso incorrecto de cualquier insecticida, puede tener consecuencias negativas a la salud humana o ambiental. Utilice guantes de material apropiado, y un respirador cuando se recomiende.
- Asegúrese de calibrar el equipo de aplicación, antes de iniciar la jornada.
- No maneje los envases de manera brusca o descuidada.
- Si se presenta una fuga o derrame del producto, aleje del área contaminada a las personas y a los animales.
- Si hay derrame sobre la piel o ropa, quítese la ropa contaminada y lave la piel con agua y jabón.
- Después de descargar los insecticidas, asegúrese que los transportes no queden contaminados.
- Mezcle los insecticidas en un área bien ventilada, nunca lo haga en áreas cerradas.
- Nunca use las manos para revolver los insecticidas o sacar objetos que hayan caído dentro del envase.
- Repare o reemplace las mangueras y conexiones del equipo de rocío que estén perforadas o dañadas antes de usarlas.
- No rocíe en contra del viento, ni hacia arriba.
- No rocíe sobre pastura y/o forraje.
- No almacene insecticidas, ni envases que los hayan contenido, en la proximidad de alimentos y bebidas, o para consumo animal.
- No deje insecticidas cerca de alimentos, bebidas, ni utensilios para contener o manejar alimentos.
- Siempre coloque los insecticidas y las herramientas de aplicación, en un lugar exclusivo para ellos.
- No deje alimentos, bebidas, tabaco, ni utensilios para contener o manejar alimentos en las áreas de trabajo en las que se empleen insecticidas, o cerca de la ropa o equipos de protección.
- No coma, beba o fume en las áreas de trabajo.
- Si no se ha lavado previamente las manos con abundante agua y jabón no se frote los ojos o toque la boca, mientras trabaja con insecticidas, ni al término de su jornada laboral.
- Lávese las manos con abundante agua y jabón después de haber estado en contacto con insecticidas y antes de beber, comer, fumar o usar el servicio sanitario.
- Cuando maneje insecticidas, use guantes de material apropiado y ropa de protección, así como un respirador cuando se recomiende.
- Limpie los respiradores entre aplicaciones.
- Lave los cartuchos y cambie los filtros de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Lave la ropa de trabajo aparte de la ropa de uso cotidiano. Deseche la ropa y otros objetos de protección contaminados, como los guantes.
- No ingiera ni inhale ningún insecticida.
- Si se requiere de ayuda médica, lleve consigo la etiqueta o el envase del insecticida utilizado.

Disposición de envases vacíos

Para su disposición correcta, los envases vacíos que hayan contenido insecticidas tales como bolsas de papel y plástico, recipientes de cartón, envases de vidrio, cubetas de plástico o metal, tambores metálicos o de plástico y cualquier otro tipo de envase, deberán perforarse, guardarse después en un lugar de almacenamiento seguro e informar a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para que proporcione las indicaciones necesarias sobre la disposición final de estos envases, en un receptor de agroquímicos. Abandonar, quemar, enterrar o tirar en el campo envases vacíos de insecticidas los convierte en un problema tangible en tanto que se convierten en fuente de contaminación y causa de envenenamiento al hombre cuando son usados para guardar agua y alimento. La industria asociada, conjuntamente con las autoridades gubernamentales responsables de la ecología, ha establecido un convenio de concentración para limpiar el campo de envases vacíos de agroquímicos, denominado "Programa Nacional Conservemos un Campo Limpio", cuyos objetivos son:

- Evitar la contaminación de mantos acuíferos y canales de riego.
- Utilizar óptimamente los productos agroquímicos.
- Evitar la reutilización de envases.
- Evitar la acumulación de envases en el campo.
- Evitar la contaminación resultante y establecer formas de manejo y eliminación racional y segura de los envases.

Con este programa se pretende implementar la cultura del triple lavado de los envases al momento de preparar la mezcla en el campo. Por determinaciones realizadas en laboratorios autorizados, se sabe que, con el triple lavado se elimina más del 98 % del residuo del envase.

Instrucciones para el triple lavado

Solo aplica para contenedores como botellas y cuando el insecticida esté formulado con agua.

- El lavado se debe hacer inmediatamente después de vaciar el producto en el tanque en que se está preparando la mezcla que se aplicará.
- Agregue agua limpia al envase vacío hasta la cuarta parte de su capacidad y tápelo. Con la tapa hacia arriba, agítelo durante 30 segundos, vacíe el contenido en el tanque de la aspersora.
- Agregue nuevamente agua limpia hasta la cuarta parte de su capacidad y tápelo. Con la tapa hacia abajo, agítelo durante 30 segundos. Vacíe el contenido en el tanque de la aspersora.
- Por tercera ocasión, agregue agua limpia al envase vacío hasta la cuarta parte de su capacidad y tápelo. Con la tapa hacia un lado, agítelo durante 30 segundos. Vacíe el contenido en el tanque de la aspersora.
- Almacene los envases limpios en un lugar seguro y protegido del sol y la lluvia, hasta el momento de su devolución al proveedor.

La recolección de estos envases con triple lavado debe hacerse siguiendo la cadena de distribución, pero a la inversa, esto es, que el usuario final lo devuelva al distribuidor con quién lo adquirió, para de ahí pasar al centro de acopio y finalmente al reciclador.

La etiqueta de los insecticidas

La etiqueta es el documento que suele ser la mejor guía de instrucciones para el buen uso y manejo del producto y, principalmente, para el uso seguro del mismo.

¡ALTO, LEA LA ETIQUETA ANTES
DE USAR EL PRODUCTO!

La leyenda anterior siempre aparece en la etiqueta de todo producto insecticida en la parte superior izquierda, vista de frente; el usuario

debe revisarla antes de comprar el producto y leerla siempre que tenga en las manos un insecticida. Nunca considerar que conoce de memoria el contenido de la etiqueta, aunque lo use de manera frecuente, ya que algo puede haberse olvidado o cambiado desde la última ocasión que se adquirió. **Lea la etiqueta cuantas veces sea necesario.**

En México, la etiqueta es un documento de carácter legal (figura 201); su estructura está de acuerdo a la NOM-232-SSA1-2009. Insecticidas. Esta norma establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Dado que la etiqueta es un documento normativo, las instrucciones contenidas en ella deben seguirse con estricto apego.

Columnas de la etiqueta

En la estructura y contenido de la etiqueta se vierte gran parte de la información. La etiqueta se conforma por tres columnas verticales y una banda horizontal en la parte baja.

Columna izquierda

Contiene información sobre riesgos. En orden casi general, contiene:

- Precauciones y advertencias de uso.
- Precauciones de manejo del producto.
- Primeros auxilios.
- Recomendaciones al médico.
- Medidas para proteger el ambiente.
- Garantía

Columna central

Proporciona información importante del producto y sus ingredientes. Tiene escrito, en la parte superior, el tipo de uso del producto, por ejemplo, USO AGRÍCOLA (USO FORESTAL), seguido de la siguiente información:

- Nombre Comercial.
- Nombre común del Ingrediente Activo o Ingredientes Activos (I. A.).
- Actividad biológica (tipo de plaga a controlar).
- Tipo de Formulación.
- Composición expresada en porcentaje, indistintamente si la formulación es sólida



Figura 201. Etiqueta de un insecticida que contiene las tres columnas con la información reglamentaria.

- o líquida. El I.A. viene por nombre común y nombre químico
- Registro Coordinado (RSCO) y vigencia del mismo. Los productos no registrados en México, son ilegales.
- Contenido Neto.
- Símbolos de Advertencia y Peligro.
- Número de Lote.
- Fechas de Fabricación y Caducidad.
- Nombre, Dirección y Teléfono del Fabricante, Distribuidor o Formulador.

Columna derecha

La columna tiene generalmente una leyenda respecto al uso del producto, por ejemplo,

- ÚSESE EXCLUSIVAMENTE EN LOS CULTIVOS Y PLAGAS AQUÍ RECOMENDADOS.
- La recomendación de calibrar el equipo de aplicación.
- Información del uso autorizado en cultivos, plagas y dosis.
- Recomendaciones para la aplicación.
- Medidas precautorias y de seguridad antes y después de la aplicación.

En la mayoría de los insecticidas químicos, entre paréntesis y abajo del cultivo, se menciona el número de días que deben transcurrir entre la última aplicación del producto y el momento de cosechar.

Banda de color e íconos pictográficos

Esta banda se ubica a lo largo de la parte baja de la etiqueta; tiene como función comunicar el riesgo o advertir el peligro que puede representar el insecticida a los seres humanos y el ambiente.

La toxicidad de la formulación se utiliza de acuerdo a la NOM-232-SSA1-2009 para categorizar el producto. Son cinco categorías de acuerdo a los rangos de toxicidad:

- Para las categorías 1 y 2 la banda es roja.
- Para la categoría 3 la banda es amarilla.
- Para la categoría 4 la banda es azul rey.
- Para la categoría 5 la banda es verde.

Cada categoría lleva una palabra de advertencia, de modo que las categorías 1, 2 y 3 expresan PELIGRO y las categorías 4 y 5 PRECAUCIÓN (figuras 202 y 203).

La NOM-232-SSA1-2009 se establece de acuerdo al rango de la toxicidad los insecticidas se clasifican en 5 categorías		
CATEGORÍA 1: PELIGRO		MORTAL en caso de ingestión
CATEGORÍA 2: PELIGRO		MORTAL en caso de ingestión
CATEGORÍA 3: PELIGRO		TÓXICO en caso de ingestión
CATEGORÍA 4: PRECAUCIÓN		NOCIVO en caso de ingestión
CATEGORÍA 5: PRECAUCIÓN		PUUEE SER NOCIVO en caso de ingestión

Figura 202. Categorización de los productos insecticidas de acuerdo a su toxicidad e íconos y palabras de advertencias según la NOM-232-SSA1-2009.



Figura 203. La banda de color lleva en la parte central de la etiqueta, símbolos y frases de advertencia, de acuerdo a la toxicidad. También varios íconos o pictogramas (símbolos que representan un concepto de riesgo). Los íconos manifiestan cuidados sobre almacenamiento, riesgos ambientales, manejo y aplicación y recomendaciones de higiene y seguridad.

Los insecticidas en el ámbito forestal

David Cibrián Tovar

Utilización de insecticidas en escenarios de manejo forestal

En México el uso de insecticidas químicos en el ambiente forestal está bien definido. Se utilizan en los viveros forestales del país, que producen cada año cientos de millones de plantas; forman parte del arsenal contra plagas en las más de 50,000 hectáreas de plantaciones comerciales tropicales del sureste del país y casi 1,000 ha de plantaciones de árboles de navidad. Otro escenario, es la atención de contingencias por plagas en pinos y encinos de los bosques naturales; por ejemplo, de 2011 a 2016 se utilizaron en cerca de 200,000 hectáreas de bosques de pino y 3,000 de encino en el país; también se utilizan para control de insectos que afectan árboles en los ambientes urbanos y suburbanos de las ciudades de México; el último escenario es la protección contra insectos que deterioran maderas en uso: muebles, pisos, techos, etc.

El personal que aplica los insecticidas en los ambientes forestales es variable: desde los certificados en métodos de tratamiento, hasta los que carecen de entrenamiento para su aplicación. Cada escenario tiene sus particularidades relacionadas con los insecticidas.

Viveros forestales

Los viveristas utilizan insecticidas sin restricciones, lo que conduce a que varios de ellos mantengan grandes inventarios de insecticidas, desde los de amplio espectro y larga persistencia, hasta los nuevos productos más específicos y de corta residualidad. En la Norma Mexicana NMX-

AA-170-SCFI-2016 (SEMARNAT 2016), para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales de la SEMARNAT, se hacen recomendaciones para prevenir ataques y favorecer el vigor de la planta en producción.

Plantaciones forestales comerciales maderables

La mayoría de las grandes empresas que poseen y manejan plantaciones forestales comerciales tropicales, principalmente de teca (*Tectona grandis* L. f.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y pinos tropicales (*Pinus* spp.), tienen certificación de buen manejo forestal otorgada por el Forest Stewardship Council (FSC). Este organismo internacional restringe el uso de insecticidas altamente peligrosos, lo que conduce a la utilización de insecticidas con menor impacto ecológico. En este escenario es común la aplicación de control biológico y mejoramiento genético para resistencia vegetal.

Hay otras plantaciones comerciales tropicales que ocupan pequeñas superficies y normalmente utilizan especies nativas como cedro rojo (*Cedrela odorata* (Linnaeus)), caoba (*Swietenia macrophylla* King), amapa, maculís, palo de rosa, primavera (*Tabebuia* spp.), y muchas más. Son plantaciones que no están bajo certificación y sus dueños utilizan los insecticidas de manera libre.

Plantaciones de árboles de navidad

En estas plantaciones, de manejo intensivo, se cuida la estética de los árboles, asegurando máxima retención de acículas y color natural de

follaje. Pocos plantadores de árboles de navidad están certificados, por lo que la mayoría utiliza insecticidas convencionales.

Bosques naturales

En los bosques naturales de México el uso de insecticidas químicos pasa por la aprobación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). La CONAFOR es la única dependencia con facultad de otorgar notificaciones de saneamiento forestal; en ellas se define el grupo de productos a utilizar y se recomiendan las dosis y el periodo de aplicación.

Cuando existen contingencias fitosanitarias en un Estado o grupo de Estados del país, los Comités Estatales de Sanidad Forestal establecen el proceso de saneamiento, la selección del insecticida, dosis, método y periodo de aplicación, lo cual es considerado por la CONAFOR para expedir la notificación correspondiente; dichos comités están constituidos por representantes de los tres órdenes de gobierno, (federal, estatal y municipal), por representantes de los técnicos forestales, por miembros de la academia universitaria y por miembros de organizaciones no gubernamentales (ONG's).

Lo anterior conduce a una toma de decisiones consensuada con el objetivo de seleccionar los tratamientos más apropiados para el problema que está ocurriendo; este proceso toma en cuenta opiniones de los sectores involucrados, lo cual permite tomar decisiones armonizadas; sin embargo, tiene la dificultad de retraso en la toma de decisiones. En este escenario de bosques naturales, hay predios con certificación de buen manejo forestal (otorgado por la FSC), en los cuales se aplican los mismos criterios que se mencionaron para las plantaciones comerciales.

Ambientes forestales urbanos

En la arboricultura mexicana no existen restricciones regulatorias para el uso de insecticidas contra insectos plaga; sin embargo, cuando los controladores de plagas urbanas desarrollan acciones de control en áreas verdes, utilizan productos registrados para ambientes urbanos.

Insecticidas para el combate de insectos forestales

La relación de insecticidas que sigue, se organizó de acuerdo a los grupos toxicológicos que reconoce IRAC 2019; los productos se acomodaron en orden numérico ascendente y de haber varios dentro del grupo, el arreglo es en orden alfabético, la información se complementó con las referencias: Davidson y Raupp, 2014, DEAQ 2019, Manual de plaguicidas de Centroamérica (IRET 2020), y las listas del Forest Stewardship Council (FSC 2019) de plaguicidas altamente peligrosos.

El FSC reconoce tres grupos de plaguicidas:

- Altamente peligrosos.
- De uso muy restringido.
- De uso restringido.

Las dos últimas categorías se pueden utilizar en predios forestales certificados, después de solicitar una autorización al FSC. Los insecticidas que se pueden utilizar libremente serán los que no aparecen en ninguno de los grupos.

Los productos listados son ejemplos que se han aplicado para controlar insectos forestales en otras partes del mundo, algunos en México; sin embargo, **NO constituyen una recomendación del autor para su utilización**; por lo tanto, no se hace responsable por el uso (o consecuencia de uso) de las sustancias aquí mencionadas.

La información aquí contenida, no reemplaza la información de las etiquetas de los productos.

El usuario debe asegurar la protección del aplicador y minimizar los posibles efectos colaterales de la aplicación, por ejemplo, la contaminación de fuentes de agua, el envenenamiento de personas o animales vertebrados y la afectación a polinizadores y enemigos naturales de los insectos a controlar.

Cuando un usuario requiera hacer aplicaciones frecuentes de un insecticida, se sugiere que escoja productos de grupos distintos (números y colores); con ello, limitará el desarrollo de resistencia y logrará un mejor combate. La toma de decisiones sobre los productos a utilizar requerirá un análisis de los disponibles, su toxicidad, sus costos y las consecuencias de su aplicación.

De cada insecticida se menciona:

- Su Nombre Técnico, grupo de IRAC y modo de acción fisiológico. El color identifica el proceso fisiológico afectado en el insecto: **azul** para el sistema nervioso y muscular; **rosa** para la respiración; **verde** para el crecimiento y desarrollo; **naranja** para el sistema digestivo y **gris** para los procesos no conocidos o inciertos.
- Las propiedades sistémicas en el vegetal.
- La forma de penetración al insecto: por ingestión, contacto o sistémico; en este último caso, se anota la posibilidad de inyectar a tronco.
- Los grupos de insectos a controlar.
- La toxicidad, aguda y ambiental.
- La ubicación del producto en la lista de plaguicidas altamente peligrosos de la FSC.
- Al final se muestra el (o los) color (es) de la banda que aparece (n) en la parte baja de los envases. Algunos tienen formulaciones con concentraciones distintas por lo que puede variar su color.

Los grupos de insectos a controlar están organizados por la forma de alimentación o el hábito de vida, son: chupadores de savia, defoliadores,

descortezadores, barrenadores, agalladores y rizófagos. Cada grupo incluye familias de insectos de uno o varios ordenes, y para propósitos prácticos se usan nombres fácilmente reconocidos por los usuarios. Se sugiere consultar el libro "Fundamentos de Entomología Forestal" (Cibrián (ed.) 2017), para más información de las familias de insectos, hábitos, características generales e importancia.

- **Chupadores de savia.** Todos dentro del Orden Hemiptera: chinches (Miridae, Tingidae, Thaumastocoridae y Coreidae), salivazos (Cercopidae), mosquitas blancas (Aleyrodidae), filoxeras (Phylloxeridae), pulgones (Aphididae), pulgones laníferos (Adelgidae), psílidos (Psyllidae), escamas y piojos harinosos (Diaspididae, Coccidae, Pseudococcidae y otras).
- **Defoliadores.** Corresponden a cuatro Ordenes. En Orthoptera, chapulines y langostas de la familia Acrididae. En Lepidoptera, gusanos de bolsa (Lasiocampidae), gusanos medidores (Geometridae), azotadores (Erebidae), defoliador de la teca (Hyblaeidae) y gusanos cortadores (Noctuidae). En Coleoptera, larvas y adultos de la familia Chrysomelidae (diabroticas y otros) y en Hymenoptera, larvas de la familia Diprionidae (moscas sierra) y hormigas arrieras de la familia Formicidae.
- **Descortezadores.** En Coleoptera, subfamilia Scolytinae, descortezadores de coníferas y algunas latifoliadas.
- **Barrenadores.** En el infraorden Isoptera, los termites de madera seca y los de madera húmeda (respectivamente Kalotermitidae y Rhinotermitidae). En Coleoptera, las brocas de madera seca (Bostrichidae y Ptinidae), escarabajos de antenas largas (Cerambycidae), escarabajos metálicos (Buprestidae), picudos (Curculionidae) y ambrosiales (Scolytinae). En Lepidoptera larvas de Sesiidae (barrenadores de tronco),

Tortricidae y Pyralidae (barrenadores de brotes y yemas).

- **Agalladores.** En el orden Hymenoptera, las avispas de la familia Cynipidae.
- **Rizófagos.** En el orden Hemiptera, ninfas de la familia Cercopidae. En Coleoptera, larvas de Melolonthidae (gallinas ciegas) y Chrysomelidae (diabroticas y otros)

Insecticidas

- **Acefato (grupo 1A, Organofosforado).**

Inhibidor de la acetilcolinesterasa en sistema nervioso.

Sistémico, estomacal y por contacto, se absorbe fácilmente por las hojas, puede ser Inyectado al tronco de árboles vivos. Contra chupadores de savia, defoliadores, barrenadoras de brotes y yemas, descortezadores y barrenadores de madera. Plaguicida de uso restringido por la FSC por ser posible carcinógeno y potencial contaminante de agua. (**Banda verde**).

- **Clorpirifos (grupo 1B, Organofosforado).**

Inhibidor de la acetilcolinesterasa en sistema nervioso.

Es un insecticida antiguo, no sistémico, estomacal y de contacto. Contra chupadores de savia, defoliadores, barrenadoras de brotes y yemas y barrenadores de madera. Altamente tóxico para abejas, invertebrados acuáticos, peces, aves y pequeños mamíferos. Plaguicida de uso muy restringido por la FSC por su toxicidad aguda en aves y mamíferos y por ser tóxico en agua. (**Banda azul**).

- **Bifentrina. (grupo 3A, Piretroides).**

Moduladores del canal de sodio en sistema nervioso.

No sistémico, de contacto. Contra chupadores de savia, descortezadores, barrenadores y rizófagos. muy tóxico para peces e invertebrados acuáticos, altamente tóxico para abejas. Plaguicida

de uso muy restringido por la FSC. (**Banda azul**).

- **Deltametrina (grupo 3A, Piretroides).**

Moduladores del canal de sodio en sistema nervioso.

No sistémico, de contacto. Contra chupadores de savia, descortezadores, barrenadores y rizófagos. Muy tóxico para peces e invertebrados acuáticos, altamente tóxico para abejas. Plaguicida de uso restringido por la FSC. En México tiene registro en COFEPRIS para control de descortezadores. (**Banda verde y banda azul**).

- **Acetamiprid (grupo 4A, Neonicotinoides).**

Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina en sistema nervioso.

Sistémico, se absorbe a través de las hojas. Afecta chupadores de savia, defoliadores. Plaguicida de uso restringido por la FSC por su toxicidad aguda en mamíferos y aves, pero es menos tóxico a abejas que otros miembros de su grupo. (**Banda azul**).

- **Dinotefuran (grupo 4A, Neonicotinoides).**

Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina en sistema nervioso.

Puede ser aplicado a follaje, al suelo en drench o inyectado al tronco de árboles vivos en donde tiene larga residualidad. Contra chupadores de savia, defoliadores, descortezadores y barrenadores. Altamente tóxico a abejas y extremadamente tóxico en agua. Sin manifestación de FSC. (**Banda azul**).

- **Imidacloprid (grupo 4A, Neonicotinoides).**

Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina en sistema nervioso.

Sistémico, estomacal y de contacto. Tiene presentaciones para aplicar por aspersion al follaje, en inyección al suelo o aplicado en drench, y en inyección al tronco, en el que tiene larga residualidad, de hasta 12 meses. En árboles de diámetros grandes requiere de semanas o meses para subir

por el sistema vascular; en herbáceas o arbustos requiere de días o semanas. Contra chupadores de savia y barrenadores. Plaguicida de uso restringido por la FSC por su toxicidad aguda en mamíferos y aves, tóxico para abejas. (Banda verde, azul, amarillo y rojo).

• **Flupiradifurona (grupo 4D, Butenolides).**

Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina en sistema nervioso.

Reciente, sistémico y de contacto. Contra chupadores de savia. Poco tóxico a abejas y abejorros. Sin manifestación de FSC. (Banda azul).

• **Spinetoram (grupo 5, Spinosinas).**

Moduladores alostéricos del receptor nicotínico de la acetilcolina–sitio 1. en sistema nervioso.

Insecticida derivado de metabolitos de un hongo del suelo. Estomacal y por contacto. Contra chupadores de savia y defoliadores lepidópteros, es uno de los que más se usan para control de defoliadores en plantaciones de eucalipto y teca. Durante las primeras tres horas de aplicación es altamente tóxico para abejas. Sin manifestación de FSC. (Banda azul).

• **Spinosad (grupo 5, Spinosinas).**

Moduladores alostéricos del receptor nicotínico de la acetilcolina–sitio 1. en sistema nervioso.

Además de absorberse por las hojas tiene actividad de contacto. Contra larvas de defoliadores y barrenadores. Altamente tóxico para abejas y tóxico para microorganismos acuáticos. Sin manifestación de FSC. (Banda azul).

• **Abamectina (Grupo 6).**

Moduladores alostéricos del canal de cloro dependiente de glutamato en sistema nervioso y muscular.

De leve acción sistémica, translaminar, estomacal y de contacto, también en cebos; es derivado de una toxina que produce un microorganismo del suelo. Contra chupadores de savia, defoliadores (hormigas), minadores de hoja, arañas rojas y

eriófidios. Plaguicida de uso muy restringido por la FSC por su toxicidad a mamíferos y aves y por su toxicidad acuática. (Banda azul y banda amarilla).

• **Benzoato de emamectina (Grupo 6).**

Moduladores alostéricos del canal de cloro dependiente de glutamato en sistema nervioso y muscular.

Sistémico, estomacal y de contacto. Contra defoliadores, chupadores de savia, descortezadores y barrenadores, es una de las principales opciones para control del barrenador esmeralda del fresno, puede proteger hasta dos años contra barrenadores. Plaguicida de uso muy restringido por la FSC por su toxicidad a mamíferos y aves y por su toxicidad acuática. (Banda verde)

• **Piriproxifén (Grupo 7).**

Miméticos de la hormona juvenil. Regulación del crecimiento)

Tiene propiedades translaminares. Es efectivo contra huevos y ninfas de chupadores de savia y larvas de minadores. Tóxico para peces e invertebrados acuáticos. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

• **Criolita (Grupo 8C).**

Diversos inhibidores no específicos (multi-sitio). Es un aluminofluoruro de calcio derivado de minerales. Estomacal. Contra larvas de defoliadores. Tóxico para peces. Sin manifestación de FSC. (Banda azul).

• **Pimetrozina (Grupo 9).**

Moduladores del canal TRPV de los órganos cordotonaes, en sistema nervioso.

Sistémico y de contacto. Es selectivo para control de pulgones y mosquitas blancas. De baja toxicidad para otros organismos. Plaguicida de uso restringido por la FSC por ser carcinógeno y posible carcinógeno. (Banda azul).

- ***Bacillus thuringiensis* Berliner variedades *aizawai* y *kurstaki* (Grupo 11A).**

Disruptores microbianos de las membranas digestivas de Insectos en sistema digestivo.

Estomacal. Es un bioinsecticida formado por esporas de la bacteria o cristales de endotoxinas derivadas del cultivo de ella. Específico contra larvas de Lepidópteros. No es tóxica para humanos ni para otros animales. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

- ***Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Grupo 11A).**

Disruptores microbianos de las membranas digestivas de Insectos en sistema digestivo.

Estomacal. Bioinsecticida formado por esporas de la bacteria o cristales de endotoxinas derivadas del cultivo de ella. Específico contra larvas de Dípteros. No tóxica para humanos o animales. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

- **Diflubenzuron (Grupo 15).**

Inhibidores de la biosíntesis de quitina afectando CHS1. Regulación del crecimiento.

Estomacal. Afecta el proceso de muda de larvas, no es tóxico a adultos. Contra larvas de defoliadores y de barrenadores. Plaguicida de uso restringido por la FSC por su toxicidad acuática. (Banda azul).

- **Buprofezin (Grupo 16).**

Inhibidores de la biosíntesis de quitina, tipo 1. Regulación del crecimiento.

Estomacal y de contacto. Afecta la síntesis de quitina, es efectivo contra inmaduros, principalmente en los primeros instares. Contra chupadores de savia. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

- **Ciromazina (Grupo 17)**

Disruptores de la muda, dípteros. Regulación del crecimiento.

Es un regulador de crecimiento selectivo para control de larvas de moscas. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

- **Indoxacarb (Grupo 22).**

Bloqueadores del canal de sodio dependiente del voltaje. Sistema nervioso.

Estomacal y de contacto. Es efectivo contra larvas de lepidópteros defoliadores. Plaguicida de uso restringido por la FSC por su toxicidad a mamíferos y aves. (Banda azul).

- **Spirotetramat (Grupo 23).**

Inhibidores de la acetil CoA carboxilasa. Síntesis lipídica, regulación del crecimiento.

Pertenece al grupo de los ácidos tetrónicos, Ketoenoles. Sistémico y por ingestión. Dentro de la planta se mueve en los dos sistemas de conducción, por xilema y por floema. Afecta principalmente estados inmaduros de chupadores de savia. Las hembras muestran reducción en la fecundidad y fertilidad de los huevecillos. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

- **Clorantaniliprol (Grupo 28).**

Moduladores del receptor de la rianodina. Sistema nervioso y muscular.

Agota el calcio de la musculatura, lo que causa la pérdida de la función muscular en los insectos, es sistémico, translaminar, de ingestión y menor actividad por contacto. De aplicación a follaje y suelo. Contra larvas de defoliadores, barrenadores y rizófagos. de baja toxicidad a humanos, aves y peces, virtualmente no tóxico para abejas, pero tóxico para invertebrados acuáticos. Plaguicida de uso restringido por la FSC por su toxicidad acuática. (Banda verde).

- **Flonicamid (Grupo 29).**

Moduladores de los órganos cordotonales sin punto de acción definido. Sistema nervioso.

Estomacal, de contacto y ligera actividad sistémica. Es un neonicotinoide nuevo, de acción nerviosa, pero distinta al grupo 9. Contra insectos chupadores de savia. Sin manifestación de FSC. (Banda verde).

• **Aceite mineral (UNM, sin número de grupo).**

Disruptores mecánicos no específicos.

Son aceites de parafina, algunos para uso en la temporada de crecimiento vegetativo (de verano) y otros para el tiempo de reposo (de invierno). Los de verano tienen poder residual muy corto, matan por bloqueo del intercambio de gases y por afectar las funciones de la membrana celular; los insectos afectados pueden suspender su alimentación y oviposición; también funcionan como repelentes. No se deben aplicar con plaguicidas que contengan azufre o se hayan aplicado éstos en un lapso máximo de 30 días. Son efectivos contra chupadores de savia y larvas de defoliadores pequeños. Plaguicida de uso restringido por la FSC por ser carcinógeno y posible carcinógeno. Extremadamente tóxico para invertebrados acuáticos. **(Banda verde y banda azul)**.

• **Jabón insecticida (UN, sin número de grupo).**

Compuestos de modo de acción desconocido o incierto (sales de potasio de ácidos grasos vegetales).

Los jabones matan huevos e insectos de cuerpos blandos, son de residualidad corta, y requieren una aplicación cuidadosa para asegurar el contacto con el insecto objetivo. Algunas plantas son sensibles a los jabones, especialmente cuando hay estrés por sequía. Son efectivos contra chupadores de savia. Sin manifestación de FSC. **(Banda verde)**.

• **Hongos entomopatógenos (UNF, sin número de grupo):**

Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill., *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *Lecanicillium muscarium* R. Zare y W. Gams (antes *Verticillium lecani*) y *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) A. H. S. Br. y G. Sm.

Hongos de modo de acción desconocido o incierto.

Las esporas de estos hongos deben entrar en contacto con el insecto objetivo. Contra chupadores de savia, defoliadores y barrenadores. Sin manifestación de FSC. **(Banda verde)**.

• **Azadiractina (UN, sin número de grupo).**

Compuestos de modo de acción desconocido o incierto. Sistémico y estomacal.

Es un regulador de crecimiento, derivado de las semillas de la meliácea *Azadirachta indica* (A. Jussieu), árbol del neem; tiene propiedades antialimentarias y repelentes. Contra estados inmaduros de chupadores de savia, defoliadores, barrenadores y rizófagos. De baja toxicidad a humanos. Sin manifestación de FSC. **(Banda verde)**.

Inyección en árboles, una técnica de control contra plagas y enfermedades

Israel Aquino Bolaños y Víctor David Cibrián Llanderal

Historia de la técnica de inyección en árboles

Leonardo da Vinci en el siglo XV incursionó en la inyección de árboles de manzana para que sus frutos fueran tóxicos y desanimaran el robo; además, fue de los primeros en desarrollar esquemas de movilidad y dosificación de una sustancia inyectada al árbol (Roach 1939). Meyer 1808, citado por Rumbold 1915, realizó experimentos de translocación de sustancias, al inyectar colorantes y seccionar el tronco en rodajas para estudiar su distribución dentro del árbol. Le siguió Shezyrez 1894, inyectando sulfato de hierro para tratar la clorosis foliar, y cianuro de potasio para control de insectos.

Durante la primera mitad del siglo XX, Rankin 1917, Rumbold 1920 y Roach 1939, describieron los primeros tratamientos utilizando productos sistémicos inyectables; con ello identificaron procedimientos para seleccionar un producto acorde al padecimiento, y describieron los patrones de movilidad dentro de la planta. En ese tiempo se describieron los primeros procedimientos de inyección con productos sistémicos, y definieron el producto a inyectar, la dosis a utilizar y la rapidez con la que se distribuyen los productos dentro del árbol.

Craighead y St. George 1938, inyectaron cloruro de zinc (ZnCl) para la conservación de madera y el combate de insectos barrenadores, documentando que el cianuro de potasio (KCN) controla insectos chupadores y barrenadores de la madera.

En la década de 1940, tras la propagación de la enfermedad del Olmo Holandés en los Estados Unidos, se dio un renovado interés por la técnica de inyección al tronco (May 1941, Perry *et al.* 1991).

En 1978 se realizó el simposio "Tratamientos con químicos sistémicos para el cuidado de árboles", en el cual se dieron a conocer tratamientos curativos y preventivos, dispositivos de inyección, equipos manuales combinando bolsas, mangueras y agujas, así como sistemas automatizados que incluían bombas generadoras de aire capaces de introducir formulaciones a presión. En el evento se dieron a conocer productos sistémicos: antibióticos, fungicidas, insecticidas, reguladores de crecimiento y nutricionales (Kielbaso *et al.* 1978).

La técnica de inyección experimentó un impulso en los 90's, tras la propagación de plagas invasoras en todo el mundo. Los ejemplos más notables fueron:

- En Canadá y E.U.A. el barrenador esmeralda del Fresno *Agrilus planipennis* Fairmaire, el escarabajo asiático de cuernos largos *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) y los descortezadores del olmo *Scolytus multistriatus* (Marsham) y *Scolytus schevyrewi* Semenov.
- En Asia y Europa el nematodo del marchitamiento del pino *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner y Buhner) (Aukema *et al.* 2010).
- En Medio Oriente, África y Europa el escarabajo rojo de la palma *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Gómez y Ferry 2002).

Fisiología del transporte de líquidos en los árboles

Anatómicamente los árboles están interconectados con células vivas (canales) del xilema y del floema, que son vías para el transporte de agua y compuestos orgánicos (Shigo 1986, 1989 y 1991). Son sistemas hidráulicos que se desarrollaron en el proceso evolutivo para transportar agua del suelo a las hojas y, las sustancias orgánicas elaboradas en ellas, hacia otras partes del árbol, incluyendo las raíces (Kozłowski 1976, Ksenzhek y Volkov 1998, Owens y Moore 2007). Estos sistemas tienen alta eficiencia en la conducción y resisten pérdida de agua, sequía y heladas (Tyree y Sperry 1989).

El movimiento hidráulico depende de la transpiración estomática, regulada por la pérdida de humedad de las hojas a la atmósfera (Aranda *et al.* 2012).

Xilema

El xilema, además de brindar soporte mecánico, es el principal responsable del movimiento del agua y solutos inorgánicos hacia arriba, mediante la fuerza generada por la evaporación en las hojas; aunque puede haber cambios en la velocidad de flujo debido a concentraciones iónicas de las soluciones (Pate *et al.* 1995). La conducción propia de cada árbol, modifica las propiedades químicas e hidráulicas, alterando las concentraciones de los iones en la savia del xilema (Baas *et al.* 2004), tales concentraciones están determinadas por la absorción de las raíces y el reciclamiento en el floema (Zwieniecki *et al.* 2001, Zwieniecki *et al.* 2004).

Tipos de xilema y conducción de insecticidas

En los árboles existen tres principales tipos de xilema: **no poroso** en las coníferas, formado por

traqueidas. **Difuso poroso** y con **anillos porosos** en las angiospermas.

La estructura anatómica de cada uno le confiere características distintas a la conducción de agua y solutos e influye en la técnica de inyección de insecticidas (Sachs *et al.* 1977) (figura 204).

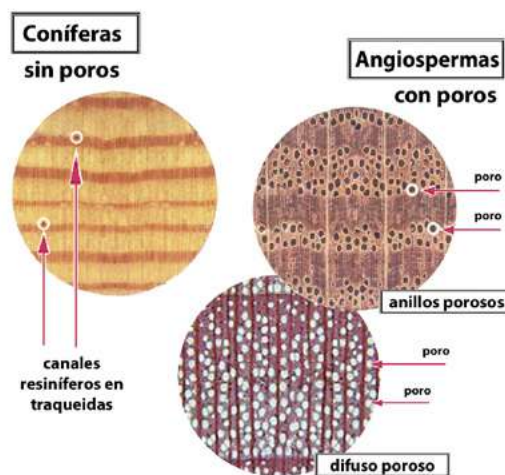


Figura 204. Tipos de xilema con relación a su porosidad. (Ilustración: L. Arango)

Xilema no poroso. Las gimnospermas (pinos, oyameles y piceas, entre otros) tienen xilema no poroso, formado por traqueidas, que son células en forma de huso, con paredes lignificadas y perforaciones que las conectan, acomodadas en hileras radiales o pilas longitudinales; solo en las primeras hay interconexión por orificios en las paredes laterales, lo que restringe el movimiento de agua a través de un anillo de crecimiento anual, pero facilita el movimiento tangencial alrededor del tallo (Aćimović *et al.* 2016). Las traqueidas miden 5 mm de longitud y 10 a 20 micras de ancho (Beck, 2010). En este tipo de

xilema el agua se conduce principalmente por la albura, en un gradiente que va de la periferia hacia los anillos más viejos. En las coníferas, por tener traqueidas de pequeños diámetros, se tiene mayor resistencia a la conducción de agua que la que ocurre en los otros dos tipos de xilema; por ejemplo, en los pinos existen canales de resinación en el xilema, que pueden taponar los sitios de inyección limitando la conducción, por lo que se sugiere inyectar soluciones más acuosas (Sánchez-Zamora y Fernández-Escobar 2000, 2004). En coníferas se identifican cinco patrones de ascenso: espiral a la derecha, espiral a la izquierda, entrelazado, sinuoso en sectores y recto en sectores (Rudinsky y Vité 1959).

Xilema difuso poroso. En cada anillo de crecimiento, los vasos están uniformemente dispersos entre las traqueidas y otros elementos de la madera, la conducción de agua ocurre en mayor proporción de la albura, incluyendo varios de los últimos crecimientos anuales de la madera. En este tipo de xilema, por tener poros más pequeños, el movimiento de agua es más lento que en el de xilema con anillos porosos. Los álamos, sauces, liquidámbar, ailes y algunas especies de fresnos tienen xilema difuso poroso, es necesaria una perforación de inyección profunda, por ejemplo 30 mm (Kuhns, 2011).

Xilema con anillos porosos. En cada anillo de crecimiento, los vasos de tamaño mayor se alinean en la madera temprana y los de menor tamaño, que son escasos, en la madera tardía; este tipo de xilema se presenta en castaño, nogal, encino, olmo y algunos fresnos, donde el movimiento de agua ocurre principalmente en el último anillo de crecimiento, ya que los vasos formados en años anteriores son bloqueados por tilosis, gomas o gases (Chaney 1986).

La translocación de agua es más rápida en este tipo de xilema, ascendiendo hasta la copa en

menor tiempo; puede ocurrir que un conducto vascular sea continuo de la raíz hasta la copa del mismo lado del árbol (Sachs *et al.* 1986). Por lo tanto, una perforación para inyectar en este tipo de xilema suele ser menos profunda que en los otros tipos. El patrón de ascenso del agua varía, desde espiral en encinos rojos, a lineal en encinos blancos (Doccola y Wild 2012).

Por todo lo anterior, la velocidad de absorción de una solución inyectada dependerá del grado de porosidad de la madera y es recomendable conocer el tipo de xilema que tiene cada especie de árbol a ser inyectado; hay una relación inversa entre la densidad de la madera y la tasa de aplicación de una inyección al tronco (Sinclair y Larsen 1981).

Floema

El floema transporta fotosintatos, de los sitios de síntesis en las hojas, a zonas de crecimiento activo o de almacenamiento en raíces (Zwieniecki *et al.* 2004). Tiene movimiento bidireccional de sustancias orgánicas a través de membranas de células vivas, que producen gradientes de presión del agua a lo largo del árbol para llevar a cabo la absorción (Chaney 1986). El floema obtiene agua del xilema, mientras que la concentración de ciertos iones en el xilema, en particular K^+ , es influenciada por la recirculación desde el floema (Jeschke y Pate 1991).

El floema en las gimnospermas tiene células cribosas que en su madurez son anucleadas y con áreas cribosas dispersas en la pared celular.

En las angiospermas existen tubos cribosos, además de que en sus extremos tienen grandes poros arreglados en placas cribosas; los tubos forman pilas verticales que son interrumpidas por las placas cribosas. La hipótesis de presión de Munch explica el flujo de líquidos en angiospermas (Munch 1930), según ella existe acumu-

lación de azúcares en las hojas; el agua que llega desde la raíz provoca turgencia y presión que mueve el agua azucarada en el floema, hasta llegar a los sumideros (raíces o frutos en desarrollo) en donde descarga los azúcares.

La diferencia de presión provoca el movimiento de agua; el agua se recicla en el xilema, generando un ciclo modificado por la absorción de agua y solutos en la raíz y la transpiración desde las hojas (Milburn 1979, Chaney 1986, Van Bel 1990).

Los insecticidas inyectados no entran fácilmente al floema por la presión positiva que rechaza el material (Ksenzhek y Volkov 1998).

Inyección al tronco

La inyección al tronco consiste en introducir en el xilema productos sistémicos solubles en agua, para que la savia ascendente los transporte.

Según el volumen inyectado, pueden ser: microinyecciones (bajos volúmenes de líquido en orificios menores a 4.9 mm de diámetro y profundidad máxima de 30 mm) o macroinyecciones (altos volúmenes en orificios de hasta 9 mm y profundidad máxima de 70 mm) (Wilson 1979, Costonis 1981, Kobza *et al.* 2011, Doccola y Wild 2012).

De la Parra y Calderón 1992, Navarro *et al.* 1992, Tattar *et al.* 1998, Sánchez-Zamora y Fernández-Escobar 2000, Takai *et al.* 2003 y Shang *et al.* 2014, concluyen que las inyecciones al tronco tienen características peculiares respecto a los métodos tradicionales:

- Uso eficiente de los productos químicos.
- Alternativa factible, cuando los métodos tradicionales de inyección al suelo y la aspersión foliar han sido ineficaces, o demasiado difíciles.
- Cada árbol puede recibir una dosis individual tan a menudo como sea necesario.
- Pueden ser útiles para un rápido combate.

- Son de bajo impacto ecológico, ya que los químicos no se dispersan en el aire ni se infiltran en la tierra o agua, reduciendo la contaminación ambiental.

- Los productos se distribuyen rápida y uniformemente a cada parte del árbol.

- Se aplica en árboles que crecen en lugares ambientalmente sensibles, por ejemplo, cercanos a cuerpos de agua y espacios con mucha afluencia de personas en áreas urbanas (jardines de casa, avenidas, parques).

- Se pueden tratar árboles de gran tamaño en cualquier condición meteorológica.

Uso de presión

La presión ideal que se utiliza al inyectar formulaciones debe proporcionar movimiento máximo de la solución dentro del árbol, sin dañarlo internamente. Las presiones variarán según la especie a tratar (Himelick 1972, Hock y Wilson 1972, Nyland y Moller 1973, Sachs *et al.* 1977).

Alta presión

Son inyecciones en las que el líquido inyectado tiene en un rango de fuerza superior a 50 PSI (libras por pulgada cuadrada). Reil y Beutel 1976, diseñaron una máquina de alta presión para inyectar formulaciones con un compresor de oxígeno o dióxido de carbono; pero la alta presión aumenta la posibilidad de causar daño en tejidos o ruptura de corteza (figura 205), formando burbujas que separan el cambium del floema o cortan la columna de líquido creando bloqueos (embolismo), además de que en el sitio de entrada se pueden presentar fugas al momento de inyectar o por las heridas penetrar hongos que causan pudriciones (Reil *et al.* 1978, Shigo 1986). Por lo que esta técnica se utiliza menos que la de baja presión (Kuhns 2011).



Figura 205. Rompimiento de corteza en el punto de inyección por el uso de equipo de alta presión.
(Fotografía: I. Aquino)

Baja presión

Esta técnica es la más utilizada; las soluciones se introducen a presión inferior a 40 PSI. Es útil en la mayoría de los casos para introducir formulaciones; reduce el tiempo de tratamiento acelerando la absorción y translocación del producto (Fuchs 1988, Kuhns 2011). Se utiliza baja presión en especies que naturalmente tienen absorción lenta o en los días nublados porque la transpiración disminuye sustancialmente (Kramer y Kozlowski 1979, Whiley *et al.* 1991, Navarro *et al.* 1992). La baja presión aumenta la uniformidad en la distribución temporal y espacial del compuesto inyectado (Düker *et al.* 2006, Doccola *et al.* 2007). Por lo tanto, los sistemas de baja presión controlan mejor la solución aplicada en cada punto (Navarro *et al.* 1992).

Infusión

May 1941 describió por primera vez la denominada “técnica de infusión”, en la que el árbol absorbe la sustancia introducida, utilizando su potencial de translocación (Montecchio

2013). Esta técnica a menudo se ha denominado “método de flujo por gravedad o inyección pasiva” y no utiliza presión externa, ya que, el ascenso de la solución inyectada depende de la pérdida de agua por transpiración de las hojas (Stipes, 1988). El movimiento de los productos químicos hacia la raíz depende del re-transporte de las hojas a través del floema (Sachs *et al.*, 1978). Los dispositivos que se utilizan se basan en la captación de la presión negativa generada por la velocidad ascendente del flujo de savia en el xilema (Montecchio 2013).

Implantes

Otra opción sugerida por Guillot y Bory 1997, para introducir químicos al tronco sin utilizar presión, es insertar implantes con ingredientes activos que están dentro de una cápsula de agar, el implante es insertado en un agujero perforado en el xilema adyacente al cambium; el agua de la corriente de transpiración disuelve la membrana de agar, liberando el producto para ser translocado hacia la parte afectada del árbol. Con esta técnica se debe tener precaución con algunos productos que no puedan diluirse (Kuhns 2011).

Metodología de inyección

Para inyectar árboles se requiere conocimiento básico de translocación de agua en la especie a tratar, del estado de salud de ésta, de la biología y disposición de los insectos fitófagos en el árbol, y de la residualidad y traslocación del producto a emplearse. Las personas responsables deben tener experiencia con la técnica de inyección. Se enlista el procedimiento para realizar inyecciones al tronco:

- Diagnóstico fitosanitario para identificar el agente causal.

- Valorización de la salud del árbol (que no presente daños severos en corteza).
- Selección del producto a emplear.
- Preparación de la solución a inyectar.
- Preparación de solución desinfectante.
- Medición del “diámetro normal” a la altura del pecho (DAP).
- Cálculo de la dosis según el diámetro normal.
- Medidas de seguridad del aplicador (traje desechable, botas, mascarilla, lentes de acrílico y guantes).
- Calibración del equipo.
- Desinfección de herramientas (brocas, puntas y válvulas de inyección).
- Desinfección de puntos de inyección.
- Barrenaciones.
- Colocación de válvulas inyectoras.
- Conexión del sistema.
- Inyección.
- Desconexión del sistema.
- Limpieza y almacenaje del sistema de inyección.

Puntos de inyección

El número de puntos de inyección dependerá del diámetro del árbol y entre ellos deberá dejarse una separación de 20 a 25cm. Dependiendo del sistema de traslocación del árbol, la profundidad deberá estar entre 30 y 50 mm (Kondo 1979). Durante el proceso de inyección se deberán desinfectar los sitios donde se va a barrenar así como los materiales a utilizar, que estarán en contacto con la corteza (Perry *et al.* 1991; Byrne *et al.* 2014).

Válvulas de inyección

Las válvulas tienen un papel fundamental al realizar inyecciones, por que protegen al aplicador y al árbol, durante y después del proceso. Las válvulas o Arborplug® de la compañía Arborjet® (figura 206), tienen un polímero autosellante que,

al momento de retirar la punta inyectora, evita el escape de la presión y del producto, al restringir cualquier tipo de escorrentía externa y proteger al árbol de infecciones secundarias (Burkhard *et al.* 2015).



Figura 206. Válvulas de inyección Arborplug®.

Modelos y marcas de sistemas de inyección

Tanto las técnicas como los equipos de inyección se han modificado a través del tiempo, sobre todo en los últimos cincuenta años, con el fin de no dañar a las especies arbóreas, facilitar el proceso y precisar la dosificación que se introducirá al sistema vascular del árbol; todos los dispositivos deben estar provistos con puntas y agujas inyectoras que liberen gradualmente los productos cuando se inserten al tronco.

Gran parte de los sistemas disponibles pueden operarse manual e individualmente, regulando la presión y dosificación, particular a cada uno. También, se han desarrollado sistemas con multi-conectores, autómatas y tecnología digital.

La mayoría de los dispositivos de inyección son de baja presión o de infusión; ambas técnicas aceleran gradualmente el tiempo de absorción y traslocación de los productos usando la transpiración natural del árbol (Montecchio 2013).

En Estados Unidos existe la principal empresa mundial de inyección, Arborjet®, que desarrolla sistemas que pueden ser manuales, hidráulicos ó automáticos, además, genera formulaciones específicas para diferentes plagas y enfermedades, e imprime un gran número de publicaciones científicas. Otras empresas estadounidenses líderes en el sector son; Mauget®, especializada en moléculas fúngicas, de fertilizantes y sistemas de infusión, principalmente cápsulas. Otra más, Treecare-Science® se caracteriza por tener los sistemas de inyección más sofisticados. Sus equipos son autómatas, programan dosificación y presión vía digital con alta precisión.

En México, la empresa Biotecnoforestal® de reciente aparición, está especializada en el desarrollo de técnicas y sistemas de inyección de baja presión e infusión, así como en sistemas de microinyección para árboles pequeños. Para palmeras tiene dos diferentes sistemas de endoterapia: el primero aplica tratamientos con baja presión o infusión; el segundo administra altos volúmenes de agroquímicos.

España es el líder en endoterapia; desarrolla sistemas y técnicas en palmeras para controlar

ataques de picudos y marchitez vascular; además, han publicado artículos científicos de inyección en árboles y palmeras desde hace treinta años.

La empresa suiza Syngenta elabora moléculas agroquímicas, pero también han incursionado en el desarrollo de dos sistemas de inyección; uno para árboles en 2014 y otro para palmeras en 2017.

Chem-Jet®, de origen australiano, se caracteriza por la comercialización de jeringas inyectoras; actualmente son las más reconocidas y utilizadas para contrarrestar problemas de hongos en raíces de aguacatero.

Montecchio 2013, en la Universidad de Padua Italia, creó el sistema de infusión BITE®, que no realiza perforaciones al tronco, funciona con navajas lenticulares que separan la corteza e introduce el insecticida. Este dispositivo fue ganador como mejor invento en el cuidado de la salud de árboles en 2018, otorgado en Inglaterra por la asociación internacional Sorbus®.

En el cuadro 34 se enlistan los países y las empresas de mayor preponderancia en cuanto a desarrollos de sistemas de inyección en árboles y palmeras.

Cuadro 34. Sistemas de inyección de mayor de relevancia en el mundo.

No.	SISTEMA	CLASIFICACIÓN	EMPRESA	PAÍS DE ORIGEN
1	TREE I.V Microinfusion tree®	MII/INF	Arborjet®	Estados Unidos
2	F-Series®	MAI/AP	Arborjet®	Estados Unidos
3	Quick-Jet Air®	MAI/AP	Arborjet®	Estados Unidos
4	Quick-Jet®	MII/BP	Arborjet®	Estados Unidos
5	VIPER®	MAI/AP	Arborjet®	Estados Unidos
6	Smart Shot®	MII/INF	Mauget®	Estados Unidos
7	Dinocide Mauget®	MII/INF	Mauget®	Estados Unidos
8	IQ Tree Infuser®	MAI/BP/AP	Treecare-Science®	Estados Unidos
9	Q GUN®	MAI/BP/AP	Treecare-Science®	Estados Unidos
10	Bioinjec-Tree®	MII/INF/ BP/ AP	Biotecnoforestal®	México
11	Novainject-Palm®	MAI/INF/BP/AP	Biotecnoforestal®	México

12	Infuser-PalmS®	MAI/INF	Biotecnoforestal®	México
13	Vacuna-Tree®	MII/INF	Biotecnoforestal®	México
14	Ynject®	MII/INF	Bayer®/Ynject®	España
15	Endoplant®	MII/BP	Endoveg®	España
16	Injection Capsule®	MAI/BP	S/E	España
17	Revive®	MII/BP	Syngenta®	Suiza
18	Revive II®	MAI/AP	Syngenta®	Suiza
19	Chem Jet®	MII/INF	Chem-Jet®	Australia
20	BITE®	MII/INF	Sourbus®	Italia

* MII: Microinyección, MAI: Macroinyección, INF: Infusión, BP: Baja presión, AP: Alta presión, S/E sin empresa.

Insecticidas para inyectar árboles

En el cuadro 35 se presenta un resumen de nombres técnicos de insecticidas utilizados en sistemas de inyección. Los mostrados en el cuadro

tienen formulaciones específicas; se sugiere al lector hacer una revisión cuidadosa para seleccionar los productos más adecuados para su aplicación; es posible que existan nuevos productos.

Cuadro 35. Insecticidas utilizados en sistemas de inyección.

Nombre técnico	Grupo toxicológico de acuerdo a IRAC	Subgrupo de IRAC	Referencias
Dicrotofós	1. Inhibidores de la acetilcolinesterasa	1B Organofosforado	IRAC 2109 Gentry <i>et al.</i> 1982
Acefato	1. Inhibidores de la acetilcolinesterasa	1B Organofosforado	IRAC 2109 Doccoła y Wild 2012
Imidacloprid	4. Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina	4A Neonicotinoide	IRAC 2109 Doccoła y Wild 2012
Dinotefuran	4. Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina	4A Neonicotinoide	IRAC 2109 Parker 2014
Tiametoxam	4. Moduladores competitivos del receptor nicotínico de la acetilcolina	4A Neonicotinoide	IRAC 2109 Parker 2014
Abamectina B	6. Moduladores alostéricos del canal de cloro dependiente de glutamato	Avermectinas	IRAC 2109 Kobza <i>et al.</i> 2011
Benzoato de emamectina	6. Moduladores alostéricos del canal de cloro dependiente de glutamato	Avermectinas	IRAC 2109 Doccoła y Wild 2012
Clorantraniliprol	28 Moduladores del receptor de la rianodina	Diamidas	IRAC 2109 Parker 2014
Azadiractina	Compuestos de modo de acción desconocido o incierto	Azadiractina	IRAC 2109 Helson <i>et al.</i> 2001

Factores que intervienen durante el proceso de inyección

Shezyrez 1894, inyectó sustancias en de árboles vivos y determinó que la mejor época es desde comienzos de primavera hasta finales de otoño; también supuso que la sustancia que entra directamente en la corriente, se traslada de forma ascendente y eventual o parcialmente desciende como se muestra la figura 207; además, la sustancia inyectada se distribuye en todo el árbol excepto las partes muertas. Dicha acción disminuye gradualmente y puede cesar por completo en un periodo de tres a cinco días; así mismo mencionó que la absorción es más intensa al inicio de la aplicación y que la asimilación aumentará durante el día.

Los principales factores que intervienen durante el proceso de inyección son: transpiración, movimiento del agua, humedad del suelo, temperatura del aire y humedad relativa; estos factores afectan la absorción y velocidad de movimien-



Figura 207. Esquema de movimiento ascendente y descendente del producto inyectado. (Imagen: arborjet.com)

to de una sustancia dentro del árbol (Ellmore y Ewers 1986). En los días calurosos con baja humedad relativa, la velocidad de absorción de la sustancia inyectada debe ser más rápida debido a que la transpiración es alta; cuando la temperatura es baja o la humedad aumenta, la velocidad de absorción es lenta (Zimmermann y Brown 1971).

Distribución y residualidad

La mayoría de las especies tienen diferente fisiología y niveles de absorción, por lo cual las inyecciones al tronco varían según el tipo de ingrediente activo (i.a) del compuesto y la forma en que se asimila, haciendo que la dosis por inyección sea específica para cada especie (Perry *et al.* 1991).

La distribución uniforme de un insecticida inyectado asegura la máxima protección que un producto puede ofrecer. En algunos casos una aplicación por temporada es suficiente y en otros se puede proteger por más tiempo (Aćimović *et al.* 2014); un ejemplo, es inyectar insecticidas sistémicos con altos coeficientes de adsorción (> 5000), como benzoato de emamectina en otoño, cuando existe senescencia foliar. En este caso se tendrá protección por una o dos temporadas (Smitley *et al.* 2010). En cambio, cuando se inyectan insecticidas con actividad residual corta, por ejemplo, acefato, la inyección se tendrá que hacer cuando la plaga está activa (Doccola y Wild 2012).

Hay ocasiones en que la distribución del producto inyectado se acumula en una parte, lo que dependerá, en gran medida, de la salud del árbol, que influye directamente en la absorción y distribución de las soluciones inyectadas (Sachs *et al.* 1977, Sánchez-Zamora y Fernández-Escobar 2004). Sin embargo, en algunas especies cuando existe una mayor concentración de una formula-

ción, la distribución es más lenta y no homogénea, lo cual ocasiona problemas de fitotoxicidad (Reil *et al.* 1979).

Selección de producto

La molécula que va a ser inyectada deberá ser sistémica para asegurar movilidad en el sistema vascular (Ajajoud *et al.* 2006). La alta solubilidad de una molécula es crucial para la captación, asimilación y translocación eficiente dentro del árbol, lo que permite mayor acumulación del producto y asegura alta eficacia en el control de plagas (Pinkas *et al.* 1973, Nair 1981, Tattar *et al.* 1998). Otro factor es el ingrediente activo, que debe tener una base activa de aceite o agua para que pueda ser diluido, al igual que los ingredientes inertes que ayudarán a la estabilidad para una correcta inyección (VanWoerkom *et al.* 2014). Entre los principales factores químicos asociados al compuesto inyectado se incluyen: grado de solubilidad en agua u otro disolvente, coeficiente de adsorción de carbono (Koc), dosis por concentración, peso molecular, composición, pH del producto, residualidad y tiempo de degradación (Norris 1967, Kondo 1978, Campana *et al.* 1979, Doccola *et al.* 2003, Doccola *et al.* 2007, Byrne *et al.* 2014, Doccola y Wild 2012, Montecchio 2013).

Dosis

La dosificación, en la mayoría de los casos, debe calcularse en gramos o mililitros por centímetro de diámetro normal, el cual se mide a 1.30 m de altura desde el suelo; la dosis es única para cada especie, y conforme aumenta el tamaño del árbol, se incrementa el volumen de la solución.

Una formulación debe balancear la concentración del ingrediente activo y tener una consistencia líquida para que pueda distribuirse sin problema. En los árboles de mayor altura se tienen más puntos de resistencia al flujo de savia,

y cuando se inyecta un compuesto viscoso, es posible que tope con ellos (Aćimović *et al.* 2014).

Daños ocasionados por inyección

Cada vez que se inyecta un árbol se generan eventos negativos, y dependerá del vigor del árbol para que ocurra una cicatrización exitosa; es obvio que con cada herida del taladro se abre la puerta a microorganismos, algunos de los cuales, pueden causar pudriciones de madera (Perry *et al.* 1991); esta es la principal desventaja de inyección al tronco. Otra desventaja son los escurrimientos de savia asociada con infecciones bacterianas (Beiler 1991) (figura 208).

Cuando se inyectan sustancias ácidas pueden presentarse decoloraciones oscuras en la madera. Para comprender el proceso de cierre de heridas es necesario entender la compartimentación propuesta por Shigo 1970. El autor menciona que los árboles no reemplazan los tejidos dañados, solamente los encierran entre “paredes” y después de la lesión los taponan con resinas o gomas que, entre más rápido se formen, se tiene menor longitud de daño (figura 209).



Figura 208. Esgurrimiento de flujo bacteriano en punto de inyección en *Populus deltoides*. (Fotografía: I. Aquino)



Figura 209. Izquierda. Barrenación en corteza para aplicar una inyección, mayo 2018. Derecha compartimentación de la herida realizada, mayo 2019. (Fotografías: I. Aquino)

Adicionalmente a la defensa estructural existe una defensa química que mata organismos que colonizan el tejido expuesto (Shigo 1977).

Aspersión vs inyección

La vida media, estabilidad y residualidad química de la mayoría de las formulaciones asperjadas, transcurre bajo procesos de degradación natural (biodegradación, fotodegradación, hidrólisis química, reacciones de oxidación y reducción, ruptura y reorganización de enlaces moleculares relacionados con la concentración de oxígeno en el sistema) (Lin *et al.* 2008). Por lo tanto, la degradación produce gran número de estructuras químicas con propiedades fisicoquímicas que actúan en simultáneo sobre los compuestos parentales (Valderrama *et al.* 2012).

Cuando las moléculas son inyectadas muestran diferentes características, (mayor actividad residual) que cuando son asperjadas o en riego (Doccola y Wild 2012). Al inyectar el compuesto en el árbol, se minimiza el impacto de las condiciones meteorológicas, como desecación, escorrentía o lavado. El árbol se considera un sistema cerrado que recircula el producto en sus tejidos

(Tattar 1999, Tattar *et al.* 2012, Burkhard *et al.* 2015). La inyección al tronco tiene alta efectividad de penetración y translocación, lo que permite alcanzar el área vital de barrenadores de la madera y de insectos que viven en la parte alta de los árboles.

A continuación ejemplos comparativos de ambos métodos: aspersión vs inyección, utilizando benzoato de emamectina.

Cuando fue aplicado convencionalmente por riego o aspersión foliar contra defoliadores, la molécula se degradó rápidamente en las superficies de las hojas y en suelo, por la radiación ultravioleta, ya que el ingrediente activo es fotodegradable (Roberts y Hutson 1999); en cambio, cuando el benzoato fué inyectado al tronco, quedó protegido de la luz solar, por lo que sus propiedades fisicoquímicas y la translocación por xilema, protegieron a los árboles durante uno año contra barrenadores de la madera (Grosman *et al.* 2009, Sousa *et al.* 2013).

Otro ejemplo relevante es el que realizaron Burkhard *et al.* 2015; aplicaron benzoato de emamectina por microinyección en castaños de la India, y encontraron que el insecticida no estuvo disponible para los organismos no objetivo, ni en suelo ni en cuerpos de agua; para demostrar lo anterior hicieron pilas de composta y descubrieron que las lombrices de tierra que ingieren hojas, absorbieron trazas de benzoato de emamectina y las excretaron en las heces.

En otro experimento colocaron hojas de los árboles inyectados en baldes de agua; al analizar el agua y las hojas en diferentes lapsos de tiempo, no encontraron residuos, concluyendo que la degradación del insecticida ocurrió con la descomposición de las macromoléculas de la hoja y se degradó con ellas al entrar en contacto con el agua.

USO DE SEMIOQUÍMICOS COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE INSECTOS FORESTALES

Jorge Enrique Macías Sámano

La información mundial es basta en temas de ecología química de descortezadores y defoliadores de coníferas, así como en las aplicaciones de esta disciplina en el control y manejo de estos insectos. En México el desarrollo científico para la utilización de semioquímicos es incipiente, aunque se han utilizado desde 1980. Desde ese entonces, las actividades básicas y aplicadas de ecología química de descortezadores, no han estado conectadas y se ha perdido el beneficio de su interacción e integración; hecho que se agrava por falta de una industria nacional de semioquímicos, que obliga su importación bajo mecanismos lentos y retraso de las Secretarías de Agricultura y de Salud, debido a que estos compuestos feromonales tienen que ser registrados para su uso en el país como plaguicidas bioquímicos (Secretaría de Salud 2014). Además, la información generada en el país para el uso de formulaciones comerciales es limitada, pues se usan atrayentes genéricos que únicamente indican la presencia de tal o cual especie, no permitiendo conclusiones biológicas o ecológicas fundamentadas (Macías y Zúñiga 2016).

A pesar de lo anterior hay investigación nacional publicada que ha fundamentado el uso de semioquímicos con fines de monitoreo; de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Domínguez Sánchez *et al.* 2008, Moreno *et al.* 2008, Macías *et al.* 2014, Sullivan *et al.* 2012), *D. rhizophagus* Thomas & Bright (Cano-Ramírez *et al.* 2012, 2013) y *D. mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan (Niño Domínguez *et al.* 2015, 2016, 2018). En esta área científica, debe haber interacción constante y programada entre ciencia básica y aplicada, lo cual permitirá un mejor conocimiento de la ecología química de descortezadores, sobre todo de las que son plagas potenciales (Macías y Zúñiga 2016).

El uso más importante de los semioquímicos en el manejo de plagas forestales, es el monito-

reo de poblaciones de insectos nativos y exóticos (ver en esta obra el capítulo “Técnicas de monitoreo: muestreo, tipos de dispositivos, análisis y registro de datos”. Sin embargo, dado su poder de modificar el comportamiento de los insectos, estos compuestos son utilizados para conducir parte de sus poblaciones a sitios donde sean controlados de manera más fácil, o bien que su impacto se diluya al desorientarlos en la búsqueda de hospederos adecuados, y al disminuir su capacidad de reproducción mediante la desorientación en la búsqueda de pareja.

El éxito de utilizar semioquímicos en el manejo de insectos forestales, depende del conocimiento que se tenga de la biología y ecología de las especies objetivo y de sus hospederos. Además, el uso de semioquímicos es totalmente amigable con el ambiente, pues son compuestos naturales,

que se aplican en microgramos y mediante dispositivos de liberación, que la mayoría de las veces, son fáciles de recobrar

En Canadá la PMRA, “Pest Management Registration Agency” y en Estados Unidos la EPA, “Environmental Protection Agency”, no exigen registro como agentes de control y monitoreo (com. personal, Dave Wakarchuk, Synergy Semiochemicals Inc., Canadá). A continuación, se describen cinco tácticas semioquímicas para el manejo de descortezadores y defoliadores.

Alejar o repeler poblaciones de insectos de las áreas a proteger

Feromonas de antiagregación o repulsión de descortezadores

Existen compuestos conductuales que tienen la función de repeler machos conoespecíficos e indicar que las hembras en la proximidad ya están apareadas, evitando con ello la competición por pareja reproductoras.

La verbenona, es un semioquímico producido por varios descortezadores del género *Dendroctonus*, incluidos *D. adjunctus* Blandford, *D. brevicomis* LeConte, *D. frontalis*, *D. jeffreyi* Hopkins y *D. pseudotsugae* Hopkins (Mayer y McLaughlin 1991); es considerada como un compuesto que puede disminuir la velocidad de avance de un brote e incluso detenerlo (Strom y Clark 2011); sin embargo, no siempre resulta así (Fettig *et al.* 2012) y es que también es liberada por microorganismos durante procesos asociados con el deterioro de un árbol muerto o moribundo (Leufvén *et al.* 1984, Hunt *et al.* 1989).

Otra molécula, la MCH es una feromona de antiagregación producida por machos y hembras de *D. pseudotsugae* (Mayer y McLaughlin 1991). Con ella se ha logrado una protección moderada de rodales (Ross *et al.* 2004). Sin ex-

cepción, el uso de repelentes o antiagregantes, siempre implica que los organismos repelidos van hacia otras partes y en el mejor de los casos mueren de cansancio antes de colonizar otros sitios o logren aparearse.

Una primera aproximación para evaluar estos compuestos ha sido comprobar su efecto repelente, cuando disminuye la atracción de insectos a trampas cebadas con sus feromonas, a las que se les adicionó el repelente (Sánchez-Martínez *et al.* 2012). Para un uso operativo de MCH, es indispensable que en el rodal se distribuyan los dispositivos de liberación y se mida el número de árboles protegidos, o el número de ataques en los árboles tratados, y se comparen con los no tratados (Strom *et al.* 2004, Ross *et al.* 2004).

Existen varias experiencias no publicadas en Canadá (com. personal, D. Wakarchuk y Jorge Macías, Synergy Semiochemicals Corp.) y Estados Unidos (com. personal, S. Kegley y Ken Gibson, USFS Idaho.) donde el uso de verbenona, en bolsas, o junto con volátiles de hojas verdes (Green Leaf Volatiles, GLVs por sus siglas en inglés) han funcionado bastante bien para proteger pinos de *D. ponderosae* Hopkins durante ataques epidémicos. Estos compuestos son de importación y no están registrados en México; pero dado su bajo costo, se recomienda investigar su efecto en *Dendroctonus* en México.

Volátiles de las hojas verdes

Los GLVs pueden ser alcoholes, aldehídos y ésteres comunes como olores de plantas verdes, especialmente abundantes en arbustos y árboles deciduos (Visser *et al.* 1979).

Estos compuestos, junto con algunos monoterpenos, sesquiterpenos, jasmonato de metilo y salicilato de etilo, son emitidos por plantas bajo estrés (Dicke and Baldwin 2010, Copolovici *et al.* 2011); por ello son importantes para detectar

hospederos susceptibles a ser colonizados o de los cuales los insectos puedan alimentarse. Los GLVs actúan para disminuir la atracción a trampas cebadas con feromonas de agregación de *D. frontalis* y *D. ponderosae* y algunas de *Ips* spp. (Dickens *et al.* 1992, Borden *et al.* 1998, Huber y Borden 2003).

De manera interesante, pero opuesta, los GLVs aumentan la atracción de las feromonas de agregación de los descortezadores y barrenadores que colonizan latifoliadas: *Scolytus multistriatus* (Marshall) y *Agrilus planipennis* Fairmaire (Dickens *et al.* 1990, Jackson *et al.* 2011, Ryall *et al.* 2015), quienes viven en olmos y fresnos respectivamente. Como ya se explicó, existen experiencias exitosas de protección de pino contra descortezadores, donde a los individuos se les colocaron dos cebos que liberan GLVs durante el ataque de altas poblaciones. Los GLVs están siendo considerados herramienta importante contra herbívoros y patógenos (Scala *et al.* 2013).

Confusión sexual y disminución del apareamiento en defoliadores

Esta táctica tiene como objetivo saturar el ambiente con una feromona sexual (generalmente femenina) para que el macho, al seguir muchos puntos artificiales de emisión de feromona cuyo origen no es una hembra, tenderá a seguir estos rastros inútiles, gastará sus energías y eventualmente morirá sin haberse apareado.

Esta táctica es más efectiva cuando los bosques son homogéneos (coníferas) y cuando los insectos objetivo son univoltinos, presentan baja densidad poblacional, tienen hospederos restringidos y sus hembras tienen poca capacidad de dispersión (Gut *et al.* 2004, Evenden y Silk 2015). Ejemplos exitosos de confusión sexual son los defoliadores *Choristoneura* spp. (Lepidoptera:

Tortricidae) y *Orgyia pseudotsugata* (McDunnough) (Lepidoptera: Erebidae) (Hulme y Gray 1994, Gut *et al.* 2004).

Concentración de insectos descortezadores, barrenadores y defoliadores

Concentración y contención

Esta es una de las tácticas combinadas más exitosas contra descortezadores, pues permite concentrar y contener el avance de focos de infestación, seguido de la remoción del arbolado o muerte de los insectos sea con insecticidas o con algún tratamiento mecánico.

El principio es sencillo. En áreas donde se hace manejo y extracción de madera, los árboles pre-seleccionados, son cebados con feromonas de agregación y después que son atacados por los insectos, se derriban, se seccionan en trozas y se descortezan para eliminar los insectos (Borden 1993). En Canadá cuatro de las principales especies de descortezadores son manejadas de esta manera (Borden 1992, 1993).

Atracción-aniquilación

Esta táctica utiliza trampas cebadas con feromonas y/o atrayentes. En dispositivos colectores de insectos se añade un insecticida. La táctica se usa contra barrenadores de palmas como *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) y *Oryctes rhinoceros* (Linneus) (Coleoptera: Scarabaeidae) (Hallet *et al.* 1999, Faleiro *et al.* 2016). Algo similar se ha empleado para *D. ponderosae* en lugares remotos (Borden 1990 y 1994).

Otra táctica consiste en combinar la interrupción del apareamiento y posterior aniquilación de los insectos. Se usa con defoliadores de coníferas: *Choristoneura* spp. y *Orgyia pseudotsugata*. Después de la aplicación de feromonas, las po-

blaciones remanentes son tratadas con una cepa específica de Bt en el caso de la primera especie (Bauce *et al.* 2004), o con un virus en el caso de la segunda (Hulme y Gray 1997).

Un área que se ha beneficiado del uso de feromonas, para optimizar la aplicación de insecticidas, es el manejo de árboles en huertos semilleros. De manera rutinaria, varias especies de *Dioryctria* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) que afectan la producción de conos y semillas, son monitoreadas con feromonas y, de rebasar los umbrales preestablecidos, se aplican plaguicidas químicos.

De forma experimental, se han usado feromonas para interrumpir el apareamiento de estos insectos (Whitehouse *et al.* 2010). Lo mismo ocurre con el monitoreo de *Contarinia oregonensis* Foote (Diptera: Cecidomyiidae) (Willhite *et al.* 2004) y el complejo de especies de *Cydia* spp. (Lepidoptera: Tortricidae) (Kegley y Sturdevant 2018), que optimiza el tiempo de asperjado de insecticidas como el esfenvalerato. En el caso de *C. oregonensis*, se usan feromonas después de aplicar insecticidas sistémicos para “atraer y matar” la población remanente (Willhite *et al.* 2004).

Si bien se conocen feromonas de especies de *Conophthorus* spp. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y tienen uso potencial en el monitoreo de poblaciones que afectan la producción de huertos semilleros, todavía no existen ejemplos formales de ello; incluso, últimamente, se proyecta su uso potencial como repelentes, pero falta información para hacer uso operativo de ellos (Rappaport *et al.* 2000).

Ha habido avances considerables en el uso de semioquímicos para el manejo de barrenadores de brotes y yemas. Los apareamientos de insectos como *Rhyacionia zozana* (Kearfott) y *Eucopeia sonomana* (Kearfott) (= *Eucosma sonomana*) (Lepidoptera: Tortricidae) han sido interrumpidos

con éxito en campo con aplicaciones aéreas de feromonas sexuales microencapsuladas (Gillette *et al.* 2006).

El lepidóptero barrenador de brotes de Meliaceas, *Hypsipyla grandella* Zeller, libera una feromona sexual ya caracterizada, pero al ser probados sus componentes en campo, el número de machos atrapados por las mezclas fueron bajos, y sin ser comparados con un testigo (Macías 2004, Bassioli-Moraes *et al.* 2017).

La falta de atracción en campo usando los compuestos identificados en la glándula sexual de las hembras, ha hecho pensar que hace falta un estímulo más para lograr la atracción de machos, y este pudiera ser el sonido del batir de alas de las hembras, que realizan cuando están liberando la feromona (com. personal J. Macías y M. Hart, Simon Fraser University, Canadá).

Algo similar se ha hecho con dos insectos exóticos, *Tetropium fuscum* (Fabricius) (Coleoptera: Cerambycidae) y *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), cuyos individuos son atraídos a trampas con cepas locales de *Beauveria* spp. (Lyon *et al.* 2012, Sweeney *et al.* 2013).

La trampa está hecha de manera que solo se infecten con esporas del hongo y salgan a volar de nuevo, pretendiendo extender la infección a sus parejas o que se disemine en sus substratos acostumbrados.

Atracción y repulsión de descortezadores

Esta táctica explota el comportamiento de agregación y antiagregación para el manejo de poblaciones de *D. ponderosae*, por lo que se le ha denominado “atraer y repeler” (“push and pull” en inglés).

Utilizando la feromona de agregación, se induce la población al ataque de árboles cebados con

estos compuestos. Por el contrario, los árboles que se desea proteger se ceban con el antiagregante verbenona.

Desafortunadamente, esta táctica no funciona siempre y es necesario hacer ajustes de densidades del cebado, además de ser crítica la remoción de cualquier árbol infestado. Los siguientes parámetros guía se han establecido para la aplicación de esta táctica:

- La densidad del pinar debe de ser mayor a 400 individuos por hectárea.
- Que la media diamétrica del DAP debe ser menor o igual a 25 cm.
- El ataque al rodal debe ser menor o igual a 15 % (Borden *et al.* 2006).

Manipulación de las fuentes naturales de semioquímicos para terminar un foco de infestación

Esta táctica fue desarrollada por el Servicio Forestal de Texas (Billings *et al.* 1996) para controlar brotes activos de *D. frontalis* en el sur de Estados Unidos. El método fue introducido en 1982 a Honduras y otros países de la región por Ronald Billings (Servicio Forestal de Texas) y Vicente Espino (Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal) (Billings *et al.* 1990 y 1996, Billings y Espino 2005). Hasta la fecha es el más efectivo contra el descortezador en Centroamérica (Billings *et al.* 1996, Billings y Espino 2005, Macías Sámano *et al.* 2016). Implica manipular empíricamente las feromonas de agregación y antiagregación de *D. frontalis* e *Ips* spp. en distintos tiempos durante el desarrollo de la táctica. Si bien no se ha probado en otras asociaciones de descortezadores, funciona para las de *D. frontalis*, por el número de generaciones que llega a tener anualmente (hasta 12).

Las poblaciones de esta especie pueden colapsar mediante la manipulación del rodal, hacien-

do un derribo selectivo y secuencial del arbolado con características definidas. La táctica se ha denominado “cortar y dejar” o “derribo y abandono”; manipula las fuentes de insectos, las de su alimento (pinos) y los semioquímicos que son liberados, de forma natural, en un brote de árboles atacados por los descortezadores y sus organismos asociados (Macías Sámano *et al.* 2016).

Una vez que la hembra de *D. frontalis* ha encontrado un hospedero adecuado, comienza a liberar feromonas de agregación, principalmente frontalina. Este compuesto, en combinación con los olores del pino, atrae un macho (son monógamos). Al mismo tiempo, atraen otros machos y hembras de la vecindad (de ahí el nombre de feromona de agregación).

Al arribar los machos, liberan feromonas, entre ellas la endo-brevicomina, que aumenta la agregación. Si atraen suficientes insectos, las defensas del árbol son abatidas, el árbol es colonizado y el insecto se reproduce exitosamente.

Otro compuesto, liberado esencialmente por los machos, es la verbenona, que en altas concentraciones inhibe la invasión al árbol, forzando a los insectos a cambiar su rumbo y orientándolos hacia pinos adyacentes no colonizados (Sullivan 2016). Este antiagregante producido por los descortezadores regula la densidad de ataques en un solo árbol y previene la competencia de los estados larvales bajo la corteza.

Al irse deteriorando el floema de los árboles atacados aumentan los niveles de verbenona en la vecindad y se inicia el arribo de descortezadores competidores del género *Ips*, quienes liberan sus propias feromonas de agregación. A partir de este momento ya no llegarán más *D. frontalis*. Así, dentro de un foco de infestación existen árboles atrayentes o repelentes para las poblaciones de *D. frontalis* e *Ips* spp., y son estas especies

y su semioquímicos los que hay que manipular adecuadamente. (Macías Sámano *et al.* 2016).

Para mayor detalle en cuanto a las bases ecológicas y los procesos operativos de este método de control de *D. frontalis* se recomienda consultar Macías Sámano *et al.* 2016. Aquí se da un resumen de los procesos que ocurren usando esta táctica de manejo:

Se inicia derribando los individuos que están en proceso de colonización por *D. frontalis*. Con esto se logran dos aspectos importantes:

- La población de huevos y larvas en desarrollo bajo la corteza del árbol derribado, sufre alta mortalidad, pues son poco tolerantes a las nuevas condiciones físicas en la corteza.
- La parte pegada al piso, desarrolla alta humedad, mientras que la expuesta al sol recibe alta insolación; condiciones muy diferentes a cuando el árbol estaba de pie (figura 210).

En un árbol caído se acelera la sucesión de insectos asociados (competidores, depredadores y parasitoides) ya que, en general, se agotó el vigor que quedaba en el árbol, y llegan más descortezadores secundarios (especialmente *Ips*)

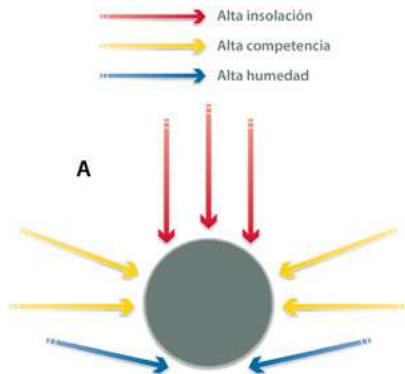


Figura 210. Corte transversal de un árbol tirado, en el que las flechas muestran los efectos ambientales (insolación, competencia y humedad) que concurren sobre el mismo y que afectan el desarrollo de individuos de *D. frontalis*.
(Esquema: L. Arango)

(figuras 211a, b y c), emitiendo sus fuentes de comunicación química, estableciendo sus propias poblaciones y con ello se inicia la competencia por floema con los inquilinos originales. En este sentido, el método de derribo y abandono favorece el control biológico natural y se complementa con el de control físico-mecánico.

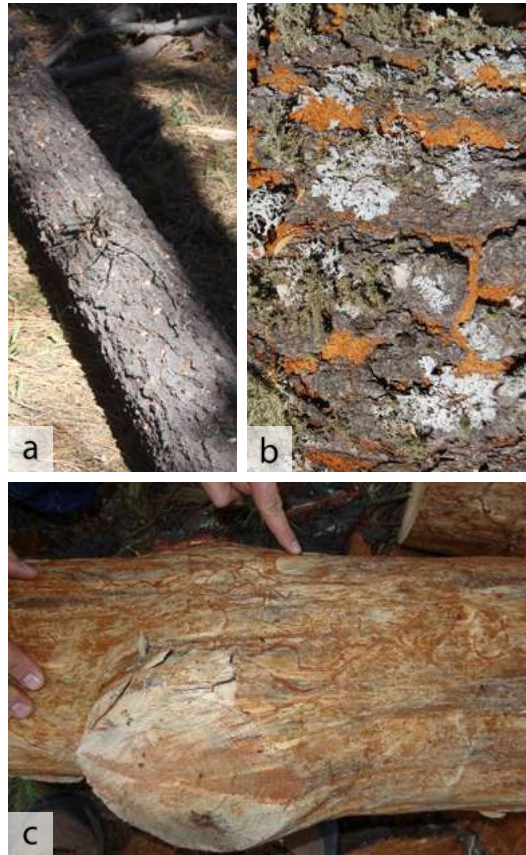


Figura 211. (a) Árbol de pino tirado, con grumos de los ataques de *D. frontalis*. (b) Ataques posteriores (aserrín rojizo) del *Ips* sp. y (c) árbol descortezado con galerías de descortezadores primarios y secundarios.
(Fotografías: D. Cibrián)

SISTEMA DE COMANDO DE INCIDENTES (SCI) EN LAS CONTINGENCIAS FITOSANITARIAS

Mauricio Forero Toro y Abel Plascencia González

El Sistema de Comando de Incidentes se desarrolló en la década de los 70, tras una serie de incendios forestales catastróficos que ocurrieron en las zonas de interface urbano-forestal en California, Estados Unidos; los daños a la propiedad fueron de millones de dólares, y muchas personas murieron o resultaron heridas (FEMA 1998).

Peritos en Sistemas de Comando de Incidentes que analizaron las causas del desastre, descubrieron que los problemas en la respuesta no podían atribuirse a la falta de asignación de recursos (personal, maquinaria y equipo); los estudios demostraron que los problemas se debieron al manejo del incidente, más que a cualquier otra razón. Las causas principales fueron:

- Falta de coordinación interinstitucional que dificultó la toma de decisiones.
- Planes de acción no consolidados.
- Objetivos de solución no claros ni específicos.
- Falta de información confiable acerca del incidente.
- Diferentes estructuras organizacionales para responder a una misma emergencia.
- Falta de una estructura organizacional de uso común para todas las instituciones que respondían a la emergencia, para desarrollar acciones planificadas, coordinadas y adaptadas a las condiciones cambiantes.
- Ineficiencias en las operaciones tácticas de los recursos asignados.
- Líneas de mando confusas.
- Muchas personas reportando a un solo responsable.

- Comunicaciones inadecuadas e incompatibles.
- Diferente terminología entre las instituciones participantes.

Definición del sistema de comando de incidentes (SCI)

El SCI es un esquema de gestión estandarizado internacional, diseñado para permitir el eficiente manejo de incidentes como: huracanes, inundaciones, terremotos, materiales peligrosos, accidentes, incendios forestales, contingencias fitosanitarias, erupciones volcánicas, entre otros; también se utiliza para manejar eventos planeados. Está integrado por una combinación de instituciones, instalaciones, equipos, personal, procedimientos y comunicaciones que operan dentro de una estructura organizacional común (USAID 2012).

Se utiliza para organizar, a corto y largo plazo, operaciones de campo en un amplio espectro de situaciones de emergencia, desde incidentes simples a complejos, generados por causas naturales o antropogénicas.

El SCI puede ser utilizado por todos los niveles de Gobierno: Federal, Estatal y Municipal, y por

organizaciones privadas no gubernamentales. Normalmente está estructurado para facilitar las actividades en cinco áreas funcionales principales: mando, operaciones, planificación, logística y administración-finanzas (FEMA 1998).

Las “contingencias fitosanitarias” son incidentes con elevado potencial para generar daños significativos en los ecosistemas forestales y en la economía de los silvicultores: Los órganos públicos deben estar preparados para su prevención, así como para su atención inmediata. Una metodología eficaz que asegura la coordinación interinstitucional, la toma de decisiones oportunas y el manejo óptimo de los recursos asignados, es a través de la implementación del Sistema de Comando de Incidentes (SCI), ya que su estructura organizacional con funciones definidas, de acuerdo con la problemática específica, permite dar una respuesta eficiente a una o múltiples contingencias, a fin de minimizar su impacto y consecuencias.

Respecto a su implementación en contingencias fitosanitarias, el SCI permite al personal técnico-operativo y de mando (sin importar la

dependencia u organización a la que pertenezca) hacer un manejo eficiente y planificado de los recursos humanos, materiales y financieros, desde las primeras etapas de su desarrollo hasta su incremento en magnitud y complejidad. (Figura 212).

El SCI esta estandarizado para facilitar la incorporación rápida de recursos de diferentes instituciones y puntos geográficos, a una estructura de manejo eficiente.

Bondades en la implementación del SCI

La aplicación del SCI en una contingencia fitosanitaria, por parte de técnicos especialistas en sanidad forestal, tiene las siguientes ventajas de planificación, organización, dirección y control:

- Incrementa la coordinación institucional y el uso eficiente de recursos humanos, materiales y financieros, asignados al incidente.
- Facilita la toma de decisiones de manera oportuna y coordinada.
- Integra objetivos, estrategias y tácticas común, ordenada y planificada.



Figura 212. Personal de las dependencias de gobierno que conforman el Comité Técnico de Sanidad Forestal (CTSF) del Estado de Oaxaca, capacitado en el Sistema de Comando de Incidentes (SCI) 100 – 200. (Fotografía: CONAFOR)

- La organización estructural se expande o contrae dependiendo del tipo, magnitud y complejidad del incidente, manteniendo un alcance de control manejable.
- Busca la estandarización de conceptos, acciones y procedimientos.
- Permite el establecimiento y transferencia de mando con procesos ordenados.
- Las instituciones colaboran prestando a sus técnicos en un esfuerzo conjunto.
- Reduce las ineficiencias y el caos.
- Tiene un impacto positivo en la imagen social por la confianza en el personal técnico calificado y asignado para la solución del incidente.
- Permite integrar la capacidad técnica individual en un esfuerzo colectivo.

Estructura organizacional y principales funciones del SCI

Todos los incidentes requieren que se lleven a cabo funciones de administración.

El SCI se desarrolla sobre cinco funciones principales, las cuales son la base de su organización (FEMA 2010) (Cuadro 36).

El Mando es la función más alta, y es ejercida por el Comandante del Incidente. La primera acción de respuesta que debe realizar el primer respondedor al arribar a un incidente es establecer el mando, ya que al no hacerlo:

- Se convierte en un peligro para la seguridad del personal de respuesta a la emergencia.
- La toma de decisiones y evaluaciones atinadas es imposible sin una estructura de mando.
- Cuando el incidente se intensifica, se dificulta la expansión de la organización (FEMA 2010).

En la figura 213 se muestra la estructura organizacional, con los responsables de las cinco funciones.

Cuando el incidente se incrementa en magnitud y complejidad, el comandante, de acuerdo al incremento en los recursos asignados, objetivos, estrategias y tácticas a alcanzar en el periodo operacional, debe ir activando las posiciones

Cuadro 36. Estructura básica de los Sistemas de Comando de Incidentes.

Mando	Establece los objetivos del incidente, estrategias y prioridades. Tiene la responsabilidad general por el incidente.
Operaciones	Lleva a cabo las operaciones para alcanzar los objetivos del incidente. Establece las tácticas y dirige todos los recursos operativos.
Planificación	Apoya las actividades operativas del incidente mediante el proceso de planificación, el seguimiento de los recursos, la integración de la documentación del incidente, y la recopilación y análisis de la información.
Logística	Proporciona recursos y servicios necesarios para apoyar el logro de los objetivos del incidente.
Finanzas y administración	Monitorea los costos relacionados con el incidente. Proporciona contabilidad, compras, registra el tiempo y el análisis de costos.



Figura 213. Estructura organizacional básica de de un comando de incidente.

requeridas, mediante la expansión a una estructura ampliada, como se observa en la figura 214.

Implementación del SCI para atender contingencias fitosanitarias

La CONAFOR, con el objetivo de mejorar los esquemas de coordinación interinstitucional en los Comités Técnicos de Sanidad Forestal (CTSF) y facilitar la toma de decisiones oportunas para la atención de emergencias fitosanitarias, formuló la “Estrategia de coordinación interinstitucional para atender las contingencias fitosa-

nitarias mediante del Sistema de Comando de Incidentes (SCI)”.

Previo al combate del agente causal que genera la contingencia, la CONAFOR desarrolla actividades de capacitación, dictando el curso SCI 402 para ejecutivos y el SCI 100-200 para técnicos, los cuales permiten enseñar las bases conceptuales del SCI al personal de mando, técnico y administrativo que pertenecen a las instancias, de los órdenes de gobierno que integran los Comités Técnicos de Sanidad Forestal, así como a las Asociaciones Regionales de Silvicultores y organizaciones forestales (figura 215).

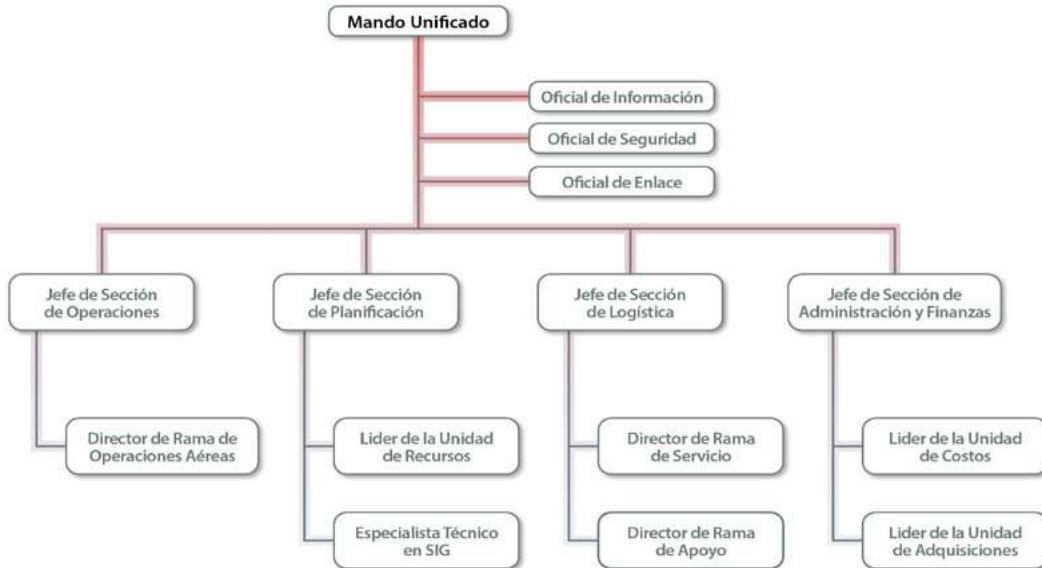


Figura 214. Estructura ampliada de un comando de incidente (FEMA 2010) en el combate aéreo de una plaga.

El SCI se implementó en el Estado de Oaxaca para atender la contingencia fitosanitaria generada por los defoliadores: *Neodiprion bicolor* Smith y *Zadiprion howdeni* Smith (figuras 216, 217 y 218), obteniéndose los siguientes beneficios:

- Se tomaron decisiones coordinadas para establecer prioridades tácticas del combate, en función del ciclo biológico del insecto.
- Se hicieron ajustes tácticos, en función del clima; con esto se garantizó el tiempo requerido de fijación del producto biológico utilizado para el combate.
- Se manejaron eficientemente los recursos asignados para la contingencia, (biológicos, helicóptero y personal de respuesta).
- Se incrementó la superficie tratada por día.



Figura 215. Reunión informativa para la implementación del SCI en la contingencia fitosanitaria de la Región Costa del Estado de Oaxaca. (Fotografía: M. Forero)



Figura 216. Larvas de mosca sierra, *Zadiprion howdeni* afectando *Pinus maximinoi*, Región Costa de Oaxaca. (Fotografía: CONAFOR)



Figura 217. Área afectada por *Neodiprion bicolor*, Municipio de Santa María Zacatepec, Oaxaca. (Fotografía: CONAFOR)



Figura 218. Aspersiones aéreas con producto biológico, en el desarrollo del SCI en la contingencia fitosanitaria de la Región Costa del Estado de Oaxaca. (Fotografía: CONAFOR)

REGULACIÓN Y MARCO NORMATIVO DE LA SANIDAD FORESTAL

El marco normativo de la Sanidad Forestal atiende dos grandes sectores, la regulación de atención fitosanitaria en el país y la regulación que previene y atiende la entrada de plagas exóticas al territorio nacional. Se atienden por separado.

Normatividad fitosanitaria en el sector forestal

Gustavo González Villalobos, Oscar Trejo Ramírez, Abel Plascencia González y Alejandro de Felipe Teodoro

La información en este apartado está relacionada con la normatividad fitosanitaria establecida en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), publicada en el diario oficial de la federación el 05 de junio de 2018 y que, a criterio de los autores, ilustra de manera general el marco regulatorio en materia de sanidad forestal en México.

Los artículos: 3 fracción XVI; 10 fracción XIX; 11 fracción XX; 13 fracción XII; 20 fracción XXXIV; 24 fracción IX; 32 fracción II; 62; 63; 65 fracción II; 68 fracción V; 70; 112; 113; 114; 115; 116, 136 fracción IV y 155 fracción XX establecen el marco regulatorio.

La sanidad forestal en México está regulada por diferentes ordenamientos directos, entre ellos la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la LGDFS y su Reglamento, así como otros ordenamientos complementarios o supletorios, tales como la Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) y la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

De esta forma, las medidas fitosanitarias que se apliquen para la prevención, combate y control de plagas y enfermedades que afecten los recursos y ecosistemas forestales, se realizarán de conformidad con lo previsto en la LGDFS y su Reglamento, así como por la Ley Federal de Sanidad Vegetal en lo que no se oponga a la LGDFS, así como en las normas oficiales mexicanas aplicables.

De acuerdo a la LGDFS, se encuentran facultados u obligados a realizar acciones de sanidad forestal los siguientes:

- La Federación, responsable de establecer las medidas de sanidad forestal, y ejecutar las acciones de saneamiento; expedir los avisos, permisos, certificados, y documentación para el combate y control de plagas y enfermedades y para la importación y exportación de productos forestales.
- Los Estados y la Ciudad de México, para llevar a cabo, en coordinación con la Federación, las acciones de saneamiento.

- Los Municipios, para llevar a cabo, en coordinación con el Gobierno de la Entidad, las acciones de saneamiento.
- La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), para generar informes técnicos fitosanitarios, emitir notificaciones de saneamiento y documentación legal para el transporte de productos resultantes del saneamiento, formular, coordinar y evaluar los programas y acciones de saneamiento forestal, así como diagnosticar, prevenir, combatir y controlar las plagas y enfermedades forestales.
- Los Titulares de Aprovechamiento Forestales y de Plantaciones Comerciales, para dar aviso de la detección de plagas y ejecutar el saneamiento.

De conformidad con la LGDFS la CONAFOR es la responsable, entre otras cosas, de establecer un sistema permanente de evaluación y alerta temprana de la condición sanitaria de los terrenos forestales, de promover y apoyar los programas de investigación necesarios para resolver los problemas fitosanitarios forestales, y de difundir las medidas de prevención y manejo de plagas y enfermedades. La SEMARNAT por su parte tiene la responsabilidad de expedir las normas oficiales mexicanas para prevenir, controlar y combatir las plagas y enfermedades forestales.

Las dependencias y entidades de la administración pública federal y, en su caso, las de los gobiernos de las entidades y de los municipios, ejercerán las funciones que les confiere la LGDFS, en forma coordinada para detectar, diagnosticar, prevenir, controlar y combatir plagas y enfermedades forestales, en los términos de los acuerdos y convenios que se celebren.

Conforme a la LGDFS, corresponde a la CONAFOR y, en su caso a las entidades federativas, realizar acciones de saneamiento forestal, independientemente de la obligación que tienen los propie-

tarios o poseedores de terrenos forestales de realizar esas mismas acciones. Es relevante la disposición de dicha Ley, en lo que se refiere a que, cuando por motivos de sanidad forestal sea necesario realizar un aprovechamiento o eliminación de la vegetación forestal, deberá implementarse un programa que permita la reforestación, restauración y conservación de suelos, estando obligados los propietarios, poseedores o usufructuarios, a restaurar mediante la regeneración natural o mediante la plantación, en un plazo no mayor a dos años. Además de todo lo anterior, la LGDFS establece que los:

- Ejidatarios, comuneros y demás propietarios o poseedores de terrenos forestales o preferentemente forestales.
- Titulares de autorizaciones de aprovechamiento de recursos forestales, quienes realicen actividades de forestación o plantaciones forestales comerciales y de reforestación.
- Prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos.
- Responsables de la administración de las áreas naturales protegidas, en forma inmediata a la detección de plagas o enfermedades.

Estarán obligados a dar aviso de ello a la Comisión Nacional Forestal, la cual elaborará o validará el informe técnico fitosanitario correspondiente.

Los propietarios y legítimos poseedores de terrenos forestales o temporalmente forestales, y los titulares de los aprovechamientos, están obligados a ejecutar los trabajos de sanidad forestal, conforme a las autorizaciones de aprovechamiento de recursos forestales y de avisos de plantaciones forestales comerciales. Los responsables de la administración de las Áreas Naturales Protegidas, lo harán conforme a los lineamientos que emita la Secretaría o los programas de manejo forestal; asimismo, cuando los trabajos de sanidad forestal no se ejecuten o siempre que exista ries-

go grave de alteración o daños al ecosistema forestal, la CONAFOR realizará los trabajos correspondientes con cargo a los obligados, quienes deberán pagar la contraprestación respectiva, que tendrá el carácter de crédito fiscal, y su recuperación será mediante el procedimiento económico coactivo correspondiente, excepto aquellos que, careciendo de recursos, soliciten el apoyo de la CONAFOR.

La SEMARNAT o la CONAFOR, cuando exista urgencia, atendiendo al interés social o al orden público, podrán imponer medidas provisionales de sanidad, remediación, conservación, restauración y mitigación de impactos adversos a los ecosistemas forestales.

Notificación de saneamiento

La notificación de saneamiento es un acto de autoridad emitido por la CONAFOR, que instruye y obliga a dueños y poseedores la ejecución de acciones técnicas para combatir y controlar plagas forestales. La notificación se dirige a los propietarios o poseedores de terrenos forestales en los cuales se ha detectado la plaga. Dicha notificación deriva de la presentación del aviso de detección de posibles plagas o enfermedades y se hace con base en un informe técnico que genera o valida la CONAFOR.

El aviso de detección de posibles plagas o enfermedades tiene como objetivo conocer de manera oportuna su presencia y, de conformidad con el Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS), se debe realizar por cualquier medio de comunicación, dentro de las 24 horas siguientes a la detección, indicando nombre, denominación o razón social, domicilio y teléfono de la persona que presenta el aviso, ubicación y nombre de los predios donde se haya realizado la detección. La CONAFOR

tiene dado de alta, en el Registro Nacional de Trámites y Servicios, el trámite CONAFOR-07-007-A "Aviso sobre la detección de cualquier manifestación o existencia de posibles plagas o enfermedades forestales".

El informe técnico que elabora o valida la CONAFOR (figura 219), respecto a la condición fitosanitaria de un predio en el que se ha reportado la presencia de posibles plagas o enfermedades forestales debe contener:

- Nombre, denominación o razón social y domicilio de los propietarios de los predios afectados.
- Denominación y ubicación de los predios objeto del saneamiento.
- Superficie afectada, superficie a tratar, así como el volumen afectado cuando implique remoción de arbolado.
- Plagas o enfermedades indicando género y especie.
- Hospedantes, especificando género y especie.
- Medidas de control y combate susceptibles de ser empleadas, indicando en su caso, el volumen a remover.



Figura 219. Validación de la CONAFOR del aviso de plaga.
(Fotografía: CONAFOR)

- Descripción de las actividades para restaurar las áreas sujetas a saneamiento.
- Responsable técnico que haya elaborado el informe, en su caso.

Una vez que la CONAFOR emite la notificación de saneamiento, las personas notificadas tendrán un plazo máximo de cinco días hábiles para iniciar los trabajos de saneamiento forestal, contados a partir de que surta efecto la notificación. La CONAFOR, en función del agente causal y superficie afectada contenida en el Informe Técnico Fitosanitario, solicitará a la Secretaría, la suspensión de los aprovechamientos.

En caso de que se requiera modificar el Programa de Manejo Forestal, el interesado deberá solicitar a la Secretaría, la autorización correspondiente en los términos que establece la ley y el reglamento. En la figura 220 se muestra el flujo técnico normativo para la emisión de notificación de saneamiento.

La CONAFOR promueve el establecimiento de programas, medidas e instrumentos para apoyar a los propietarios y poseedores de terrenos forestales de escasos recursos económicos, que estén obligados a realizar los trabajos de saneamiento forestal.

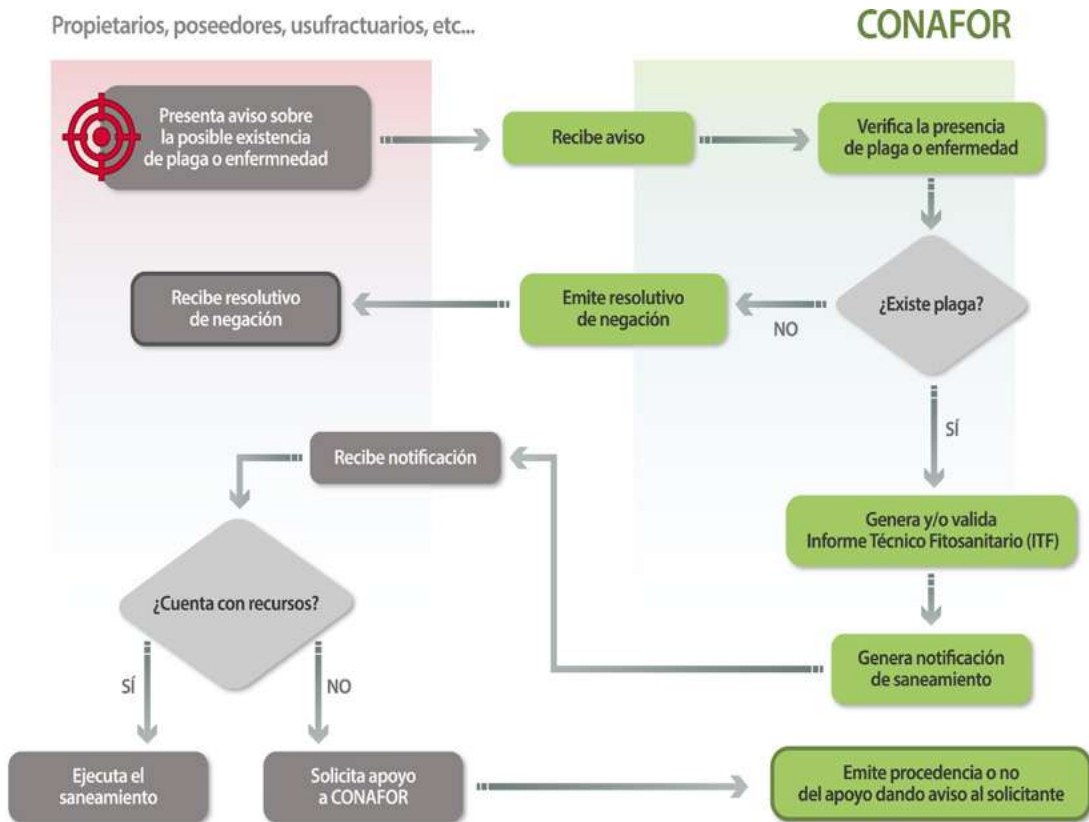


Figura 220. Flujo normativo para la emisión de Notificación de Saneamiento por la CONAFOR. Gris oscuro solicitante; verde CONAFOR. (Ilustración: E. Llanderal)

Histórico de notificaciones de saneamiento

En los cuadros 37 y 38 se muestran algunas estadísticas derivadas de las notificaciones de saneamiento forestal emitidas por la SEMARNAT en

el periodo comprendido de 2010 a junio de 2019 y por la CONAFOR de junio de 2018 a 2019.

Cuadro 37. Notificaciones relacionadas con insectos descortezadores de coníferas.

(Fuente: Sistema Nacional de Gestión Forestal–SEMARNAT)

Año	Número de notificaciones emitidas	Volumen afectado para insectos descortezadores (m ³ rta)
2010	1,232	255,195
2011	880	300,709
2012	1,898	882,932
2013	2,216	831,787
2014	1,483	429,116
2015	1,061	486,789
2016	991	294,690
2017	1,291	340,878
2018	1,551	536,121
2019	949	714,789
Total	13,552	5,073,006

Cuadro 38. Superficie afectada (hectáreas) por tipo de plagas conforme a las notificaciones de saneamiento emitidas por la SEMARNAT y CONAFOR de 2010 a 2019.

(Fuente: Sistema Nacional de Gestión Forestal–SEMARNAT)

Agente Causal de daño	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Insectos Descortezadores	22,686	40,730	292,630	216,664	93,298	54,485	14,303	10,426	6,947	8,651	760,820
Insectos Defoliadores	36,042	14,419	5,626	13,827	22,391	45,151	24,872	23,244	32,056	21,667	239,295
Insectos Barrenadores	1,055	794	2,386	1,293	3,124	2,208	2,176	7,875	173	1,748	22,832
Plantas Parásitas	44,974	23,283	30,476	25,028	46,889	23,820	35,609	55,700	65,998	12,885	364,662
Enfermedades	1,410	879	1,660	2,938	4,994	4,024	8,007	7,778	4,478	520	36,688
Otros Agentes	2,151	890	2,601	4,437	10,947	13,792	9,121	5,067	7,522	601	57,129
Superficie afectada total (hectáreas)	108,318	80,995	335,379	264,187	181,643	143,480	94,088	110,090	117,174	46,072	1,481,426

Tácticas de protección oficial contra plagas exóticas

María Eugenia Guerrero Alarcón

Partiendo de la definición de manejo integrado de plagas de este libro y de Coulson y Witter 1984 y Coulson y Saarenmaa 2011, las tácticas regulatorias forman parte del MIPF. Por lo tanto, las medidas que se dicten para prevenir el ingreso de nuevas plagas a los territorios, constituyen tácticas de protección contra las plagas exóticas. En este sentido, la mayoría de los países han adoptado reglamentaciones de cuarentena que contienen disposiciones para prevenir la entrada de organismos exóticos.

El impacto en el comercio internacional, de las medidas cuarentenarias fitosanitarias, es indudable, pero se justifica ya que con ellas se evitan consecuencias negativas derivadas de la introducción de un organismo exótico en un país.

La regulación internacional considera principalmente la emisión de Normas Internacionales de Medidas Fitosanitarias (NIMF) y Normas Regionales, en el marco del Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (APMSF) logrado entre la Organización Mundial de Comercio y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF 2015).

El APMSF establece las reglas básicas para la normativa de inocuidad, de los alimentos, salud de los animales y preservación de los vegetales, autoriza a los países a establecer sus propias normas. También dice que es preciso que las reglamentaciones estén fundadas en principios científicos y, además, que solo se apliquen para proteger la salud y la vida de las personas y de los animales o para preservar los vegetales y que no discriminen de manera arbitraria o injustifi-

cable entre los miembros en que prevalezcan condiciones idénticas o similares.

En la actualidad, las autoridades de varios países del mundo están realizando estudios de riesgos biológicos y ecológicos de las importaciones de madera aserrada para asegurar un comercio sano. Es por esto, que también surge la necesidad de que México genere las regulaciones pertinentes en la materia, lo cual ya se ha iniciado con algunos estudios.

En el caso de México la táctica de protección contra plagas exóticas está basada en la emisión de requisitos fitosanitarios y el establecimiento de Normas Oficiales Mexicanas que regulan la importación de productos como los utilizados en cestería y espartería, semillas, follajes y otros productos (SEMARNAT 2003), árboles de navidad (SEMARNAT 2010) y la madera aserrada nueva (SEMARNAT 2013).

Procesamiento y Tratamiento

Se ha demostrado que el nivel de procesamiento de los productos está íntimamente ligado a la probabilidad de presencia de plagas y enfermedades, por lo que es deseable que los que se movilizan en el comercio internacional lo hagan tomando en cuenta este principio.

La NIMF 32 2009 proporciona criterios para que las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) de los países importadores categoricen los productos según su riesgo de plagas, como requisitos de importación. El uso de categorías por parte de las ONPF, para deter-

minar cualquier regulación fitosanitaria, deberá tomar en cuenta la justificación técnica, el análisis de riesgo de plagas, el manejo del riesgo, el impacto mínimo y la armonización.

La primera etapa de la categorización se basa en si se ha procesado el producto, y si es así, en el método y grado de procesamiento antes de la exportación. La segunda etapa se basa en su uso previsto después de la importación.

Según el método y grado de procesamiento, los productos podrán dividirse en tres grandes grupos, a saber:

- Procesados a tal punto que pierden capacidad de ser infestados por plagas cuarentenarias.
- Procesados hasta un punto en que mantienen su capacidad de ser infestados por plagas cuarentenarias.
- No procesados.

El principal factor de riesgo considerado es la presencia de corteza que, en caso de los embalajes que se utilizan en la movilización de mercancías, ya se encuentra regulado a nivel internacional por la NIMF 15 2018. **Aquí es importante destacar que el embalaje representa la principal vía de ingreso de plagas exóticas, y se moviliza conteniendo mercancías y también como producto.**

La regulación en México, para la importación de madera aserrada nueva, (Norma Oficial Mexicana 016 SEMARNAT 2013), establece como requisito la ausencia de corteza. El contenido de humedad representa otro factor de riesgo, por lo que los productos sometidos a algún proceso de secado pueden ser menos susceptibles a ser invadidos por insectos no deseados y los requisitos para la importación pueden reducirse cuando la madera ha sido sometida a un proceso de estufado o un tratamiento térmico previo.

La dimensión de los productos también es un criterio para que no sean portadores de plagas,

y por ello se pueden establecer medidas de grosor del material.

La evaluación de los países del riesgo asociado a la importación de madera en rollo, podrá variar en función de la zona de origen, las especies, el tamaño de los troncos, la presencia o ausencia de corteza, y si la plaga en cuestión está presente y distribuida de manera generalizada por todo el país del que se trate (FAO 2012).

Las maderas de especies tropicales que se exportan de México a Canadá deben cumplir regulaciones menos rigurosas debido a que Canadá no cuenta con bosques tropicales y las especies plaga que pudieran ir en dichas maderas, son limitadas por la ubicación geográfica, el clima y las especies forestales presentes en ese país.

La inspección es una práctica preventiva que ayuda a detectar organismos exóticos, previo a su ingreso a otros territorios y permite la toma de decisiones.

En la medida que tales servicios de inspección sean sólidos; es decir, se fortalezcan mediante la capacitación y se les dote de herramientas de apoyo suficientes y eficientes, la estrategia de inspección será la principal barrera de protección en los puntos de ingreso.

Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF)

La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) elabora disposiciones para la aplicación de medidas por parte de los gobiernos, con objeto de proteger sus recursos vegetales de plagas (medidas fitosanitarias) que pueden introducirse mediante el comercio internacional. En la página (www.wto.org/spanish/thewto_s/coher_s/wto_ippc_s.htm) se pueden consultar sus características.

Las normas internacionales para medidas fitosanitarias (NIMFs) son elaboradas por la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, como parte del programa mundial de políticas y asistencia técnica en materia de cuarentena vegetal que lleva a cabo la FAO, este programa ofrece tanto a los miembros, como a otras partes interesadas en estas normas, directrices y recomendaciones para armonizar las

medidas fitosanitarias en el ámbito internacional, con el propósito de facilitar el comercio y evitar el uso de medidas injustificadas como obstáculos al comercio (FAO 2012).

En el cuadro 39 se enlistan las Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias vigentes; dichas normas se basan en principios científicos, información técnica y las políticas comerciales existentes.

Cuadro 39. Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias para la regulación de la movilización de productos, elaboradas por la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria de la FAO. (<https://www.ippc.int/en/core-activities/standards-setting/ispms/>).

Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias	Nombre
NIMF N° 01 (2015)	Principios fitosanitarios para la protección de las plantas y la aplicación de medidas fitosanitarias en el comercio internacional.
NIMF N° 02 (2019)	Marco para el análisis de riesgo de plagas.
NIMF N° 03 (2017)	Directrices para la exportación, el envío, la importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos.
NIMF N° 04 (2017)	Requisitos para el establecimiento de áreas libres de plagas.
NIMF N° 05 (2019)	Glosario de términos fitosanitarios.
NIMF N° 06 (2019)	Vigilancia.
NIMF N° 07 (2015)	Sistema de certificación fitosanitaria.
NIMF N° 08 (2017)	Determinación de la situación de una plaga en un área.
NIMF N° 09 (2017)	Directrices para los programas de erradicación de plagas.
NIMF N° 10 (2015)	Requisitos para el establecimiento de lugares de producción libres de plagas y sitios de producción libres de plagas.
NIMF N° 11 (2019)	Análisis de riesgo de plagas para plagas cuarentenarias.
NIMF N° 12 (2017)	Certificados fitosanitarios.
NIMF N° 13 (2015)	Directrices para la notificación del incumplimiento y acciones de emergencia.
NIMF N° 14 (2019)	Aplicación de medidas integradas en un enfoque de sistemas para el manejo del riesgo de plagas.
NIMF N° 15 (2018)	Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional.
NIMF N° 16 (2015)	Plagas no cuarentenarias reglamentadas: concepto y aplicación.
NIMF N° 17 (2017)	Notificación de plagas.
NIMF N° 18 (2019)	Directrices para utilizar la irradiación como medida fitosanitaria.
NIMF N° 19 (2015)	Directrices sobre las listas de plagas reglamentadas.
NIMF N° 20 (2019)	Directrices para un sistema fitosanitario de reglamentación de importaciones.

Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias	Nombre
NIMF N° 21 (2019)	Análisis de riesgo de plagas no cuarentenarias reglamentadas.
NIMF N° 22 (2015)	Requisitos para el establecimiento de áreas de baja prevalencia de plagas.
NIMF N° 23 (2019)	Directrices para la inspección.
NIMF N° 24 (2017)	Directrices para la determinación y el reconocimiento de equivalencia de las medidas fitosanitarias.
NIMF N° 25 (2016)	Envíos en tránsito.
NIMF N° 26 (2019)	Establecimiento de áreas libres de plagas para moscas de la fruta (Tephritidae).
NIMF N° 27 (2015)	Protocolos de diagnóstico para las plagas reglamentadas.
NIMF N° 28 (2011)	Tratamientos fitosanitarios para plagas reglamentadas.
NIMF N° 29 (2017)	Reconocimiento de áreas libres de plagas y de áreas de baja prevalencia de plagas.
NIMF N° 30 (2019)	REVOCADA Establecimiento de áreas de baja prevalencia de plagas para moscas de la fruta (Tephritidae).
NIMF N° 31 (2015)	Metodologías para el muestreo de envíos.
NIMF N° 32 (2015)	Categorización de productos según su riesgo de plagas.
NIMF N° 33 (2019)	Material micropropagativo y minitubérculos de papa (<i>Solanum spp</i>) libres de plagas para el comercio internacional.
NIMF N° 34 (2015)	Diseño y operación de estaciones de cuarentena post-entrada para plantas.
NIMF N° 35 (2018)	Enfoque de sistemas para el manejo del riesgo de plagas de moscas de la fruta (Tephritidae).
NIMF N° 36 (2019)	Medidas integradas para plantas para plantar.
NIMF N° 37 (2018)	Determinación de la condición de una fruta como hospedante de moscas de la fruta (Tephritidae).
NIMF N° 38 (2018)	Movimiento internacional de semillas.
NIMF N° 39 (2018)	Movimiento Internacional de madera.
NIMF N° 40 (2018)	Movimiento internacional de medios de crecimiento en asociación con plantas para plantar.
NIMF N° 41 (2019)	Movimiento internacional de vehículos, maquinarias y equipos usados
NIMF N° 42 (2019)	Requisitos para el uso de tratamientos de temperatura como medidas fitosanitarias.
NIMF N° 43 (2020)	Requisitos para el uso de la fumigación como medida fitosanitaria.

Las versiones actualmente aprobadas de las NIMF pueden obtenerse en:
<https://www.ippc.int/es/core-activities/standards-setting/ispms/>

Un ejemplo relevante respecto a las Normas Internacionales es el caso de la NIMF 15 que establece la reglamentación del embalaje utilizado

en el comercio internacional, ya que el de madera es la principal vía de movilización de plagas de importancia cuarentenaria.

Normas Regionales de Medidas Fitosanitarias (NRMF)

La Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NAPPO) elabora normas regionales de medidas fitosanitarias para la protección de la agricultura, la silvicultura y otros recursos vegetales, contra las plagas reglamentadas de las plantas, a la vez que faciliten el comercio.

Los países dependen de una cantidad limitada de medidas fitosanitarias (NIMF 5 2019) para manejar los riesgos de plagas relacionados con la movilización internacional de madera. Los tratamientos térmicos o la fumigación con bromuro de metilo se utilizan ampliamente en el manejo del riesgo de plagas de varios productos de madera comerciados. El acceso al bromuro de metilo está disminuyendo para dar respuesta al Protocolo de Montreal, y el tratamiento térmico no resulta práctico para muchos usos o especies específicas de madera (NRMF 41). Por lo anterior se hace necesario plantear medidas para el manejo del riesgo que pueden integrarse en Normas Regionales de Medidas Fitosanitarias. Así actualmente existen varias normas regionales que contemplan temas relevantes, como la NRMF 33 que establece directrices para reglamentar la movilización de embarcaciones provenientes de áreas infestadas de la palomilla gitana asiática.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

De acuerdo a la definición de la Ley de Metrología y Normalización, una Norma Oficial Mexicana establece regulación técnica de observancia obligatoria, expedida por las dependencias competentes conforme a las finalidades descritas en el artículo 40, que dicta reglas, especificaciones,

atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de leyes, reglamentos, acuerdos, Normas Oficiales Mexicanas, así como documentación fitosanitaria (Certificado Fitosanitario de Importación, Exportación y Re-exportación), regula y establece requisitos para la movilización de dichos productos (cuadro 40).

Papel de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) vigila el cumplimiento de las regulaciones en los puntos de ingreso a territorio nacional y es así como se han interceptado numerosos insectos exóticos de importancia cuarentenaria, asociados a productos de importación incluyendo los embalajes.

Cuando durante el proceso de inspección la PROFEPA detecta la presencia de posibles plagas en los productos de importación, toma una muestra, la remite al Laboratorio de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos de la SEMARNAT para su determinación taxonómica y, en función del resultado, determina las medidas fitosanitarias a aplicar.

En caso de determinarse la presencia de una plaga de importancia cuarentenaria se ordena la aplicación de tratamiento fitosanitario preventivo y el retorno o destrucción de la mercancía.

Cuadro 40. Normas oficiales mexicanas vigentes sobre productos forestales de importación.

NORMA OFICIAL MEXICANA	NOMBRE	PUBLICACIÓN EN DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF)
NOM-029-SEMARNAT-2003	Especificaciones sanitarias del bambú, mimbre, bejuco, ratán, caña, junco y rafia, utilizados principalmente en la cestería y espartería.	DOF 24/07/2003 https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=693180&fecha=24/07/2003
NOM-013-SEMARNAT-2010	Regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros <i>Pinus</i> y <i>Abies</i> y la especie <i>Pseudotsuga menziesii</i> .	DOF 06/11/2010 https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5166515&fecha=06/11/2010
NOM-144-SEMARNAT-2012	Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías.	DOF 16/08/2012 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5514060&fecha=22/02/2018
NOM-016-SEMARNAT-2013	Regula fitosanitariamente la importación de madera aserrada nueva.	DOF 04/03/2013 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5290077&fecha=04/03/2013

Principales insectos exóticos forestales con potencial de introducción a México

Las plagas exóticas, cuando se establecen en nuevos ecosistemas forestales, pueden causar no solo importantes pérdidas económicas sino también estragos ecológicos difícilmente medibles. Considerando que México sostiene un intercambio comercial relevante con los EUA es importante destacar la importancia de algunos insectos cuyo potencial de ingreso y establecimiento es muy alto.

Barrenador esmeralda del fresno (BEF) *Agrilus planipennis* (Fairmaire) (figura 221). Fue introducido a EUA y Canadá en embalajes de madera sin tratamiento, procedentes de Asia; la expansión masiva en estos países, se debe principal-



Figura 221. *Agrilus planipennis*, sus estados de desarrollo. Larvas: A y B, instar IV; C, instar III; D, instar II; E, instar I; F, huevo; G, pupa; H, adulto. (Imagen con permiso de: Chamorro et al. 2012 (UGA510033))

mente al comercio, y al transporte involuntario de material de vivero, troncos no procesados, leña y demás productos infestados derivados del fresco; por ello fue necesario establecer cuarentenas federales y estatales para limitar la dispersión de la plaga mediante el transporte de productos. (USDA-APHIS 2015).

La palomilla gitana europea *Lymantria dispar dispar* (Linnaeus), es otra plaga exótica de importancia cuarentenaria que fue introducida de manera accidental a Estados Unidos por un naturalista en 1869, y desde entonces se ha extendido a Canadá, causando graves daños a las masas de encinos (Johnson y Lyon 1991 y Tobin *et al.* 2012). En Asia existe la raza *Lymantria dispar asiatica* Vnukovskij (figura 222), más peligrosa que la raza europea, pues sus hembras pueden volar, con el consecuente riesgo de expansión más rápido; cualquiera de las dos razas tiene la capacidad de alimentarse de más de 600 especies de plantas incluyendo latifoliadas y coníferas (Trotter III *et al.* 2020).

Para la raza asiática se ha determinado que la principal, y quizás más probable, vía de introducción es el transporte de masas de huevos viables, adosadas en las cubiertas de los barcos,



Figura 222. Ovipostura y larvas recién emergidas de la palomilla gitana *Lymantria dispar*. (Fotografía: UGA1929099 USDA Forest Service, USDA Forest Service, Bugwood.org)

o en la superficie de contenedores o equipos diversos (vehículos, maquinarias, etc.), por tal motivo, todos los barcos que provengan de puertos con presencia de Raza Asiática de Palomilla Gitana (RAPG), son considerados de alto riesgo (SENASICA 2019).

La dispersión de la subespecie o variedad europea, se ve limitada por la casi nula capacidad de vuelo de la hembra, cuya posibilidad de dispersión se restringe a vehículos, contenedores, y máquinas en general, situadas en las áreas infestadas.

Los escarabajos cuernos-largos *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) y *A. chinensis* (Forster) (figura 223), tienen un alto potencial destructivo por su amplio rango de hospedantes. Haack *et al.* 2010 ofrecen una perspectiva mundial de su taxonomía, diagnóstico, distribución, bionomía, plantas hospedantes, historia de su invasión, manejo, investigación reciente y esfuerzos internacionales para prevenir nuevas introducciones; estos insectos atacan 76 géneros de árboles en 19 familias, incluyendo especies forestales, frutales y ornamentales de importancia económica; *A. glabripennis* ya ha causado daños sustanciales en el entorno forestal y urbano de Estados Unidos.

Vigilancia fitosanitaria en puntos nacionales de ingreso

México tiene 12 Tratados de Libre Comercio con 46 países (TLCs), 32 Acuerdos para la Promoción y Protección Recíproca de las Inversiones (APPRIs) con 33 países, y nueve acuerdos de alcance limitado (Acuerdos de Complementación Económica y Acuerdos de Alcance Parcial) en el marco de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) (Secretaría de Economía 2015).

El comercio internacional de productos y sub-productos forestales representa un riesgo de introducción de plagas y enfermedades no presentes en México (Koleff 2014).

Ante este panorama de movilidad de mercancías, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), denomina acciones de “post-frontera”, a las que se realizan dentro del territorio de cada país, con el objetivo de manejar el riesgo derivado de las distintas vías posibles de ingreso de plagas reglamentadas; es así como instituciones federales tienen, dentro de sus atribuciones, la vigilancia fitosanitaria en puntos de ingreso, con el objetivo de detectar oportunamente el ingreso de especies exóticas invasoras y cuarentenarias (Arriagada 2011).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos emite la

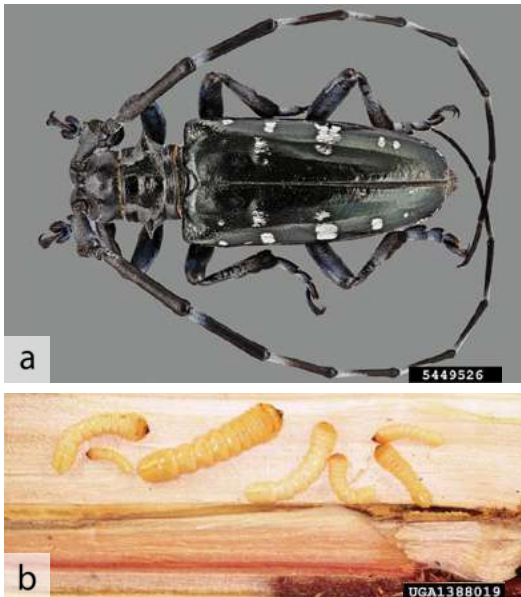


Figura 223. *Anoplophora glabripennis*: (a) Adulto macho y (b) larva. (Fotografías: a UGA5449526 Steven Valley, Oregon Department of Agriculture, Bugwood.org y b UGA1388019 Steven Katovich, Bugwood.org)

documentación fitosanitaria (Certificado Fitosanitario de Importación) donde se establecen los requisitos para la movilización de dichos productos, de acuerdo con Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT 2018).

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) tiene dispuesto, en los puntos de ingreso, personal de inspección que verifica el estatus fitosanitario de las mercancías que ingresan al país. Cualquier detección de especies sospechosas, se determina taxonómicamente en el Laboratorio de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal (LARSF) de la SEMARNAT. En la figura 224 se muestran las detecciones de especies cuarentenarias durante el periodo 2009-2018, realizadas por la PROFEPA en los puntos de ingreso a México.

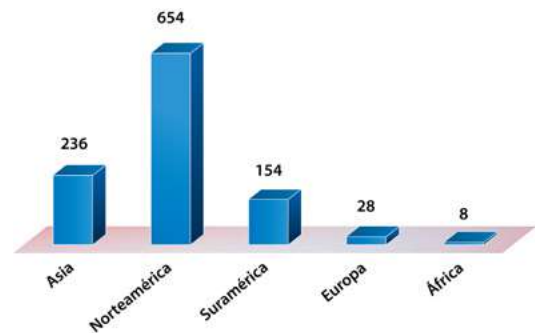


Figura 224. Número de detecciones de especies cuarentenarias dentro de puntos de ingreso nacionales durante el periodo 2009-2018. (Fuente: SEMARNAT, Inédito; 2018)

La Comisión Nacional Forestal coadyuva en actividades de vigilancia de plagas exóticas en puntos de ingreso de mercancías internacionales con mayor riesgo de incursiones. Como producto de esta actividad, tiene trampas instaladas en las aduanas de Tijuana (Baja California), Puerto de Veracruz (Veracruz), Puerto de Manzanillo (Colima), Aduana México (Pantaco) y Aduana del Aeropuerto Internacional, ambas de la de la

Ciudad de México. En el periodo 2016-2017 coleccionaron insectos pertenecientes a los siguientes ordenes: Coleoptera (1,256), Hemiptera (1,032), Diptera (696), Hymenoptera (581), Lepidoptera (174) y Thysanoptera (105). Otros órdenes de insectos con menor cantidad de muestras fueron Isoptera (55), Neuroptera (16), Psocoptera (5), Orthoptera (2), Tricoptera (2), Blattodea (2), Embioptera (1), Siphonaptera (1) y Odonata (1) (PNUD 2017).

En la aduana de la ciudad de Tijuana, se calcula un promedio de importaciones de 2,000 operaciones diarias y de 1,500 en la exportación (PNUD 2017). Con más de 1.4 millones de camiones cruzando al año, el puerto de entrada terrestre de Mesa de Otoy, es la zona de cruce comercial más grande en la frontera entre California y Baja California; maneja el segundo volumen más importante de transporte de carga y el tercer volumen comercial en términos de valor en dólares, de todas las zonas de cruce fronterizo terrestre entre Estados Unidos y México (Del Castillo *et al.* 2007).

De acuerdo a SEMARNAT (Inédito 2018), durante 2009-2018 las operaciones de inspección en la Aduana Tijuana, han derivado en 119 registros, de los cuales el 99% corresponde a mercancía procedente de Estados Unidos de Norteamérica. De éstos, el 36% representa a insectos catalogados de importancia cuarentenaria en árboles de navidad.

Las determinaciones taxonómicas hechas por el Laboratorio de Análisis y Referencia de Sanidad Forestal (LARSF) de la SEMARNAT, refieren las siguientes especies: *Neotermes luykxi* Nickle & Collins (infraorden Isoptera); *Cylindrocopturus furnissi* Buchanan (figura 225), *Otiorhynchus rugostriatus* (Goeze), *Pissodes fasciatus* LeConte, *Rhyncholus brunneus* Mannerheim, *Sciopithes obscurus* Horn, *Sitona lineatus* Linnaeus (Coleoptera:

Curculionidae); *Vespula germánica* Fabricius (Hymenoptera: Vespidae), *Camponotus pennsylvanicus* (De Geer) (Hymenoptera: Formicidae; *Synanthedon* sp. (Lepidoptera: Sesiiidae); *Contarinia constricta* Condrashoff y *Contarinia cuniculator* Condrashoff (Diptera, Cecidomyiidae).



Figura 225. Gorgojo de ramitas de *Pseudotsuga menziesii*, *Cylindrocopturus furnissi*. (a) Árbol de navidad infestadas. (b) Galería de Larva. (c) Adulto. (Fotografías: a y b, D. Cibrián y c, Oregon State University)

En los árboles de navidad importados del oeste de Estados Unidos, con frecuencia se detectan insectos fitófagos de importancia agrícola que utilizan los árboles para hibernación y eventualmente como sitios de reposo temporal.

Información adicional, en esta aduana, detectaron las especies de ambrosiales *Hylocurus hirtellus* (LeConte), *Xyleborus glabratus* Eichhoff y *Euwallacea* sp. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (PNUD 2017).

El Puerto de Manzanillo es un punto de transbordo utilizado por los países de Centro y Sudamérica, y para la costa oeste de los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. En el año 2017, la importación de material en contenedor, que usó esta ruta de ingreso fue de 6,197,020 toneladas (SCT 2017). Su área de influencia al interior del país está integrada por 15 Estados de la República Mexicana, que representan el 60 % del PIB nacional y reúnen al 42 % de la población total del país (PNUD 2017).

Durante el periodo 2009-2018, la Aduana Manzanillo fue punto activo de mercancía procedente de: Argentina (0.3 %), Bolivia (3 %), Chile (22.14 %), China (14 %), Corea del Sur (2.7 %), Costa Rica (0.7 %), Estados Unidos de América (2 %), Ghana (1.03 %), Honduras (0.3 %), India (28 %), Indonesia (11 %), Japón (0.6 %), Malasia (2.7 %), Pakistán (0.6 %), Perú (3.11 %), Singapur (2.4 %), Sri Lanka (0.3 %), Tailandia (1.4 %), Taiwán (0.3 %) y Vietnam (3.8 %) (SEMARNAT Inédito 2018). El 45 % del total de registros (289) procedentes de las operaciones de inspección en la Aduana Manzanillo, corresponde a especies de importancia cuarentenaria.

Las determinaciones taxonómicas hechas por personal del LARSF incluye las siguientes especies: *Belionota prasina* Thunberg, *Cerambyx* sp., *Coptotermes gestroii* Wasmann, *Dinoderus bifoveolatus* (Wollaston), *Heterobostrychus*

aequalis Waterhouse, *H. brunneus* (Hopkins), *H. hamatipennis* (Lesne), *Hylaster ater* Paykull, *Hylurgus ligniperda* (Fabricius), *Lyctus africanus* Lesne, *L. cavicollis* LeConte, *L. chilensis* Gerberg, *Lymantria dispar dispar* (Linnaeus), *Minthea reticulata* Lesne, *Oryctes rhinoceros* (Linnaeus), *Ptinus ocellus* Brown, *Sinoxylon anale* Lesne, *S. crassum* Lesne, *S. indicum* Lesne, *S. sudanicum* Lesne, *S. unidentatum* (Fabricius), *Xyleborus* sp. y *Xyloperthella picea* (Olivier) (SEMARNAT Inédito 2018).

Información adicional, lograda a través del PNUD (PNUD 2017), en la Aduana Manzanillo, detectaron las especies *Amphicerus cornutus* (Pallas), *Chaetophloeus mexicanus* (Blackman), *C. minimus* Wood, *Cryptocarenus seriatus* Eggers, *Coccotrypes carpophagus* (Hornung), *Dendroterus luteolus* (Schedl), *Euplatypus parallelus* (Fabricius), *Hylocurus inaequalis* Wood, *Hypothenemus birmanus* (Eichhoff), *H. brunneus* (Hopkins), *H. eruditus* Westwood, *H. gossypii* (Hopkins), *H. javanus* (Eggers), *H. rotundicollis* (Eichhoff), *H. seriatus* (Eichhoff), *Microcorthylus minimus* Schedl, *Pityophthorus* sp., *Pycnarthrum hispidum* (Ferrari), *Thysanoes mexicanus* Wood, *Scolytogenes jalapae* (Letzner), *Xyleborinus saxesenii* (Ratzeburg), *Xyleborus palatus* Wood, *Xyleborus volvulus* (Fabricius), *Xylobiops parilis* Lesne y *Xylomeira tridens* (Fabricius).

La aduana México-Pantaco conecta con los Puertos de Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Veracruz y Coatzacoalcos, y los puntos fronterizos de Nuevo Laredo y Ciudad Juárez. Es considerada la aduana interior con más operación dentro del país, realizando principalmente operaciones de importación en tránsito desde Manzanillo o Veracruz. (PNUD 2017). A pesar de esta condición de movilidad de mercancías, la SEMARNAT (2018) solo reportó diez detecciones de insectos en el año 2009, cuyo material de procedencia fue de China;

la determinación taxonómica hecha por personal del LARSF corresponde a *Phloesinus* sp. (SEMARNAT Inédito 2018). Información adicional, también en esta aduana registró a la especie *Stegobium paniceum* (Linnaeus) (PNUD 2017).

De acuerdo con la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el Puerto de Veracruz representa la principal entrada y salida de mercancías del Golfo de México y es considerado uno de los cuatro puertos estratégicos más importantes del país para la movilización de carga comercial. Además, la Comisión Económica para América Latina de la ONU establece que el Puerto de Veracruz está posicionado como uno de los principales puertos de México (PNUD 2017), pues tiene una importante participación nacional en mercancías importadas. Ingresa el 75 % de los automóviles, 30 % de carga no agrícola a granel, 47 % de carga agrícola a granel y 38 % en diversas mercancías transportadas en contenedores. Los destinos más usuales de las mercancías que llegan por el puerto de Veracruz son: Oaxaca, Jalisco, Michoacán, Chiapas, Tabasco, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Ciudad de México, Estado de México y Veracruz (PNUD 2017).

Durante el periodo 2009-2018, la aduana del Puerto de Veracruz fue punto activo de mercancía procedente de: Alemania (15.5%), Argentina (1.8%), Bolivia (1.8%), Brasil (13.76%), Colombia (2.7%), Eslovenia (0.9%), España (4.5%), Estados Unidos de América (11%), Francia (0.9%), India (26.24%), Indonesia (1.8%), Italia (0.9%), Países Bajos (7.3%), Paraguay (0.9%), Perú (2.7%), Turquía (1.8%) y Venezuela (5.5%) (SEMARNAT Inédito 2018). El 51 % del total de registros (109) procedentes de las operaciones de inspección en la aduana del Puerto de Veracruz, corresponde a especies de importancia cuarentenaria.

Las determinaciones taxonómicas hechas por personal del LARSF identificó las especies: *Camponotus herculeanus* (Linnaeus), *Coptotermes gestroi* Wasmann, *Dinoderus bifoveolatus* (Wollaston), *Lyctus brunneus* (Stephens) *Lyctus chilensis* Gerberg, *Lyctus simplex* Reitter, *Micrapate scabrata* (Erichson), *Minthea reticulata* Lesne, *Minthea squamigera* Pascoe, *Pityogenes quadridens* (Hartig), *Sinoxylon anale* Lesne, *S. indicum* Lesne, *S. unidentatum* (Fabricius), *Stromatium barbatum* (Fabricius), *Trogoxylon* sp., *Xyleborus similis* Ferrari y *Xyloperthella picea* (Olivier) (SEMARNAT Inédito 2018).

Información adicional lograda por PNUD 2017 identificó a las especies *Euplatypus parallelus* (Fabricius), *Hypothenemus birmanus* (Eichhoff), *Hypothenemus pubescens* Hopkins, *Hypothenemus seriatus* (Eichhoff), *Scolytogenes jalapae* (Letzner), *Stegobium paniceum* (Linnaeus), *Xyleborinus saxesenii* (Ratzeburg) y *Xyleborus volvulus* (Fabricius).

Las detecciones señaladas en el presente capítulo no han trasgredido la frontera de la aduana, sino que tienen acciones de control *in situ* que ha disminuido el riesgo de incursiones a ecosistemas forestales mexicanos. Sin embargo, propician acciones de vigilancia por parte de las dependencias competentes (SEMARNAT, CONAFOR, SENASICA, PROFEPA), tales como la creación de mapas de riesgo y un sistema de monitoreo dirigido a las especies que estadísticamente reflejan mayor número de detecciones en los puntos de ingreso.

La prevención, también ha implicado organización interinstitucional a través de un Sistema de Comando de Incidentes, herramienta que permite atender riesgos fitosanitarios de forma sistemática.

CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD FORESTAL

Oscar Trejo Ramírez, Erika Gómez-Pineda y Cuauhtémoc Sáenz-Romero

Se entiende como Cambio Climático al “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo comparables” (CMNUCC 1992). En este sentido, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por su acrónimo en inglés), reconoce que la influencia humana en el sistema climático es innegable y atribuible a los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que, debido al rápido crecimiento demográfico, al desarrollo socioeconómico y la evolución tecnológica, ha ido en aumento desde el periodo preindustrial (IPCC 2014).

Antecedentes

En 1750, año que habitualmente se considera como el inicio de las actividades industriales, la concentración atmosférica global de dióxido de carbono (CO_2) era de 278 partes por millón (ppm), de metano (CH_4) 722 partes por billón (ppb) y de óxido nitroso (N_2O) 270 ppb; los cuales, en 2018 alcanzaron las 408 ppm, 1,862 ppb y 331 ppb, respectivamente (Ripple *et al.* 2019 y WMO 2019a). De estos gases, el CO_2 es considerado el principal impulsor del cambio climático, y el dato más reciente muestra que en abril del 2020, alcanzó las 416 ppm (figura 226).

Los efectos de estas concentraciones sin precedentes, se han detectado en el sistema climático global y es sumamente probable, que hayan sido causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX (IPCC 2014), calentamiento que ha continuado a lo largo del siglo XXI, hasta significar un aumento en la temperatura media global, en superficie, de $\pm 1.1^\circ\text{C}$ (Hansen *et al.* 2019 y WMO 2019b) y que podría alcanzar $+1.5^\circ\text{C}$ en 2030 (IPCC 2018).

A diferencia de la temperatura, los cambios en la precipitación no han sido ni serán uniformes,

pues las proyecciones y cambios observados señalan que habrá incremento de la precipitación en las latitudes medias del hemisferio norte, incremento de sequía en las zonas tropicales y subtropicales del mismo hemisferio, y mayor humedad en los trópicos y subtrópicos del hemisferio sur (Zhang *et al.* 2007 y IPCC 2014).

Para México, se predice que en 2030 el incremento de la temperatura media anual será de

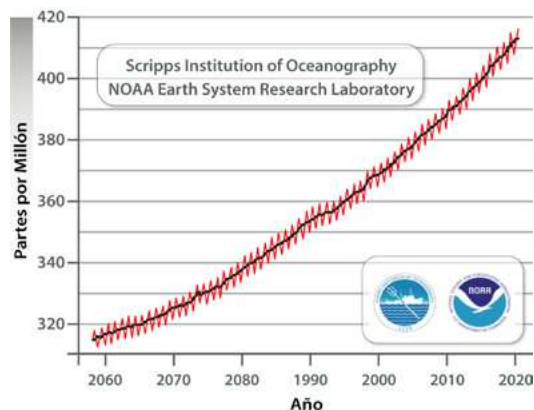


Figura 226. Dióxido de carbono (ppm) atmosférico medido en el Observatorio Mauna Loa, Hawaii. La línea roja es el promedio mensual, y la negra lo mismo, pero con una corrección por el efecto de la estacionalidad.

(Esquema: E. Llanderal. Redibujado de Global Monitoring Laboratory 2020)

+1.5 °C (Figura 227), desafortunadamente acompañado de una disminución en la precipitación total anual promedio de -6.7% (promediando seis modelos-escenarios de emisiones de efecto invernadero (figura 228); Sáenz-Romero *et al.* 2010).

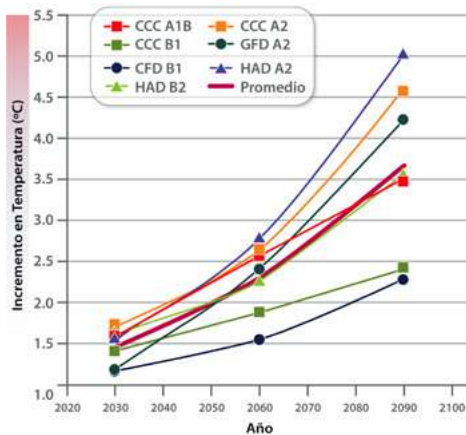


Figura 227. Proyección de incremento de la temperatura media anual, respecto al período de referencia 1961-1990, de seis modelos-escenarios de circulación climática global, ajustados para un modelo climático “spline” para México, para las décadas centradas en los años 2030, 2060 y 2090. Los modelos son: Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCC, Canadá), Centro Hadley (HAD, Inglaterra), y Laboratorio de Dinámica de Geofísica de Fluidos (GFD, Estados Unidos). Los escenarios “A” son de elevadas emisiones de gases de efecto invernadero; los “B”, de bajas emisiones. La línea gruesa indica el promedio de los seis modelos-escenarios. (Esquema: E. Llanderal. Modificado de Sáenz-Romero *et al.* 2010)

Al comparar el período 1961-1990 con el de 1991-2015, la estimación basada en estaciones meteorológicas (lo que se conoce como “datos duros”), y no en una proyección, sugieren que el calentamiento en México ha significado, en promedio, un incremento de 0.66 °C (Castellanos-Acuña *et al.* 2018). Por tanto, es altamente probable que las proyecciones a futuro del IPCC se hagan realidad, e incluso lleguen a superarse.

Recientemente se han generado nuevos escenarios de acumulación de gases de efecto inver-

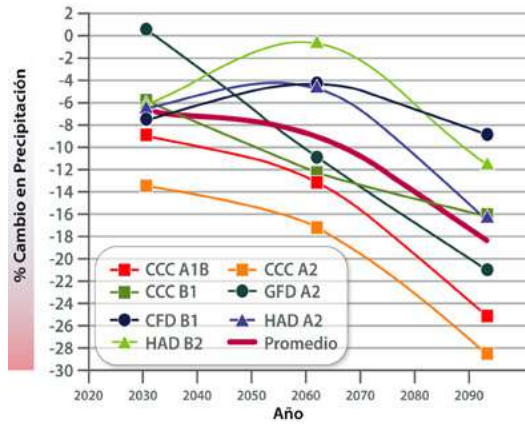


Figura 228. Proyección de cambio de la precipitación total anual, expresado como porcentaje respecto al período de referencia 1961-1990, de seis modelos-escenarios de circulación climática global, ajustados para un modelo climático “spline” para México, para las décadas centradas en los años 2030, 2060 y 2090. Los modelos son: Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCC, Canadá), Centro Hadley (HAD, Inglaterra), y Laboratorio de Dinámica de Geofísica de Fluidos (GFD, Estados Unidos). Los escenarios “A” son de elevadas emisiones de gases de efecto invernadero; los “B”, de bajas emisiones. La línea gruesa indica el promedio de los seis modelos-escenarios. (Esquema: E. Llanderal. Modificado de Sáenz-Romero *et al.* 2010)

nadero, conocidos como RCPs, por su acrónimo en inglés (Representative Concentration Pathway), los cuales no solo abarcan series temporales de emisiones, sino contemplan su concentración en la atmósfera y su forzamiento radiativo total al año 2100, en relación con el de 1750. Estos incluyen la gama completa de GEI, además de aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cobertura terrestre, y una variedad de políticas climáticas del siglo XXI, encaminadas a una mitigación.

Esencialmente, los modelos de emisiones de gases de efecto invernadero usados en las figuras 236 y 237, son equivalentes a los recientes escenarios RCPs de la siguiente manera: escenarios B ≈ RCP 4.5 watts/m²; escenarios A ≈ RCP 8.5 watts/m² (Moss *et al.* 2010 y Van-Ypersele 2010).

Impacto del cambio climático en la distribución del hábitat climático propicio para los ecosistemas forestales

Debido al aumento de temperatura y alteración en los patrones de precipitación, los modelos de vegetación que predicen cambio climático, proyectan que habrá un desacoplamiento entre las comunidades vegetales y el clima de los sitios que ocupan; es decir, el hábitat climático que les es propicio, ya que éste ocurrirá en un lugar diferente a los sitios actualmente ocupados, se reducirá en superficie, o simplemente desaparecerá (Crookston *et al.* 2010, González *et al.* 2010, Rehfeldt *et al.* 2012, Gómez-Pineda *et al.* 2020).

Para México, las proyecciones sugieren que los biomas con mayor pérdida de hábitat climático, hacia finales de siglo, serán el bosque de niebla (bosque mesófilo de montaña) (-96 %) y el bosque de coníferas del Eje Neovolcánico (-92 %) (Rehfeldt *et al.* 2012). Tal reducción se debe al desplazamiento del hábitat climático hacia mayores altitudes (Téllez-Valdés *et al.* 2006, Gomez-Mendoza y Arriaga 2007, Gómez-Díaz *et al.* 2011, Sáenz-Romero *et al.* 2012a y 2015, Gutiérrez y Trejo 2014, Pérez-Miranda *et al.* 2014) que, en el caso de algunas coníferas de gran importancia económica y ecológica, podría ser de 300 a 500 m hacia arriba, para la década centrada en el año 2060 (Gómez-Pineda *et al.* 2019).

En respuesta al cambio climático, varias especies forestales han empezado a migrar sus poblaciones por medios naturales, hacia latitudes o altitudes mayores, tratando de seguir el clima al cual están adaptadas (Beckage *et al.* 2008, Kelly y Gulden 2008, Lenoir *et al.* 2008, Chen *et al.* 2011, Ettinger *et al.* 2011 y Astudillo-Sánchez *et al.* 2017). Sin embargo, la tasa observada de migración natural de individuos de especies forestales, es más lenta que la velocidad a la que

se mueve el clima que les es propicio, para el cual se han adaptado mediante procesos evolutivos (Parmesan 2006, Menéndez 2007, Peñuelas *et al.* 2007, Lenoir *et al.* 2008, Jump *et al.* 2009 y Rehfeldt *et al.* 2012).

Lenoir *et al.* 2008, compararon la distribución altitudinal de 171 especies de plantas forestales entre dos períodos (1905–1985 y 1986–2005) en los Alpes franceses, llegando a la conclusión de que el incremento en la temperatura había producido un desplazamiento ascendente de su rango de distribución altitudinal, especialmente en el rango de elevación óptima (punto de máxima presencia de la especie), en promedio de 29 m/década. Las especies más veloces en reubicarse fueron aquellas de ciclo biológico cortos (hierbas, helechos y musgos), mientras que los árboles y arbustos, con ciclos de vida más largos, mostraron desplazamientos altitudinales mucho menores. Por lo tanto, son objeto de mayor amenaza por el impacto del cambio climático, debido a que no pueden reubicarse con la suficiente rapidez. Estos cambios en la distribución, sin duda alguna, producirán ecosistemas forestales muy diferentes de los que se observan en la actualidad (Moore y Allard 2008).

Un estudio similar ofreció evidencias sobre el hecho de que, la flora alpina se ha estado extendiendo hacia las cimas de las montañas de Suiza desde 1940. El movimiento ascendente de las poblaciones de árboles se ha observado también en Siberia, en las Montañas Rocosas Canadienses y en Nueva Zelanda.

Por otra parte, el desplazamiento hacia el norte se ha documentado en Suecia y Canadá oriental (Parmesan 2006). Los bosques de niebla de altas elevaciones en las zonas tropicales húmedas, también están mostrando señales de desplazamiento hacia mayores altitudes, aunque no todos los componentes de estos ecosistemas

parecen estar desplazándose a la velocidad necesaria para mantenerse acoplados al clima que les es propicio (Jones *et al.* 2008 y Moore y Allard 2008).

En Alaska central, la degradación del permafrost (porción del suelo que permanece congelado a una profundidad variable) es generalizada y está produciendo rápidamente grandes cambios en el ecosistema, desde los bosques de abedul hasta los terrenos pantanosos y ciénagas forestales; las cuales se están convirtiendo en pantanales pobres y carentes de bosque, como consecuencia del calentamiento y del aumento en el nivel de las aguas (Vitt *et al.* 2000 y Jorgenson *et al.* 2001).

El enebro amarillo (*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) Spach), usualmente una especie sumamente resistente y con capacidad de recuperación, está desapareciendo en unas 200,000 ha de Alaska y de Canadá, ya que en la primavera, el derretimiento temprano expone las raíces poco profundas, a roturas y muerte producidas por las heladas de primavera (Hennon y Shaw 1997, Hennon *et al.* 2008 y Moore y Allard, 2008).

El álamo temblón (*Populus tremuloides* Michaux) de Canadá occidental ha evidenciado una disminución en su productividad y muerte regresiva, tras las graves sequías de 2001–2003, con efectos observables en los años que siguieron (Hogg y Bernier 2005, Hogg *et al.* 2008, Moore y Allard 2008, Rehfeldt *et al.* 2009).

Como consecuencia de las sequías, en los bosques de España y otros países del sur de Europa, se ha observado una disminución de hayas (*Fagus sylvatica* Linnaeus) en su límite inferior altitudinal (Jump *et al.* 2006 y Moore y Allard 2008). En Italia, España y Portugal los robles autóctonos están disminuyendo debido al calentamiento y ataque del fitopatógeno *Phytophthora* sp. (Resco de Dios *et al.* 2007).

En el norte de Australia, las montañas con gran biodiversidad tropical, están pobladas con especies endémicas de cortos radios de acción y alta especialización; debido al cambio climático, se están acelerando las extinciones, y los climas y hábitats se están modificando (Williams *et al.* 2003 y Moore y Allard 2008).

Moore y Allard (2008) presentaron evidencia, teórica, que demuestra que el cambio climático está produciendo impactos enormes y generalizados en la sanidad forestal de todo el mundo y, como consecuencia, en el sector forestal. Con toda claridad, si estos cambios climático-ecológicos están siendo detectados desde ahora, cuando el planeta ha sufrido un aumento de temperatura promedio de solo 0,74 °C, se puede suponer que ocurrirán muchos más impactos en las especies y ecosistemas como respuesta al aumento de temperatura pronosticado por el IPCC.

En México, recientemente, se empezaron a documentar casos de declinación forestal debido al estrés por sequía en poblaciones localizadas en el límite inferior de la distribución altitudinal de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham. (Flores-Nieves *et al.* 2011) y de *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Lopez-Toledo *et al.* 2017), los cuales presentan severa defoliación y malas condiciones de salud (figuras 229 y 230).

Las plántulas jóvenes son particularmente vulnerables al incremento del estrés por sequía. En México se ha observado en los bosques de *Abies religiosa* (oyamel) de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, una severa falta de reclutamiento de plántulas jóvenes de oyamel, aparentemente debido a que abril, ahora, es tan seco como siempre, pero mucho más cálido, lo que causa gran mortalidad entre plántulas recién emergidas en temporada de lluvias del año previo (Guzmán-Aguilar 2020).



Figura 229. Defoliación de *Pinus pseudostrobus*, aparentemente por estrés por sequía inducida por el cambio climático. Sitio ubicado en el límite altitudinal inferior de la distribución de la especie (su límite xérico; aproximadamente 2300 m de altitud), en la Meseta Purépecha, Michoacán. (Fotografía: C. Sáenz)



Figura 230. Árbol de *Pinus pseudostrobus* recientemente muerto aparentemente por estrés por sequía inducida por el cambio climático. El individuo estaba creciendo sobre un suelo muy pobre lo que lo hacía más vulnerable al estrés por sequía. (roca volcánica del derrame de lava del volcán Parícutín, Michoacán). (Fotografía: C. Sáenz)

El ritmo de estos cambios de distribución de la vegetación no será determinado solamente por las temperaturas, sino que dependerá de muchos factores (Shugart *et al.* 2003, y Monserud *et al.* 2008), por ejemplo:

- El índice de dispersión de semillas en nuevas regiones aceptables desde el punto de vista climático (condiciones de humedad, características del suelo y disponibilidad de nutrientes).
- La competición entre especies.
- La posible intervención humana para promover el movimiento de especies.
- Los cambios en regímenes de perturbación.

En regiones donde la temperatura es un factor limitante, la productividad forestal y la diversidad de especies eventualmente pueden aumentar, si el incremento de la temperatura viene acompañado de un incremento de las precipitaciones (Das 2004); esto generará un incremento en la productividad forestal, al menos temporal en aquellas poblaciones de especies forestales que actualmente se encuentran creciendo fuera de su hábitat climático óptimo; es decir, que están

creciendo en un sitio más frío que el clima para el cual están adaptadas. Eso ocurre en el límite más frío del bosque boreal, donde las poblaciones forestales han avanzado siguiendo la retracción de la última glaciación.

El cambio climático afectará los modelos de producción y comercialización de los productos forestales que se verán alterados por las especies que crecerán más en regiones de mayores altitudes y latitudes, las cuales entonces serán más competitivas. Por el contrario, los mercados se podrían saturar debido al aumento de madera disponible, derivada de la mortalidad masiva arbórea, producida por infestaciones de plagas, tal como se ha experimentado con el descortezador *Dendroctonus ponderosae* Hopkins en las montañas canadienses (Moore y Allard 2008).

Es posible que el cambio climático incremente la producción maderera, al menos temporalmente y abata los precios del mercado; aunque el aumento de la producción no se dará de manera uniforme en todo el mundo (Pérez-García *et al.* 2002).

Las perturbaciones como el fuego, sequía, deslizamientos, invasiones de especies, brotes de insectos, enfermedades y tormentas (huracanes, tormentas convectivas y tormentas de hielo), influyen en la composición, estructura y función de los bosques (Dale *et al.* 2001).

Se espera que el cambio climático impactará en la vulnerabilidad de los bosques ante las perturbaciones y también afectará la frecuencia, intensidad, duración y ritmos de ellas; por ejemplo, aumentarán los materiales combustibles y las temporadas de peligro de incendios serán más largas (Mortsch 2000 y Moore y Allard, 2008). Los impactos negativos en la función productiva de los ecosistemas forestales, a su vez repercutirán en las economías locales (FAO 2005).

A pesar de la evidencia, se cree que las poblaciones de especies forestales lograrán adaptarse a los cambios del clima, puesto que cuentan con los mecanismos necesarios de plasticidad fenotípica y de recuperación (Tardieu y Simonneau 1998 y Moran *et al.* 2017); pero, en un ambiente que se vuelve más seco y cálido a una velocidad sin precedentes, estos mecanismos pueden ser insuficientes para que las poblaciones forestales logren adaptarse (Mátyás *et al.*, 2010 y Alfaro *et al.* 2014).

Cambio climático e insectos forestales

Por su naturaleza de organismos de sangre fría, los insectos pueden responder rápidamente a sus ambientes climáticos nuevos; por sus tiempos cortos de reproducción, alta movilidad y altos índices de reproducción, es probable que respondan con mayor rapidez al cambio climático que los organismos con ciclos biológicos más largos, como los árboles (Menéndez 2007).

Los insectos responden al calentamiento en todas las formas esperadas; desde cambios en

su distribución altitudinal y latitudinal, modificaciones en la duración del ciclo biológico (Menéndez 2007).

Algunos impactos del cambio climático podrían ser beneficiosos en la sanidad forestal; por ejemplo, el aumento de mortalidad de larvas durante las sequías, debido al endurecimiento del tejido vegetal del que se alimentan o la muerte de insectos cuando aumenta la cubierta de nieve por inusual ola de frío; sin embargo, muchos impactos serán perjudiciales a la sanidad forestal; (p. ej., índices acelerados de desarrollo de insectos y nuevas expansiones del radio de acción) (Ayes y Lombardero 2000, Raffa *et al.* 2008 y Jactel *et al.* 2019).

Hay evidencias en los registros fósiles de que los episodios históricos de rápido calentamiento global, estuvieron acompañados de mayores niveles de insectos herbívoros (Currano *et al.* 2008). Estas evidencias, al igual que las observaciones en los bosques de abedules de Europa del norte (Kozlov 2008 y Wolf *et al.* 2008), confirman las proyecciones de que incrementará la tendencia actuales de presencia de insectos y herbivoría (De Lucia *et al.* 2008; Moore y Allard, 2008).

Se cree que el cambio climático alterará la relación plaga-ambiente y con sus enemigos naturales, competidores y mutualistas, induciendo transformaciones en la estructura y composición de las poblaciones naturales (Stireman *et al.* 2005).

Desfasamiento adaptativo entre poblaciones forestales, clima propicio e insectos y patógenos

El desfasamiento adaptativo entre la ubicación actual de las poblaciones forestales y la nueva ubicación del clima que les sea propicio, expondrá a las poblaciones forestales a sequías cada vez más frecuentes, severas, prolongadas y cálidas.

das (Garrett *et al.* 2006 y Allen *et al.* 2015) que, en el contexto del cambio climático, serán el factor de estrés fisiológico más importante, que gradualmente las debilitará y las hará más susceptibles al ataque de insectos y patógenos (Ayres y Lombardero 2000, Moore y Allard, 2008, McDowell *et al.* 2011, Ryan 2011, He *et al.* 2014 y Allen *et al.* 2015).

Se argumenta que las sequías más calientes benefician a los defoliadores y descortezadores (Jactel *et al.* 2019). Un ejemplo claro es la pérdida de presión hidráulica en los vasos que conducen la savia, lo que reduce la capacidad del árbol de expulsar un insecto descortezador que perfora la corteza y llega al cambium.

Alrededor del mundo y a escala regional, se han documentado episodios de muerte forestal súbita, que a menudo involucran brotes de insectos y patógenos, (Moore y Allard 2008, Rehfeldt *et al.* 2009, Allen *et al.* 2010, McDowell *et al.* 2011, Agne *et al.* 2017 y Wyka *et al.* 2018), incluyendo México (Sáenz-Romero *et al.* 2020). Muchos de esos brotes de plagas y enfermedades coinciden con el límite xérico de la distribución altitudinal (límite altitudinal inferior) o latitudinal (límite sur en el hemisferio norte) de las especies forestales, donde las sequías, ya de por sí limitantes, se ven agravan por el cambio climático (Moore y Allard 2008, Mátyás *et al.* 2009 y Mátyás 2010).

En México se han documentado ataques por insectos que se relacionaron con variaciones de clima; por ejemplo, la avispa agalladora *Andricus quercuslaurinus* Melika y Pujade-Villar en *Quercus affinis* Scheidw., en Hidalgo (Melika *et al.* 2009); los chupadores de savia *Ocoaxo assimilis* (Walker) y *O. cardonai* Castro-Valderrama en *Pinus patula* Schl. et Cham. y *P. oaxacana* Mirov en Puebla (Cid *et al.* 2020), los descortezadores de *Pinus greggii* Engelm., en Querétaro; y los defoliadores *Zadiprion falsus* Smith en *Pinus durangensis* Martínez, en

Chihuahua (Sáenz-Romero *et al.* 2020). Aunado a esto, se proyecta que el incremento en la temperatura puede promover aún más la ocurrencia de defoliadores en Oaxaca, Guerrero y Chiapas, así como de descortezadores en Chihuahua, Michoacán, Estado de México, Nuevo León y Jalisco (Sosa-Díaz *et al.* 2018).

Los cambios de temperatura y humedad en los insectos forestales

La magnitud de los impactos de la temperatura en los insectos plaga cambiará entre especies, dependiendo de su ambiente, ciclo biológico y capacidad de adaptación (Bale *et al.* 2002). Las especies polípagas ocupan diferentes hábitats en una amplia gama de latitudes y altitudes, y muestran alta plasticidad fenotípica y genotípica; por tanto tienen menor probabilidad de ser afectadas negativamente por los cambios climáticos, que las especies que se establecen en microhábitats estrechos (Bale *et al.* 2002, Thomas *et al.* 2004 y Moore y Allard, 2008).

En el Reino Unido muchas especies de mariposas especialistas están disminuyendo su abundancia, especialmente las forestales; mientras que las especies de las zonas inundables y algunas generalistas están aumentando (Thomas 2005). Treinta y tres de las 46 especies de mariposas inglesas han disminuido debido a pérdidas de hábitat en el borde septentrional de su ámbito de acción; el 38% de las especies especialistas está disminuyendo, mientras el 50% de especies generalistas móviles (plagas) está aumentando (Warren *et al.* 2001).

Franco *et al.* 2006, ilustraron la importancia del aumento del clima y de la pérdida de hábitats en las décadas recientes, al estudiar las extinciones locales de especies de mariposas en la zona norte del Reino Unido. De igual manera, Rasmann *et al.* 2014, encontraron que a

mayor altitud, hubo menor defoliación, debido principalmente, a que las defensas de las plantas (dureza de hojas y compuestos flavonoides), tienden a ser mejores con la altura, mientras que los metabolitos secundarios no mostraron una tendencia clara con la elevación.

El aumento de las temperaturas de verano generalmente acelera el índice de desarrollo de los insectos y aumenta su capacidad reproductiva, mientras las temperaturas más altas en invierno, aumentan la supervivencia invernal, sobre todo de los estadios larvales (Ayres y Lombardero 2000, Logan *et al.* 2003, Raffa *et al.* 2008 y Jactel *et al.* 2019). El mejor ejemplo de estos impactos combinados es el del descortezador *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, que en el oeste de Canadá llegó a proporciones epidémicas gigantescas durante más de 17 años; en los años sucesivos de inviernos no muy fríos disminuyó la mortalidad de larvas en las épocas de hibernación, lo que generó la destrucción masiva de los pinos de la región, particularmente de *Pinus contorta* Douglas (Logan *et al.* 2003 y Robertson *et al.* 2009).

La disminución de la capa de nieve, asociada con temperaturas invernales más altas, puede disminuir la supervivencia invernal de insectos forestales, que invernan en la cubierta vegetal muerta, donde usualmente están protegidos debajo de la nieve, lo que les permite soportar temperaturas potencialmente letales (Ayres y Lombardero 2000).

Menéndez *et al.* 2006 y Moore y Allard 2008, observaron que la riqueza de especies de insectos está aumentando en los hábitats ya no tan fríos del hemisferio norte; en contraste, las especies del Reino Unido están disminuyendo rápidamente en el sur (Conrad *et al.* 2004).

En un estudio sobre la mariposa del espino blanco (*Aporia crataegi* Linnaeus) en las Sierras

de Guadarrama de España central, Merrill *et al.* 2008, sugieren que las limitaciones térmicas, y no las interacciones bióticas, restringen la distribución de estos insectos en su borde sur.

Deutsch *et al.* 2008, sugieren que los mayores riesgos de extinción de insectos, producidos por el cambio climático se darán en las zonas tropicales. El calentamiento en los trópicos, aunque es menor proporcionalmente que a mayores latitudes, podría causar efectos desastrosos, porque los insectos tropicales tienen menores intervalos de sostenibilidad climática, comparados con las especies de latitudes altas.

Andrew y Hughes 2005, no observaron gradientes latitudinales de riqueza de especies de chinches sobre acacias del oriente de Australia, pero notaron que con el avance del cambio climático, un desplazamiento de especies tropicales hacia mayores altitudes, aumentaría la diversidad de estos insectos en las zonas templadas.

Algunos insectos plaga están asociados con hongos simbióticos. En algunos casos los hospedantes y sus simbioses resultan afectados de la misma forma por el cambio climático, mientras que en otros, pueden ser afectados de forma asimétrica, disociando la simbiosis (Six, 2007).

En México el impacto del cambio climático en la frecuencia e intensidad de los brotes de insectos pareciera menos evidente, principalmente porque no hay suficientes datos a largo plazo para hacer los análisis correspondientes (falta de una "línea base" de referencia) (Flores-Nieves *et al.* 2011, López-Toledo *et al.* 2017 y Sáenz-Romero *et al.* 2020).

En los últimos 20 años, el descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford ha mantenido infestaciones severas y continuas en los bosques de *Pinus hartwegii* Lindley del área natural protegida "Nevado de Colima", Jalisco; aparentemente porque los árboles están bajo ma-

yor estrés por sequía de los meses marzo-mayo, en los que aumenta la temperatura sin iniciar la temporada de lluvias (figura 231). En estas infestaciones es notable la reducida presencia de enemigos naturales y de competidores como *Ips bonansea* (Hopkins).

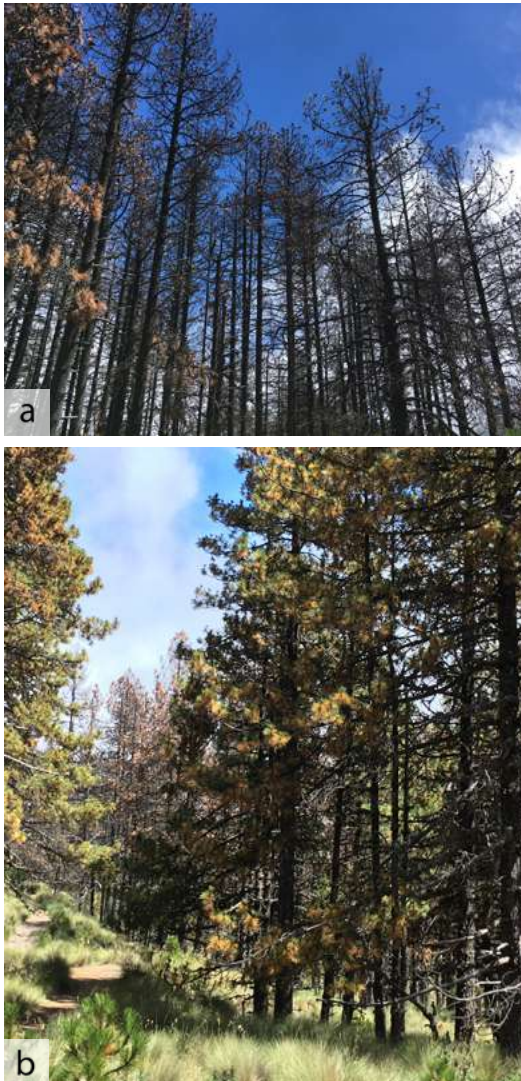


Figura 231. Árboles de *Pinus hartwegii* muertos (a) y (b) por ataque del descortezador *Dendroctonus adjunctus*. Nevado de Colima, Jalisco. (Fotografía: C. Sáenz)

Distribución de insectos

Como ya se mencionó; el clima tiene un papel fundamental en la definición de límites de distribución de insectos. Los cambios en el clima, modifican su expansión en altitudes y latitudes y desaparecen de las áreas que se vuelven insostenibles climáticamente (Parmesan 2006, Menéndez 2007 y Moore y Allard 2008).

Parmesan y Yohe 2003, informaron que en más de 1,700 especies del hemisferio norte se habían observado desplazamientos significativos, que promediaban los 6.1 km por década hacia los polos, o 6.1 m por década de desplazamiento altitudinal ascendente. Parmesan *et al.* 1999 encontraron que 22 de las 35 especies de mariposas europeas no migratorias, se han desplazado hacia los polos de 35 a 240 km durante el último siglo. En el centro de España, entre 1967–2005, los límites altitudinales inferiores de distribución de 16 especies de mariposas, incrementaron al menos 212 m hacia arriba, aumento atribuido al incremento promedio de 1.3 °C (Wilson *et al.* 2005). Este incremento en altitud se confirmó en un nuevo estudio de Wilson *et al.* 2007; los autores reconocieron que las comunidades de mariposas de la Sierra de Guadarrama en España central tuvieron colonizaciones ascendentes de aproximadamente 293 m.

Con el cambio climático se asocia el calentamiento de masas de aire que se desplazan hacia las latitudes mayores, con lo que se favorece la dispersión de insectos a nuevas regiones; un ejemplo es la reciente afluencia de la palomilla dorso de diamante, *Plodia interpunctella* (Hubner), a las islas Svalbard del ártico de Noruega, 800 km, al norte de su fuente probable de origen, en la Federación de Rusia (Coulson *et al.* 2002).

Las plagas forestales también se están manifestando fuera de los rangos tradicionales de infestación a intensidades nunca antes observa-

das. Dos ejemplos de especies de plagas forestales que han respondido a los cambios climáticos alterando su distribución son:

- La gran infestación del descortezador del pino *Dendroctonus ponderosae*, que se ha estado desplazando durante varios años al norte y al este de British Columbia y Alberta en Canadá (Moore y Allard 2008 y Robertson *et al.* 2009).
- En el bosque subártico de abedules del norte de Escandinavia, Jepsen *et al.* (2008) documentaron expansiones recientes de dos palomillas geométridas; la falena invernal, *Operophtera brumata* (Linnaeus) y la falena otoñal *Epirrita autumnata* (Borkhausen). La primera, menos tolerante al frío, se ha desplazado al norte durante 15 a 20 años, en áreas previamente dominadas por *E. autumnata*, la cual se ha desplazado a regiones aún más frías de las que previamente habitaba. Ambas especies están generando infestaciones severas que afectarán profundamente el ecosistema de abedules subárticos.

Es posible que las especies capaces de responder al cambio climático, aumentando su radio de acción, se beneficiarán de la falta de competidores y enemigos naturales en sus nuevos ambientes, ya que su expansión no será correspondida inmediatamente por la de sus enemigos naturales; tal es el caso de la falena procesionaria del pino (Battisti 2004).

Los cambios observados y predichos en abundancia de especies, en sus modelos fenológicos y en la distribución, probablemente modificarán la interacción de las especies al interior de las comunidades (Menéndez 2007), y afectarán el comportamiento de las poblaciones en su actual área de distribución (Coley 1998).

Cada especie responderá a los cambios climáticos de forma diferente y en horizontes temporales heterogéneos, por lo que hay posibilidades

de que algunas relaciones altamente evolucionadas sufran serios impactos (Harrington *et al.* 1999). Los cambios en la distribución y radio de acción interfieren las relaciones de comunidad, dado que las especies en expansión empezarán a interactuar con otras especies en nuevos ambientes cuya interacción previa puede haber sido limitada (Menéndez 2007).

La distribución altitudinal del defoliador del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Schiffermüller) en la Sierra Nevada del sudeste español, por ejemplo, le ha permitido encontrar nuevos hospedantes, como el endémico pino silvestre (*Pinus sylvestris* var. *nevadensis* H. Christ) (Menéndez 2007). Los ataques cada vez mayores de *Thaumetopoea pityocampa* podrían causar efectos desastrosos en esta especie montañosa.

Cambios en la fenología

La fenología es la temporalidad en las actividades estacionales de plantas y animales, como el florecimiento o la reproducción. Ya que en mucho, depende de la temperatura, el impacto en la fenología es uno de los cambios más esperados, y más evidentes de observar, analizar y documentar en los organismos, desde las plantas hasta los vertebrados (Walther *et al.* 2002, Root *et al.* 2003 y Gordo y Sanz 2005).

Las evidencias de cambios fenológicos en numerosas especies de plantas y animales, como consecuencia del cambio climático, son abundantes y crecientes (Fitter y Fitter 2002, Visser y Both 2005 y Menzel *et al.* 2008). En general, las actividades de verano se anticipan desde la década de 1960 (Walther *et al.* 2002) y han sido documentadas en grupos de plantas, animales terrestres, animales marinos y de agua dulce, en casi todos los continentes y en los principales océanos (Parmesan 2006).

Como el ciclo biológico de los insectos depende de las temperaturas, con el aumento se esperará que se inicien más temprano, y probablemente facilitarán mayores períodos de actividad en ambos extremos de sus temporadas (Harrington *et al.* 2001, Moore y Allard 2008, Raffa *et al.* 2008, Sturrock *et al.* 2011 y Jactel *et al.* 2019). Los insectos concluirán con mayor rapidez sus etapas larvales y se volverán adultos en menor tiempo. Los miembros del orden Lepidoptera son, de nuevo, el mejor ejemplo de cambios fenológicos:

- La mitad de las mariposas en el Reino Unido, han anticipado su primera aparición (Roy y Sparks 2000).
- Salama *et al.* 2007 reportaron un aumento en las variedades de palomillas en la red de trampas de Rothamsted, y su fenología alterada sugiere que una parte de la responsabilidad se debe al cambio climático.
- La primera aparición de 17 especies españolas se ha anticipado de 1 a 7 semanas en solo 15 años (Stefanescu *et al.* 2003).
- El 70% de 23 especies de mariposas en California (EUA) ha anticipado su primer vuelo, aproximadamente ocho días por década (Forister y Shapiro 2003).
- Gordo y Sanz (2005) investigaron el impacto climático en cuatro especies mediterráneas de insectos (una mariposa, una abeja, una mosca y un escarabajo) y observaron que todas las especies cambiaron la fecha de su primera aparición en los últimos 50 años.
- Parmesan y Yohe (2003) calcularon que más de la mitad (59%) de 1,598 especies investigadas presentaron cambios medibles en sus fenologías y/o distribución en los últimos años; calcularon un aumento promedio de eventos de anticipación de verano en 2.3 días/década.
- Root *et al.* (2003), en un estudio cuantitativo similar, calcularon una anticipación de 5.1 días

por década. Parmesan (2007) investigó la discrepancia entre el anterior (2.3 días/década) y éste cálculo observando, que una vez que se había calculado las diferencia entre los estudios en cuanto a la selección de criterios para la incorporación de los datos, ambos estudios eran congruentes, con una anticipación general en verano de 2.3 a 2.8 días/década.

- Gordo y Sanz 2005 y Forkner *et al.* 2008, ponen en evidencia que las disociaciones entre la fenología de los insectos y de las plantas (debido a sus diferentes respuestas a los cambios en la temperatura) tenderán a alterar la sincronización entre insectos y sus recursos y pondrán en peligro las especies que tengan mayor dependencia de su hospedante.
- Visser y Both 2005 observaron que los insectos han anticipado con mayor rapidez su fenología (incubación temprana de los huevos y anticipación de la fecha de regreso de la migración), que sus hospedantes (brotes de crecimiento y floración). También han adelantado su período de mayor abundancia más que sus depredadores (fecha de puesta y arribo de aves migratorias).

Por ejemplo, la desincronización entre las mariposas de invierno (*Operophtera brumata*), la eclosión y el surgimiento de brotes en encinos hospedantes ha producido una discrepancia entre las plagas y uno de sus depredadores, el pájaro carbonero común (*Parus major* Lineus), que alimenta a sus crías con las larvas (van Asch *et al.* 2007a y b).

Estos cambios fenológicos, inducidos por el clima, están produciendo gran cantidad de desajustes entre especies interrelacionadas, que a su vez influyen en la estructura, composición y diversidad de la comunidad. Esto presenta un reto de manejo próximo a resolver.

Opciones de manejo

Además de las opciones de manejo para el control de plagas descritas en los capítulos previos de este libro, una opción adicional (y controversial) en relación al cambio climático, sería reacoplar las poblaciones de especies forestales al clima que les es propicio (en el cual evolucionaron y se adaptaron); este clima ocurrirá en un lugar distinto al del presente (a mayores latitudes y/o altitudes). Este recoplamiento se ha llamado **migración asistida**:

- **Migración** por ser un desplazamiento de las poblaciones forestales.
- **Asistida** porque requieren ayuda humana.

Esto se justifica por la muy probable incapacidad de las poblaciones forestales para migrar a la velocidad necesaria por medios naturales, a los sitios a los que se está desplazando el clima al cual están adaptadas.

La migración asistida consistiría en recolectar semillas de la especie forestal de interés, producir planta en vivero, y reforestar en donde el clima que le es propicio esté proyectado a un futuro cercano (digamos, entre los años 2030 y 2060). No debería plantarse en un sitio en donde se proyecta el clima propicio en un tiempo muy lejano (por ejemplo, 2090), ya que el clima tan futuro aún no ocurre en el presente, y se corre el riesgo de daños severos por heladas en las plántulas recién plantadas (Sáenz-Romero *et al.* 2010, Sáenz-Romero 2014 y Sáenz-Romero *et al.* 2016).

La migración asistida como medida de adaptación a los efectos proyectados del cambio climático, ha sido adoptada y se lleva a cabo a gran escala comercial en la Provincia de British Columbia, Canadá, usando diferentes especies (O'Neill *et al.* 2017), una de ellas es *Larix occidentalis* Nut. (figura 232).



Figura 232. Plantación comercial aplicando migración asistida de *Larix occidentalis* (árboles con hojas amarillas, en el Otoño; originados de semilla colectada a una altitud menor, en sitios más secos), plantados en un sitio a mayor altitud (más frío y húmedo), en donde originalmente crecía *Pinus contorta*. Nkusp, British Columbia, Canadá.

(Fotografía: C. Sáenz)

En México, se han llevado a cabo ensayos de migración asistida en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, utilizando *Pinus pseudostrobus*, *P. leiophylla* Schl. et Cham. y *P. devoniana* Lindl. Se plantaron cuatro procedencias de cada una de las tres especies, en tres altitudes, 2,100, 2,400 y 2,700 m. Para evitar tener un efecto confundido del tipo de suelo, se construyeron cajones de madera que se rellenaron con un mismo tipo de suelo de esos tres sitios (Castellanos-Acuña *et al.* 2015) (figura 233).

Otro ensayo de migración asistida con oyamel (*Abies religiosa*), en el área núcleo de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (Carbajal-Navarro *et al.* 2019), con especies de bosque de niebla (García-Hernández *et al.* 2019) y con la especie amenazada *Magnolia vovidesii* A. Vázquez, Domínguez-Yescas y L. Carvajal (García-Hernández y Toledo-Aceves 2020).

Para los pinos y el oyamel, los ensayos muestran que es factible un movimiento altitudinal hacia arriba, de la fuente de semilla al sitio de planta-

ción, de hasta 400 m, sin tener efectos negativos severos para la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas (Castellanos-Acuña *et al.* 2015 y Carbajal-Navarro *et al.* 2019).



Figura 233. Ensayo de migración asistida altitudinal con tres especies de pino (*Pinus pseudostrobus*, *P. leiophylla* y *P. devoniana* = *P. michoacana*), en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. (Fotografía: C. Sáenz)

En el caso del oyamel, sin embargo, es indispensable el uso de arbustos nodriza (figura 234), para proteger las plántulas de temperaturas extremas en los sitios ensayados a más de 3,000 m de altitud. Se plantaron con éxito procedencias de oyamel desplazándolas hasta 450 m, a mayor altitud que el sitio de origen de la semilla; los arbolitos estuvieron bajo la sombra de arbustos (*Baccharis conferta* Kunth), que sirvieron de nodriza (Carbajal-Navarro *et al.* 2019).

Para *Magnolia vovidesii*, se ensayó con éxito un movimiento altitudinal de hasta 600 m, incluso más allá del límite altitudinal superior al de la distribución natural (García-Hernández y Toledo-Aceves 2020).

La recomendación general sería migrar altitudinalmente 300 m hacia arriba (entre el sitio de colecta de semilla y el sitio de plantación), a fin de compensar el incremento de la temperatura media anual de 1.5 °C proyectado para México en la década centrada en el año 2030 (considerando una tasa de cambio de temperatura de 0.5 °C por cada 100 m de diferencia altitudinal; Sáenz-Romero *et al.* 2010).

Otro criterio de decisión, sería usar zonas altitudinales, del orden de 300 m de intervalo; para ello se debe recolectar semilla de una zona altitudinal determinada, producir planta en vivero, y plantar en la zona altitudinal inmediata superior.

En México, se han definido zonas altitudinales para *Pinus oocarpa* Schiedel ex Schldl. (Sáenz-Romero *et al.* 2006), *P. devoniana* (Sáenz-Romero y Tapia-Olivares 2008), *Lupinus elegans* Kunth, (Soto-Correa *et al.* 2012), *P. patula* (Ruiz-Talonia *et al.* 2014), *P. hartwegii* (Loya-Rebollar *et al.* 2013), *P. pseudostrobus* (Sáenz-Romero *et al.* 2012b), y *Abies religiosa* (Ortiz-Bibian *et al.* 2017).

La migración asistida descrita tendría la finalidad de tener árboles sanos en el futuro (por encontrarse realineados al clima propicio), lo que reduciría su vulnerabilidad al ataque de plagas y enfermedades.



Figura 234. Ensayo de migración asistida de *Abies religiosa* (oyamel), en el área Núcleo de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. El Sr. Francisco Ramírez-Cruz, excomisariado del Ejido La Mesa, señala una plántula de oyamel migrada. (Fotografía: C. Sáenz)

REFERENCIAS POR CAPÍTULO Y SUBCAPÍTULO

Introducción

- Branham, S. J. and R. C. Thatcher (eds.) 1985. Integrated Pest Management Research Symposium: The Proceedings. *Gen. Tech. Rep.* 50-56. Southern Forest Experiment Station, Forest Service, USDA. E. U.
- Coulson, R. N. and H. A. Witter. 1984. *Forest Entomology: Ecology and Management*. Wiley & sons. New York, United States.
- Coulson, R. N. and H. Saarenmaa. 2011. Integrated Pest Management of the Southern Pine Beetle. En: Coulson R. N y K. D. Lepzig (eds.) *Southern Pine Beetle II*. Southern Research Station. Gen. Tech. Rep. SRS-140 Asheville, NC. E. U.
- FAO. 1966. Report of the FAO *Symposium on Integrated Pest Control*. Rome, Oct. 11-15, 1965. Rome, Italy, FAO-UN, 40p.
- Geier, P. W. and L. R. Clark. 1961. An ecological approach to pest control. *Proc. Tech. Meeting Intern. Union for Conserv. of Nature and Natural Res.*, 8th, 1960, Warsaw, 10-18.
- Geier, P. W. 1966. Management of insect pests. *Annual Review of Entomology* 11: 471-490.
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology* 43:243-270.
- Kogan, M. y M. Shenk. 2002. Conceptualización del manejo integrado de plagas en escalas espaciales y niveles de integración más amplios. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 65: 34-42.

Marco Conceptual y Desarrollo del Manejo Integrado de Plagas Forestales (MIPF)

- Abrol, D. P. (ed). 2014. *Integrated Pest Management, current concepts and ecological perspective*. Elsevier A. P. San Diego, Ca. E. U.
- Alfaro, R., A. Battisti, A. Carroll, R. E. Fleming, P. Hennon, D. Lanfranco, A. Lilja, M. Müller, M. Ramos Sanz, A. Woods, J. Hantula and D. Francis. 2010. Forest health in a changing environment. En: *Forest and society – responding to global drivers of change*, Chapter: 7. G. Mery, P. Katila, Rene Alfaro, M. Kanninen, M. Lobovikob, J. Varjo (eds.) IUFRO World Series Volume 25. Vienna, pp.113-134.
- Alfaro, R. I. y D. L. Langor. 2016. Changing paradigms in the management of forest insect disturbances. 2016. *The Canadian Entomologist* 148 (S1): 57-518.
- Attwill P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management* 63: 247–300.
- Bajwa, W. I. and M. Kogan. 2002. *Compendium of IPM definitions (CID)- What is IPM and how is it defined in the Worldwide Literature*. IPPC Publication No. 998, Integrated Plant Protection Center (IPPC), Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA.
- Bartuska, A. 1996. *Forest health technology enterprise team 1996 accomplishments*. USDA. Forest Service FHTET 96-28. Fort Collins Co. E. U.
- Barrera, J. F. 2006. Manejo holístico de plagas: Hacia un nuevo paradigma de la protección fitosanitaria, p. 63-82. En: J. Pohlan, L. Soto y J. Barrera (eds.), *El cafetal del futuro: Realidades y Visiones*. Aachen, Shaker Verlag, Alemania.
- Barrera, J. F. 2007. Manejo holístico de plagas, más allá del MIP. *Memoria XXX Congreso Nacional de Control biológico*. Mérida Yucatán, México.
- Carson, R. 1962. *Silent Spring*. Boston. Houghton Mifflin.
- Castello, J. D. and S. A. Teale. 2011. *Forest Health. An Integrated Perspective*. Cambridge Univ. Press. New York.
- CCAD, Comisión Centroamericana del Ambiente y Desarrollo. 2017. Estrategia Regional de Salud y Sanidad Forestal para Centroamérica y República Dominicana 2016-2026. CCAD, FAO, Panamá.
- Coulson, R. N. and Witter, J. A. 1984. *Forest Entomology: Ecology and Management*. New York: John Wiley and Sons.
- Coulson, R. N. and H. Saarenmaa. 2011. Integrated Pest Management of the Southern Pine Beetle. En: Coulson R. N y K. D. Lepzig (eds.) *Southern Pine Beetle II*. Southern Research Station. Gen. Tech. Rep. SRS-140 Asheville, NC. E. U.

- Dhaliwal, G. S., Opendar Koul and Ramesh Arora. 2004. Integrated Pest Management: Retrospect and Prospect. En: Koul, O., G. S. Dhaliwal y G.W. Cuperus (eds.). 2004. *Integrated Pest Management: Potential, Constraints and Challenges*. CAB International.
- Fule P. Z., W. W. Covington and M. M. Moore. 1997. Determining reference conditions for ecosystem management of southwestern ponderosa pine forests. *Ecological Applications* 7: 895–908.
- Julve L., C., K. R. Kane, B. Wolfslehner, R. Guldin and E. Rameststeiner. 2017. Using criteria and indicators for sustainable forest management. A way to strengthen result-based management of national forest programmes. Forestry Policy and Institutions. Working Paper 37, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary development. *Annual Review of Entomology* 43:243-70.
- Kogan, M. and W. I. Bajwa. 1999. Integrated pest management. *An. Soc. Entomol. Brasil*. 28: 1-25.
- Kogan, M., B. A. Croft and R. F. Suthurst, 1999. Applications of ecology for integrated pest management. En: Huffaker, C. B. and A. P. Gutierrez, (eds.) *Ecological Entomology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 681–736.
- Kolb, T. E., M. R. Wagner and W. W. Covington. 1994. Concepts of forest health: utilitarian and ecosystem perspectives. *Journal of Forestry* 92: 10-15.
- Kolb, T. E., M. R. Wagner and W. W. Covington. 1995. Forest health from different perspectives. En: Eskew, L.G., (Comp). Forest Health through silviculture: *Proceedings of the 1995 national silviculture workshop*. Gen. Tech. Rep. RM-267. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest Experiment Station: 5- 13.
- Lapointe R., D. W. Langor, A. Dabros A., B. D. Pinno, J. R. Spence, M. Pyper and K. G. Hirsch. 2015. Science-based responsible resource development: lessons learned from two Canadian success stories. *XIV World Forestry Congress*, Durban, South Africa, 7–11 September 2015. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries Directorate, Durban, South Africa.
- Macías Sámano, J. E. 2018. Forest pest or forest fauna: a matter of perspective. Society of American Foresters, *International Forestry Working Group Newsletter*, September, 13-19p.
- Manion, P. D. and D. H. Griffin. 2001. Large landscape scale analysis of tree death in the Adirondack Park, New York. *Forest Science* 47: 542–549.
- Mery, G., R. I. Alfaro, M. Kanninen and M. Lobovikov. 2005. *Forests in the global balance: changing paradigms*. World Series Volume 17. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, Austria.
- Naciones Unidas. 2002. Declaración de Rio Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Rio de Janeiro, Brasil. Consultada el 5 de febrero de 2020. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
- National Academy of Sciences. 1975. Pest Control: An assessment of present and alternative technologies. En: *Forest Pest Control*, Vol 4. National Academy of Science. Washington, E. U.
- Newsom, L. D. 1980. The next rung up the integrated pest management ladder. *Bulletin of Entomological Society of America* 26: 369-374.
- O’Laughlin, J., R. L. Livingston, R. Thier, J. Thornton, D. E. Toweill and L. Morelan. 1994. Defining and measuring forest health. *Journal of Sustainable Forestry* 2: 65-85.
- Oliver, C. D. 1980. Forest development in North America following major disturbance. *Forest Ecology and Management* 3: 153–168.
- Pedigo, L. P. (2° ed). 1996. *Entomology and Pest Management*. Prentice Hall- Iowa, Estados Unidos.
- Raffa, K. F., B. Aukema, B. J. Bentz, A. Carroll, N. Erbilgin, D. Herms, J. A. Hicke, B. S. Hofstetter, J. Logan, W. Mattson, S. Munson, D. Robinson, D. Six, P. C. Tobin, P. Townsend and K. F. Wallin. 2009. A literal use of “Forest Health” safeguards against misuse and misapplication. *Journal of Forestry* 107: 276-277.
- Romero R., F. 2010. *Manejo Ecológico de Patosistemas: las bases, los conceptos y los fraudes (o manejo integrado de plagas, MIP)*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Saavedra Romero, L. de L. 2017. Foro de Transferencia de Tecnología de Sanidad Forestal: “Prevención, Control y Combate de Plagas y Enfermedades en Ecosistemas Forestales y Zonas Urbanas”, abril 28, Xalapa, Veracruz, México.

- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. *Ley General de Desarrollo Forestal sustentable* Publicada el 5 de junio de 2018 en el Diario Oficial de la Federación. México.
- Shigo, A. L. 1986. *A New Tree Biology*. Shigo and Trees associates. Durham, New Hampshire. E. U.
- Singh, K. M., M. P. Singh, T. Riba and Debashish Sen. 2015. Integrated pest management: It's concept. En: *Integrated pest management for sustainable agriculture*. Singh, K. M., R. K. Patidar, Debashish Sen y M. M. Kumawat (eds.). New Delhi Publishers. 1-13.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. van den Bosch and K. S. Hagen. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia*, 29: 81-101.
- Teale S. A. and J. D. Castello. 2011. The Past as Key to the Future: A New Perspective on Forest Health. En: *Forest Health: An Integrated Perspective*. J. D. Castello y S. A. Teale (eds.). Cambridge Univ. Press, pp. 3-16.
- Toledo, J. y F. Infante. 2008. *Manejo Integrado de Plagas*. Trillas. Cd. De México.
- Trumbore S., P. Brando and H. Hartman. 2015. Forest health and global change. *Science* 349: 819-822.
- United Nations. 2002. <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>. Consultado Julio 15 2018.

Historia de la Entomología Forestal en México

- Alemán, J. 1886. Apuntes acerca de la mariposa del madroño. *La Naturaleza* Tomo VII. Sociedad Mexicana de Historia Natural pp. 152-155.
- Blandford, E. J. 1897. Scolytidae. *Biología Centrali-Americana*. Vol. 4. Part. 6. pp. 145-184.
- Beltrán E. s/f. "La Naturaleza", Periódico científico de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. 1869-1914. Reseña bibliográfica e índice general. Sociedad Mexicana de Historia Natural.
<<http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/143010/1/9VNaturalezaPeriodico.pdf>>
- Dugés, E. 1876. Metamorfosis de un coleóptero de la familia de los Lamelicórneos y del género *Strategus*. *La Naturaleza* Tomo III. Sociedad Mexicana de Historia Natural. Pp. 49-52.
- González Pérez, A. 2001. La Fundación de la Primera Escuela Forestal en México. En: D. Piñera Ramírez, (Coordinador). *La educación superior en el proceso histórico de México*. Tomo II, Siglo XIX/Siglo XX. SEP-UABC-ANUIES. Pp. 346-363.
- Hartig, F. 1954. Informe sobre la Entomología Forestal. En: *Aprovechamiento de los Recursos Forestales*, tomo I. Banco de México, S. A. Departamento de Investigaciones Industriales. Pp.165-199.
- Heineman, 1876. Estudio sobre los órganos luminosos de los cocuyos de Veracruz. *La Naturaleza*. Tomo 3. pp. 10-14.
- Hernandez, O. I. 1930. Un tenthredinido nocivo de los pinos en el estado de Michoacán. *México Forestal*. Tomo 8 No. 8. pp. 196-198.
- Herrera, A. L. 1891. El Valle de México, considerado como provincia zoológica. *La Naturaleza*, Segunda Serie, Tomo I. Años de 1887, 1888, 1889, 1890. Sociedad Mexicana de Historia Natural. Imprenta Ignacio Escalante, México. pp. 442-483. Febrero de 1891.
- Herrera, A. L. 1905. Insectos destructores de los bosques. *Comisión de Parasitología Agrícola*. Folleto No. 8. pp. 1-4.
- Hopkins, A. D. 1905. Notes of some Mexican Scolytidae with descriptions of some new species. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 7(2-3). pp. 71-81.
- Nuñez-Ortega, A. 1886. Apuntes históricos sobre el cultivo de la seda en México. *La Naturaleza* Tomo VII. Sociedad Mexicana de Historia Natural. pp. 40-64.
- Perry, J. P. Jr. 1951. Especies de escarabajos de la corteza del pino en México central. *Unasylva*:
<[http://www.fao.org/docrep/x5361s/x5361s04.htm#especies de escarabajos de la corteza del pino en méxico central](http://www.fao.org/docrep/x5361s/x5361s04.htm#especies%20de%20escarabajos%20de%20la%20corteza%20del%20pino%20en%20m%C3%A9xico%20central)>
- Riquelme I., J. 1906. Una plaga de insectos llamados "frailecillos", en el Valle de México. *Comisión de Parasitología*. Mex. Folleto No. 8: 1-8.
- Riquelme I., J. 1911. El gusano de los sauces. Est. Agr. Cent. Folleto No. 8: 1-61.
- Riquelme I., J. 1924a. Los insectos de los bosques. *México Forestal*. Tomo 2. No. 11: 91-93.
- Riquelme I., J. 1924b. Los insectos de los bosques. *México Forestal*. Tomo 2. No. 12: 10-110.
- Riquelme I., J. 1925a. Los insectos de los bosques. *México Forestal*. Tomo 3. No. 1: 14-16.

- Riquelme I., J. 1925b. Plagas de insectos en los pinos del vivero de Coyoacán. *México Forestal*. Tomo 3. No. 1: 17.
- Riquelme I., J. 1925c. Los insectos de los bosques. *México Forestal*. Tomo 3. No. 10: 143-145.
- Riquelme I., J. 1930. Los hylesinidos desde el punto de vista de sus depredaciones en los bosques. *México Forestal*. Tomo 8: 173-178.
- Riquelme I., J. 1933a. Los insectos de los bosques. *La Naturaleza*. Tomo II. No. 3: 66-68.
- Riquelme I., J. 1933b. Los insectos de los bosques. *La Naturaleza*. Tomo II. Núms. 5-6: 115-117.
- Riquelme I., J. 1934. Los insectos de los bosques. *La Naturaleza*. Tomo 12. No. 9: 169-171.
- Rodríguez L., R. 1958. Defoliador del oyamel, una nueva plaga forestal en México. *Memoria del Primer Congreso Nacional de Entomología y Fitopatología*. México. pp. 77-87.
- Rodríguez L., R. 1961. Biología y combate del Defoliador del oyamel *Evita hyalinaria blandaria* (Dyar). *Bol. Téc. No. 1*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. S.A.G. México.
- Rodríguez L., R. 1966. El Combate directo de *Dendroctonus frontalis* Zimm. por derribo, descortezamiento y quema de la corteza de los árboles infestados. *Revista Bosques*. 3(6): 8-11.
- Rodríguez L., R. 1968. Biología de *Ips bonansea* Hopk. Y su competencia con *Dendroctonus adjunctus* Bland. (Coleoptera: Scolytidae) en montes de pino del Estado de México. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, E.N.A. Chapingo, México. pp. 1-57.
- Rodríguez L., R. 1970. Observaciones sobre la biología de *Ips bonansea* Hopk. (Coleoptera: Scolytidae) plaga de pinos. *Agrociencia* 5: 53-61.
- Rodríguez L., R. 1990. *Plagas forestales y su control en México*. Colección Cuadernos Universitarios. Universidad Autónoma Chapingo. Serie Agronomía 17.
- Schedl, K. E. 1940. Scolytidae, Coptonotidae y Platypodidae mexicanos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. México. Vol II: 317-376.
- Verduzco G., J. 1958. Algunos aspectos del problema de sanidad forestal en México. Tesis (inédita). Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. 180 p.
- Waterhouse, F. E. S. 1882-1887. Buprestidae. *Biología Centrali Americana* 3: 663-667.

Escenarios de Manejo Forestal

Introducción

National Academy of Sciences. 1975. Pest control: An assessment of present and alternative technologies. En: *Forest Pest Control*, Vol 4. National Academy of Science. Washington, E. U.

Bosques naturales o nativos de México

- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2000. Programa estratégico forestal para México 2000 – 2025. SEMARNAT. CONAFOR. 191 p.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2013. Estrategia nacional de manejo forestal sustentable para el incremento de la producción y la productividad (ENAIPROS) 2013 – 2018. SEMARNAT. CONAFOR. 62 p.
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2018. Estudio diagnóstico de derecho al medio ambiente sano, 2018. CONEVAL. 145 p.
- Kokkonen, M. 2016. Forests and forest policy in Finland. Ministry of Agriculture and Forestry. Natural Resources Department. Helsinki, Finland. PPT presentation. 24 slides.
- USDAFS. 2002. Forest health indicators; forest inventory and analysis program. US Department of Agriculture. Forest Service. FS – 746. 23 p.

Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF)

Cibrián T., D., B. H. Ebel, H. O. Yates III y J. T. Méndez Montiel. 1986. *Insectos de Conos y semillas de las Coníferas de México/ Cone and Seed Insects of the Mexican Conifers*. U.S. Dept. Agr. Gen. Tech. Rep. SE-40. 110 p.

Fatzinger, C. W. 1983. Monitoring pest-caused losses of cones and seed in southern pine seed orchards. En: *Proceedings of the cone and seed insects working party conference*. Working Party S2.07-01, IUFRO, International Union of Forestry Research Organizations; 1983 July 31-August 6; Athens Ga. USDA, For. Serv. Southeast. For. Exp. Stn. 214 p.

Flores-Lara, J. E. y D. Díaz-Esquivel. 1985. Recuperación de una masa vegetal de *Pinus cembroides* Zucc. Mediante el control de insectos que atacan a conos y semillas. En: *Memoria I Simposio Nacional sobre pinos piñoneros. Reporte Científico, N° Esp. 5*. Facultad de Silvicultura, Univ. Aut. Nvo. León. 10-12 junio de 1985. pp. 193-210.

Hedlin, A. F., H. O. Yates III, D. Cibrián T., B. H. Ebel, T. W. Koerber and E. P. Merkel. 1980. *Cone and seed insects of North American conifers*. Environment Canada, Forestry Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, co-published by the United States Forest Service and Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México. 122 p.

Martínez R., S., J. R. Flores A. y D. Cibrián T. 1985. Evaluación del daño y plan de manejo de las principales plagas del piñón en el Estado de Hidalgo. En: Memoria: Primer simposio nacional sobre pinos piñoneros. *Reporte Científico*, Num. Esp. 5. Facultad de Silvicultura, Univ. Aut. Nvo. León. 10-12 junio de 1985. pp. 215-222.

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. *NMX-AA-169-SCFI-2016, Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal especificaciones técnicas (cancela la nmx-aa-169-scfi-2014)*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Octubre de 2016.

Yañez E., L. 1991. Análisis de la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en una población natural de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis Profesional. Div. Cienc. For. UACH. 116 p.

Turgeon, J. J., A. Roques and P. De Groot. 1994. Insect Fauna of Coniferous Seed Cones: Diversity, Host Plant Interactions, and Management. *Annual Review of Entomology* 39: 179-212.

Producción de planta en viveros forestales

Birchler, T.; R. W. Rose; A. Royo y M. Pardos. 1998. *La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica*. Oregon State University, Oregon. EE.UU. y Universidad Politécnica de Madrid, España. 13 p. En: <<https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2806/2169>>

Burney O., A. Aldrete, R. Álvarez-Reyes, J. A. Prieto-Ruiz, J. R. Sánchez-Velázquez and J. G. Mexal. 2015. México- Addressing Challenges to Reforestation. *Journal of Forestry*. Research Article 113(4):404-413. <http://dx.doi.org/10.5849/jof.14-007>.

Cibrián T., D. 2008. *Manual para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros*. Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT. México. 153 p.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2009. Reporte sobre la condición fitosanitaria de los viveros forestales de México. CONAFOR, México.

Garza O., F., P. R. Foroughbakhch, V. Carrillo P. y G. V. Bustamante G. 2011. Año Internacional de los bosques: Situación actual y perspectivas. *Planta*. 6(11): 4-6.

Gomes, J. M., L. Couto, H. Garcia L., A. Xavier y S. L. Ribeiro G. 2002. Parâmetros Morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. Sociedade de Investigações Florestais. *Rev. Árvore* 26 (6):655-664.

PRONARE, Programa Nacional de Reforestación (1990-2003). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

PROCOREF, Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (2004-2006). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126516/CNF-36_Reforestacion.pdf>

PRONAFOR, Programa Nacional Forestal (2014-2018). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Sánchez R. 2018. *Valoración financiera de dos sistemas de producción de planta forestal en vivero con fines de restauración*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. México. 89 p.

SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. sf. *Fundación del vivero Coyoacán*. <<http://www.viveroscoyoacan.gob.mx>>

SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016, "Certificación de la operación de viveros forestales"*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2016.

La reforestación con fines de restauración

Cibrián T, D. 2013. *Manual para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en plantaciones forestales tropicales*. Universidad Autónoma Chapingo, CONACYT y Comisión Nacional Forestal. 229 p.

Secretaría de Bienestar. 2019. *Acuerdo por el que se emiten los Lineamientos de Operación del Programa Sembrando Vida*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de enero de 2019. México.

Plantaciones comerciales

Cibrián T., D. 2009. *Manual para la identificación de plagas y enfermedades en plantaciones de árboles de navidad*. Comisión Nacional Forestal, CONACYT y Universidad Autónoma Chapingo. 79 p.

Cibrián T., D. 2013. *Manual para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en plantaciones forestales tropicales*. Universidad Autónoma Chapingo, CONACYT y Comisión Nacional Forestal. 229 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2001 *Plan estratégico forestal 2025.*, SEMARNAT. México. 191.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. *Programas Específicos de Intervención Institucional. Programa de Plantaciones Forestales Comerciales 2012-2018*. CONAFOR. 28 P.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2018. *La Comisión Nacional Forestal y el Desarrollo Sustentable México 2012-2018*. 307 p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2003. *Decreto por el que se expide la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y se reforman y adicionan la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles*. Publicado, 25 de febrero de 2003, 48 p.

Haltia, O. y K. Keipi. 1997. *El financiamiento de las inversiones forestales en América Latina: El uso de los incentivos*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 (Informe principal)*. Estudio FAO: Montes 163. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2010. 346 p.

Fierros G., A. (ed.). 2012. *Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales*. Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT, México. 151 p.

PalMBERG, L. Ch. y Ball, J. B. 1998. *El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético*. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO/FAO: El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafío del Siglo XXI. Valdivia, Chile 22-28 noviembre 1998. 13 p.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1997. *Acuerdo que establece los lineamientos para el otorgamiento de subsidios destinados a promover el desarrollo forestal*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de abril de 1997, pp 38-43.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1999. *Acuerdo que establece las reglas de operación para el otorgamiento de subsidios del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de octubre de 1999, 18 p.

SEMARNAT, Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. *Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de marzo de 2002.

Sosa C., V. 2012. Introducción. En: *Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales*. Fierros G., A. (ed.). Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT, México. Pp 1-3.

Espacios verdes urbanos

Alanis F., G. J. 2005. El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL* 8: 1.

Cervera R. M. y J. W. Rangel G. 2015. *Distribución de la población por tamaño de localidad y su relación con el medio ambiente*. En: Seminario-taller "Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente" 19 y 20 de febrero de 2015. INEGI. Colegio de México.

- Chávez A., J. M., R. Villavicencio G., A. L. Santiago P., S. L. Toledo G. y J. J. Godínez H. 2010. *Arbolado de Chapalita: estado y valor*. Universidad de Guadalajara.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., J. E. Flores L. y H. O. Yates III. 1995. *Insectos forestales de México/ Forest Insects of Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México. Forest Service, USDA, Estados Unidos, Natural Resources, Canada, Canada y Comisión Forestal de América del Norte FAO. Pub. 6 COFAN FAO.
- Chacalo H., A., V. Corona y E. Nava. 2009. *Árboles y arbustos para ciudades*. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F.
- Chacalo H. A. (coord.). 2017. *Temas de arboricultura, árboles, arbustos, palmas y frutales para ciudades*. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México, México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Perfil sociodemográfico Estados Unidos Mexicanos, Censo de población y vivienda 2010. México.
- Martínez, L. y P. Tenorio. 2008. *Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Fundación Xochitla. México, D.F. 549 pp.
- Navarro N., L. A. y J. L. Moreno V. 2016. Cambios en el paisaje arbolado en Hermosillo: escasez de agua y plantas nativas. *Region y sociedad*. 67:79-120.
- Orellana, R., L. Carrillo y V. Franco. 2007. *Árboles recomendables para las calles de la Península de Yucatán*. Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mexico. 78 p.
- Ruiz-Montiel, C., V. Vázquez-Torres, M. J. Martínez-Hernández, L. Murrieta-Pérez y M. S. Perea-Hernández. 2014. Árboles y arbustos registrados en el Parque Ecológico Molino de San Roque, Municipio de Xalapa, Veracruz. *Madera y Bosques* 20(2): 143-152.
- Velasco L., V. 2014. *Guía para el dictamen y poda de árboles urbanos*. Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable. 45p.

Identidad de Insectos

- Álvarez, J. M., F. A. Menalled y M. Hoy. 2005. Las herramientas moleculares en el control biológico. *Manejo integrado de plagas y agroecología* 74: 4-11.
- Aranguren, M. J. A., B. R. Román, W. Isea, Y. Villasmil y J. Jordana. 2005. Los microsatélites (STR's), macadores moleculares de ADN por excelencia para programas de conservación: una revisión. *Asociacion latinoamericana de produccion animal* 13: 30-42.
- Becerra, V. y M. Paredes. 2000. Uso de marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. *Agricultura técnica* 60: 270-281. doi.org/10.4067/S0365-2807200000300007
- Bejarano, E. E. 2001. Nuevas herramientas para la clasificación taxonómica de los insectos vectores de leishmaniosis: utilidad de los genes mitocondriales. *Biomédica* 21: 182-191.
- Bornstein, B., J. A. Mas, C. Patrono, M. A. Fernández, V. E. González, Y. Campos, R. Carrozzo, M. A. Martin, P. Del Hoyo, F. M. Santorelli, J. Arenas and R. Garesse. 2005. Comparative analysis of the pathogenic mechanisms associated with the G8363A and A8296G mutations in the mitochondrial tRNALys gene. *The Biochemical journal* 387: 773-778. doi: 10.1042/BJ20040949
- Burelo R., C. M., L. I. Cabrera M., P. Rosas E., P. Escalante P. M. A. Guadarrama, O. y N. C. Jiménez, P. 2012. Códigos de barras de ADN: una herramienta para la sistemática. *Kuxulkab'* 18: 61-64.
- Catarino, M. S., S. Cho and F. A. H. Sperling. 2000. The current state of insect molecular systematics: A thriving tower of Babel. *Annual Review of Entomology* 45:1-54. doi:10.1146/annurev.ento.45.1.1
- Chávez M., J. A., J. C. Ibarra G., G. L. Flores Z., P. Álvarez R., C. B. García-Negroe, C. García G., L. Castro E., M. A. Gutiérrez C. y J. L. Martínez C. 2017. Identificación molecular de biotipos de Spodoptera frugiperda Smith, (Lepidoptera: Noctuidae) utilizando diferentes metodologías en extracción de DNA. *Entomología mexicana* 4: 669-675.
- Cibrián T., D. (ed.). 2017. *Fundamentos de Entomología Forestal*. Universidad Autónoma Chapingo, CONACYT.
- España L., M. P., O. G. Alvarado G., H. González A., L. Favela S., G. Lozano J. y G. García F. 2006. Diferenciación genética de especies crípticas de *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Folia Entomológica Mexicana* 45: 283-290. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42445303>

- Garrick, R. C., B. D. Collins, R. N. Yi, R. J. Dye and C. Hyseni. 2015. Identification of Eastern United States Reticulitermes Termite Species via PCR-RFLP, Assessed Using Training and Test Data. *Insects* 6: 524-537. doi:10.3390/insects6020524
- Gijón-Hernández, A. R., M. I. Rivera-Conde, V. J. Arriola-Padilla e I. M. Pérez-Gálvez. 2016. Protocolo rápido para la identificación molecular de descortezadores (Coleóptera: Curculionidae: Scolytinae). *Entomología mexicana* 3: 800-804.
- Gómez-Viveros, S., V. M. Pinto, E. Valadéz-Moctezuma y C. A. Nulez-Colín. 2008. Diferenciación molecular de larvas de tres especies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) de importancia económica en México. *Folia Entomológica Mexicana* 47(3): 113-124.
- Gutiérrez M., E. y R. V. León. 2013. Barcoding Edited by Andrew Lowe DNA Barcoding in Mexico. *Molecular Ecology Resources* 13:1093-1096. doi: 10.1111/1755-0998.12149
- Hebert, P. D. N., S. Ratnasingham and J. R. De Waard 2003. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Letters* 270: S96-S99. doi:10.1098/rsbl.2003.0025
- Hernández, R. P. and A. Gómez. 2012. Polymerase chain reaction: types, utilities and limitations. En: *Polymerase Chain Reaction*. R. P. Hernández y R. A. Gomez (eds.). InTech, Croatia. doi:10.5772/37450. Pp. 157-172
- Hing, C. T. and Y. V. Chong. 2012. Role of Polymerase Chain Reaction in Forensic. En: *Polymerase Chain Reaction*. R. P. Hernández y R. A. Gomez (eds.). InTech, Croatia. doi: 10.5772/36952. Pp. 51-64
- John L., C. 2008. *Encyclopedia of Entomology*. 2nd. Edition. Vol. 4. Ed. Springer.
- Lanteri, A. A. 2007. Código de barras del ADN y sus posibles aplicaciones en el campo de la Entomología. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 66: 15-25. Disponible en línea: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322028491004>>.
- López P., M. J. y J. Montoya. 2012. Sistema genético mitocondrial humano. En: *Sistema mitocondrial un reto a la medicina humana*. M. J. López P., J. M. Ortiz M. y A. Doadrio V. (eds.). Monografía XXXVI. Madrid, España. 275 p.
- Marjorie, A. H. 2003. *Insect molecular genetics: an introduction to principles and applications*. Elsevier. United States of America. 544 p.
- Rios R., A. V. 2007. *Caracterización morfológica y molecular de Dendroctonus frontalis y D. mexicanus (Curculionidae: Scolytinae)*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. México. 63 p.
- Rosas-García, N. M., S. L. Sarmiento-Benavides., J. M. Villegas-Mendoza, S. Hernández-Delgado and N. Mayek-Pérez. 2010. Genetic Differentiation among *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) Populations Living on Different Host Plants. *Environmental Entomology* 39: 1043-1050. doi:10.1603/en09368
- Sánchez-Tuesta, L. y Z. Prieto. 2018. Caracterización morfológica y variación genética de *Anastrepha distincta* mediante la técnica RAPD-PCR. *Sciéndo, Ciencia para el Desarrollo* 21: 325-331. Disponible en línea: <<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/2063/pdf>>
- SENASICA-SAGARPA. 2017. *Amplificación de la región mtDNA COI, para la identificación de insectos por PCR de punto final*. <<https://www.gob.mx/senasica/documentos/protocolos-de-diagnóstico>>
- Serrato D., A., L. Flores R., J. Aportela C. y E. Sierra P. 2014a. PCR: Reacción en Cadena de la Polimerasa. En: *Herramientas moleculares aplicadas a la ecología: aspectos teóricos y prácticos*. A. Cornejo R., A. Serrato D., B. Rendón A. y M. G. Rocha M. (eds.). Primera edición. México, D.F., pp. 53-73.
- Serrato D., A. y S. Ramos O. 2014b. AFLP: Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos. Amplificados. En: *Herramientas moleculares aplicadas a la ecología: aspectos teóricos y prácticos*. A. Cornejo R., A. Serrato D., B. Rendón A. y M. G. Rocha M. (eds.). Primera edición. México, D.F., pp. 127-147.
- Tan, S. H., M. Rizman-Idid, E. Mohd-Aris, H. Kurahashi and Z. Mohamed. 2010. DNA-based characterization and classification of forensically important flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) in Malaysia. *Forensic Science International* 199: 43-49. doi:10.1016/j.forsciint.2010.02.034
- Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijers, T. van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman and M. Kuiper. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23: 4407-4414. doi: 10.1093/nar/23.21.4407
- Wang M., L., N. A. Barkley and T. M. Jenkins. 2009. Microsatellite Markers in Plants and Insects. Part I: Applications of Biotechnology. *Genes, Genomes and Genomics* 3: 54-67.

Williams, J. G., A. R. Kubelik, K. J. Livak, J. A. Rafalski and S. V. Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research* 18: 6531-6535. doi: 10.1093/nar/18.22.6531

Importancia Ecológica y Aspectos Poblacionales de los Insectos

Cai, Y. W., X. Y. Cheng, R. M. Xu, D. H. Duan and L. R. Kirkendall. 2008. Genetic diversity and biogeography of red turpentine beetle *Dendroctonus valens* in its native and invasive regions. *Insect Science* 15: 291–301.

Carrano-Moreira, A. F. 2014. *Manejo integrado de pragas florestais: fundamentos ecológicos, conceitos e táticas de controle*. Technical books. Rio de Janeiro, Brasil.

Chase, J. M. y M. A. Leibold. 2003. *Ecological niches: Linking classical and contemporary approaches*. Chicago: University of Chicago Press.

Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., J. E. Flores L. y H. O. Yates III. 1995. *Insectos forestales de México/ Forest Insects of Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México. Forest Service, USDA, Estados Unidos, Natural Resources, Canada, Canada y Comisión Forestal de América del Norte FAO. Pub. 6 COFAN FAO.

Cognato, A. I., J. H. Sun, M. A. Anducho-Reyes and D. R. Owen. 2005. Genetic variation and origin of red turpentine beetle (*Dendroctonus valens* LeConte) introduced to the People's Republic of China. *Agricultural and Forest Entomology* 7:87–94.

Coulson, R. N and J. A. Witter. 1984. *Forest Entomology: Ecology and Management*. Wiley & Sons. Estados Unidos.

Hoy, M. A. 2008. Sex ratio modifications by cytoplasmic agents. En: *Encyclopaedia of entomology* (2 ed.). J. L. Capinera (ed.). Springer, 3354.

Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415–427.

Kennedy, J. S. 1975. Insect dispersal. En: *Insects, Science and Society*. D. Pimentel. (ed.). Academic Press, New York, pp. 103-119.

Lu, M., M. J. Wingfield, N. E. Gillette and J. H. Sun. 2011. Do novel genotypes drive the success of an invasive bark beetle-fungus complex? Implications for potential reinvasion. *Ecology* 92: 2013–2019.

Maciel-Mata, C. A., N. Manríquez-Morán, P. Octavio-Aguilar y G. Sánchez-Rojas. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria* 25: 3-19. doi: 10.15174/au.2015.690

Odum, E. P., C. E. Connell and L. B. Davenport. 1962. Population energy flow of three primary consumer's components of old fields ecosystems. *Ecology* 43:88-96.

Peterson, A. T. and J. Soberón. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservacao* 10: 1–6.

Pocheville, A. (2015). The Ecological Niche: History and Recent Controversies. En: *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences*. T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre y M. Silberstein (eds.) Dordrecht: Springer. pp. 547-586.

Price P. W. 1997. *Insect ecology* Third ed. John Wiley y Sons, New York.

Schwalter, T. D. 2016. *Insect ecology an ecosystem approach*. Fourth ed. Elsevier Amsterdam.

Soberón, J. and T. A. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1–10.

Soberón, J., L. Osorio-Olvera y T. Peterson. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 437-441.

Southwood, T. R. E. 1978. *Ecological methods with particular reference to the study of the insect populations*. Methuen, Inc. London.

Taerum, S. J., T. A. Duong, Z. W. de Beer, N. Gillette, J. H. Sun, D. R. Owen and M. J. Wingfield. 2013. Large shift in symbiont assemblage in the invasive red turpentine beetle. *PLoS ONE* 8: e78126.

Taerum, S. J., A. Konecny, Z. W. de Beer, D. Cibrián-Tovar and M. K. Wingfield. 2016. Population genetics and symbiont assemblages support opposing invasion scenarios for the red turpentine beetle (*Dendroctonus valens*). *Biological Journal of the Linnean Society* 118:486-502. <https://doi.org/10.1111/bij.12781>

Verhulst, P. F. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondence mathématique et Physique*, publiée par A. Quetelet. 10:113-120.

- Zunino, M. & Palestrini, C. 1991. El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología (Biología Animal)* 17: 85-88.
- Szabolcs, L., A. D. Gove, A. M. Latimer, J. D. Majer and R. R. Dunn. 2010. *Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: A global survey*. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 12: 43–55. doi:10.1016/j.ppees.2009.08.001

Compuestos Químicos Conductuales de los Insectos Herbívoros y Relaciones con sus Hospedantes

- Barbosa, P. and P. W. Schaefer 1997. Comparative analysis of patterns of invasion and spread of related Lymantriids. En: *Forests and insects*. A. D. Watt, N. E. Stork, y M. D. Hunter (eds). London, Chapman and Hall.
- Bruce, T. J., L. J. Wadhams and C. Woodcock. 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science* 10: 269–274.
- Byers J. A. 1995. Host-tree chemistry affecting colonization of bark beetles. En: *Chemical Ecology of insects*, Vol. 2 R. T. Cardé y W. J. Bell (eds.). Chapman & Hall, New York. pp. 154–213.
- Bernays, E. A. and R. F. Chapman. 1994. *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. New York, Chapman and Hall.
- Borden, J. H. 1985. Aggregation pheromones. En: *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology* vol 9. G. A. Kerkurt y L. I. Gilbert (eds.). Pergamon Press, Oxford. pp 257-285.
- Carson, W. P., J. P. Cronin and Z. T. Long. 2004. A general rule for predicting when insects have strong top-down effects on plant communities: on the relationship between insect outbreaks and host concentration En: *Insects and Ecosystem Function*. W. W. Weisser y E. Siemann (eds.). Springer-Verlag, Berlin. pp. 193–210.
- Cheniclet, C. 1987. Effects of wounding and fungus inoculation on terpene producing systems of maritime pine. *Journal of Experimental Botany* 38: 1557–1572.
- García-Ávila, C. J., F. J. Trujillo-Arriaga, J. A. López-Buenfil, R. González-Gómez, D. Carrillo, L. F. Cruz, I. Ruíz-Galván, A. Quezada-Salina and N. Acevedo-Reyes N. 2016. First report of *Euwallacea nr fornicatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Mexico. *Florida Entomologist* 99: 555-556.
- Holighaus, G. and S. Schütz. 2006. Odours of wood decay as semiochemicals for *Trypodendron domesticum* L. (Col., Scolytidae). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* 15: 161–166.
- Hunt D. W. A., J. H. Borden, B. S. Lindgren and G. Gries. 1989. The role of autoxidation of a-pinene in the production of pheromones of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1275-1282.
- Husnu Can Baser, K. and G. Buchbauer (eds.) 2010. *Handbook of Essential Oils, Science, Technology and Applications*. Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Kant M. R., P. M. Bleeker, M. Van Wijk, R. C. Schuurink R. C. and M. A. Haring. 2009. Plant volatiles in defense. *Advanced Botany Research* 51: 614–651.
- Kimmerer T. W. and T. T. Kozlowski. 1982. Ethylene, ethane, acetaldehyde and ethanol production by plants under stress. *Plant Physiology* 69: 840–847.
- Kühnholz, S., J. H. Borden and A. Uzunovic. 2003. Secondary ambrosia beetles in apparently healthy trees; adaptations, potential causes and suggested research. *Integrated Pest Management Reviews* 6: 209–219.
- Leufvén A., B. Bergström and E. Falsen. 1984. Interconversion of verbenols and verbenone by identified yeasts isolated from the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology* 10: 1349-1361.
- Macías-Sámano J. E. 2001. Mediación semioquímica entre insectos descortezadores y árboles de coníferas. En: *Interacciones químicas entre organismos. Aspectos básicos y perspectivas de aplicación*, A.L. Anaya, F.J. Espinosa-García y R. Cruz-Ortega (eds.) Editorial Plaza y Valdez. Pp. 459-503.
- Macías-Sámano, J. E. y G. Zúñiga. 2020. Estado actual del conocimiento en Mexico sobre el uso de semioquímicos que median las interacciones entre insectos descortezadores y las coníferas. En: *Ecología Química y Alelopatía: avances y aplicaciones*. A. L. Anaya Lang, F. J. Espinosa, F. Macías y M. Reigosa (eds), UNAM, Mexico.
- Mayer, M. S. and J. R. McLaughlin. 1991. *Handbook of insect pheromones and sex attractants*. CRC Press. Taylor & Francis Group, London, United Kingdom.
- Moeck H. A., D. L. Wood and K. Q. Lindahl. 1981. Host selection behavior of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) attacking *Pinus ponderosa*, with special emphasis on the western pine beetle, *Dendroctonus brevicomis*. *Journal of Chemical Ecology* 7: 49–83.

- Paiva N. L. 2000. An introduction to the biosynthesis of chemicals used in plant-microbe communication. *Journal of Plant Growth Regulation* 19: 131–143.
- Ploetz, R. C., J. Hulcr, M. Wingfield and Z W. de Beer. 2013. Destructive tree diseases associated with ambrosia and bark beetles: a Black Swan events in tree pathology?. *Plant Disease* 95: 856–872.
- Raffa, K. F. 1991. Induced defensive reactions in conifer-bark beetle systems. En: *Phytochemical induction by herbivores*. D. W. Tallamy y M. J. Raupp (eds.). New York, USA: John Wiley & Sons. 245–276.
- Ranger, C. M., M. E. Reding, A. B. Persad and D. A. Herms. 2010. Ability of stress-related volatiles to attract and induce attacks by *Xylosandrus germanus* and other ambrosia beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 177–185.
- Renwick, J. A. A., P. R. Hughes and J. P. Vité. 1975. The aggregation pheromone system of a *Dendroctonus* bark beetle in Guatemala. *Journal of Insect Physiology* 21:1097-1100.
- Rojas, J. C., E. A. Malo y J. Macías-Sámamo. 2008. Uso de semioquímicos en el manejo de insectos plaga. En: *Manejo Integrado de Plagas*. J. Toledo y F. Infante (eds.). Editorial Trillas, México, D.F. Pp. 167-182.
- Root, R. B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 94–125.
- Schoonhoven, L. M., J. J. A. van Loon and M. Dicke. 2005. *Insect-plant biology*. 2d Edition. Oxford, University Press.
- Schowalter, T. D., B. A. Caldwell, S. E. Carpenter, R. P. Griffiths, M. E. Harmon, E. R. Ingham, R. G. Kelsey, J. D. Lattin and A. R. Moldenke. 1992. *Decomposition of fallen trees: effects of initial conditions and heterotroph colonization rates*. En: *Tropical Ecosystems: Ecology and Management*. K. P. Singh and J. S. Singh (eds.). Wiley Eastern Limited, New Delhi. pp. 373-383.
- Silk, P.J., K. L. Ryall, G. Grant, L. E. Roscoe, P. Mayo, M. Williams, G. LeClair, T. Kimoto, D. Williams and C. Rutledge. 2019. Tree girdling and host tree volatiles provides a useful trap for bronze birch borer *Agrilus anxius* Gory (Coleoptera: Buprestidae). *Forestry* 2019; 00, 1–8, doi:10.1093/forestry/cpz021
- Waring, R. H. 1987. Characteristics of tees predisposed to die. *Bioscience* 37: 569–574.

Técnicas de Monitoreo

Monitoreo de plagas en viveros

- Cibrián T., D. 2008. *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros*. Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT, México.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales. 2016. *Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales*. Publicada el 7 de diciembre de 2016 en el Diario Oficial de la Federación.

Monitoreo de plagas en plantaciones forestales

- Cibrián T., D. 2009. *Manual de identificación y manejo de plagas en plantaciones de árboles de navidad*. Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT, México.
- Cibrián T., D. (ed.) 2013. *Manual de identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales*. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México.
- Cibrián-Llenderal, V. D. 2015. *Manejo del defoliador de la teca Hyblaea puera (Cramer, 1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae) en plantaciones forestales del sureste de México*. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.
- Heidinger, R. C. 1971. Use of ultraviolet light to increase the availability of aerial insects to caged Bluegill Sunfish. *The Progressive Fish-Culturist* 33: 187-192.

Monitoreo de plagas en bosques naturales mediante mapeo aéreo

- Ciesla, W. M. 2000. *Remote sensing in forest health protection*. Salt Lake City: USDA Forest Service Remote Sensing Applications Center. FHTET Report n. 00-03, 266 p.
- Coleman, T. W., A. D. Graves, Z. Heath R., R. P. Flowers, D. R. Hanavan, D. R. Cluck and D. Ryerson. 2018. Accuracy of aerial detection surveys for mapping insect and disease disturbances in the United States. *Forest Ecology and Management* 430: 321-336.

Hall R. J., G. Castilla, J. C. White, B. J. Cooke and R. S. Skakun. 2016. Remote sensing of forest pest damage: a review and lessons learned from a Canadian perspective. *Canadian Entomologist* 148: S296–S356.

Harris, J. W. E. and A. F. Dawson. 1979. Evaluation of aerial forest pest damage survey techniques in British Columbia. BC-X-198. Pacific Forest Research Centre. Environment Canada. 23 p.

Magallón M., C. 2004. Manual de Mapeo Aéreo. Gerencia de Sanidad. Comisión Nacional Forestal, México.

McConnell, T. (ed.). 1995a. Proceedings, aerial pest detection and monitoring workshop. USDA Forest Service, Northern Region, Forest Pest Management, Missoula, Mont., Report 95-4, 103 pp.

Malheiros de Oliveira, Y. M., M. A. Doetzer-Rosot, N. B. da Luz, W. M. Ciesla, E. W. Johnson, R. Rhea and J. F. Penteado. 2006. *Aerial sketchmapping for monitoring forest conditions in Southern Brazil*. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-42CD, pp. 815-824.

Schrader-Patton, C. 2002. *Digital aerial sketch mapping*. US Department of Agriculture Forest Service – Engineering, Forest Health Technology. RSAC-LSP-3400-RPT2.

Wear, J. F. and W. J. Buckhorn. 1955. *Organization and conduct of forest insect aerial surveys in Oregon and Washington*. Washington D.C., USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. E. U. A.

Teledetección espacial en el monitoreo de vegetación afectada por plagas forestales

Adelabu, S., O. Mutanga and M. Cho. 2012. A review of remote sensing of insect defoliation and its implications for the detection and mapping of *Imbrasia belina* defoliation of *Mopane Woodland*. *The African Journal of Plant Science Biotechnology* 6(1): 1-13.

Alcaraz-Segura, D., G. Baldi, P. Durante y M. Garbulsky. 2008. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, 17(3). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/82>

Cayuela, L., R. Hernández, J. A. Hódar, G. Sánchez G. and R. Zamora. 2014. Tree damage and population density relationships for the pine processionary moth: Prospects for ecological research and pest management. *Forest Ecology and Management* 328:319-325.

Ciesla, W. 2000. Remote monitoring in forest health protection. USDA Forest Service.

Czaplewski, R. 1999. Multistage remote sensing: toward an annual national inventory. *Journal of Forestry* 97(12):44-48. <https://doi.org/10.1093/jof/97.12.44>

Chuvieco, S. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones RIALP. Madrid, España.

Franklin, S. 2001. *Remote sensing for sustainable forest management*. CRC Press, FL, USA.

Franklin, J., C. E. Woodcock and R. Warbington. 2000. Multi-attribute vegetation maps of forest service lands in California supporting resources management decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66: 1209–1217.

Gilabert, M. A., J. González y J. García. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8 (11):1-10.

Gomez, D. F., H. M. Ritger, C. Pearce, J. Eickwort and J. Hulcr. 2020. Ability of remote sensing systems to detect bark beetle spots in the southeastern US. *Forests*, 11(11):1–10. <https://doi.org/10.3390/f11111167>

Hall, R., R. Skakun and E. Arsenault. 2007. Remotely sensed data in the mapping of insect defoliation. En: Wulder M., and S. Franklin. (Eds). *Understanding forest disturbance and spatial pattern: remote sensing and GIS approaches*. Taylor & Francis Group. FL, USA. pp. 85-111.

Hansen, M. C., S. V. Stehman and P. V. Potapov. 2010. Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(19):8650–8655.

Haapanen R. and S. Tuominen. 2008. Data combination and feature selection for multi-source forest inventory. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 74(7):869-880.

Hernández, C. A. M, y S. E. García. 2014. Análisis de cambio en la cobertura espacial del manglar en el área de protección de flora y fauna Laguna de Términos. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F, México.

Holben, B. N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images form temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7(11): 1417-1434.

Huete, A. R. and R. D. Jackson. 1987. Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on rangelands. *Remote Sensing of Environment* 23: 213-232

- JARS (Japan Association on Remote Sensing). 1993. *Remote Sensing Note*. Nihon Printing Co. L.td. Tokyo.
- Jensen, J. R. 1983. Urban/suburban land use analysis. *American Society of Photogrammetry* 2:1571-1666.
- Lao Ramos, B. y D. Peláez Hernández. 2018. La teledetección y los sistemas de Información Geográfica para el manejo de las tierras. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(1): 54-65. Recuperado en 14 de junio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000100006&lng=es&tlng=es.
- Leautaud, P. y J. López, 2017. Detección de árboles dañados por plaga en bosques de *Abies religiosa* en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, mediante fotografías aéreas infrarroja. *Investigaciones Geográficas* 92: 1-12. <https://doi.org/10.14350/riq.50249>
- Mayorga Arias, D., M. Pazos-Roldan y U. Vélez, M. 2019. Uso del índice normalizado de vegetación para la elaboración de planos de cultivo. *Opuntia Brava* 11(2): 261-265. Recuperado a partir de <http://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/760>
- Mcdowell, S. C., R. L. López-Marqués, T. Cohen, E. Brown, A. Rosenberg, M. G. Palmgren and J. F. Harper. 2015. Loss of the *Arabidopsis thaliana* P4-ATPases ALA6 and ALA7 impairs pollen fitness and alters the pollen tube plasma membrane, *Frontiers in Plant Science* :6:1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00197>
- Olsson, P. O., J. Lindström and L. Eklundh. 2016. Near real-time monitoring of insect induced defoliation in subalpine birch forests with MODIS derived NDVI. *Remote Sensing of Environment* 181:42-53.
- Paruelo, J. M. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* 17(3):4-22. <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/575.pd>
- Rommel, T., F. Csillag, S. Mitchell and M. Wulder. 2005. Integration of forest inventory and satellite imagery: a Canadian status assessment and research issues. *Forest Ecology and Management* 207:405-428.
- Rogan, J. and D. Chen. 2003. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Prog. Plann.* 61: 301-325.
- Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Schell, J. A. and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1:309-317.
- Rullan S. C. D. 2015. Aplicación de la teledetección satelital en el seguimiento de la defoliación por insectos forestales. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Palencia, España.
- Sancha Navarro, E.F. 2010. El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. En: Ojeda, J., M. F. Pita e I. Vallejo (Eds.). *Tecnologías de la información geográfica: La información geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.095-1.108. ISBN: 978-84-472-1294-1
- Schrader, P. C., N. E. Grulke and M. E. Dressen. 2016. Characterizing forest insect outbreak in colorado by using MODIS NDVI phenology data and aerial detection survey data. USDA Forest Service. General Technical Report PNW-GTR, 2016(940E), 1-35.
- Schroeder, T. A., S. P. Healey, G. G. Moisen, T. S. Frescino, W. B. Cohen, C. Huang, R. E. Kennedy and Z. Yang. 2014. Improving estimates of forest disturbance by combining observations from Landsat time series with U.S. Forest Service Forest Inventory and Analysis data. *Remote Sensing of Environment* 154: 61-73.
- Solberg, S., L. Eklundh, A. Gjertsen, T. Johansson, S. Joyce and H. Lange. 2007. Testing remote sensing techniques for monitoring large scale insect defoliation. *Proc. Forest Sat. 2007, Int. Conf. on hyperspectral & advanced sensors*, Montpellier (France), November 5 pp.
- Spruce, J. P., S. Sader, R. E. Ryan, J. Smoot, P. Kuper, K. Ross, D. Prados, J. Russell, G. Gasser, R. McKellip and W. Hargrove. 2011. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks. *Remote Sensing of Environment* 115(2): 427-437. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.09.013>
- Travaglini, D., G. Chirici, F. Bottalico M. Ferretti, P. Corona, A. Barbati and L. Fattorini. 2013. Largescale Pan-European forest monitoring network: a statistical perspective for designing and combining country estimates. Example for defoliation. *Developments in Environmental Science*: 12. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-098222-9.00007-8>

Monitoreo de insectos mediante trampas cebadas con feromonas

- Agustin, S. N., W. J. De Kogel, P. Donner, M. Faccoli, D. C. Lees, L. Marini, N. Mori, E. Patrucco Toffolo, S. Quilici, A. Roques. A. Yarty and A. Battisti. 2012. A review of pest surveillance techniques for detecting quarantine pests in Europe. *EPPO Bulletin, European and Mediterranean Plant Protection Organization*, Paris, France. 42: 515-551.

Armendáriz-Toledano F., G. Zúñiga, L. J. García-Román, O. Valerio-Mendoza y P. G. García-Navarrete. 2017. *Guía ilustrada para identificar a las especies del género Dendroctonus presentes en México y Centroamérica*. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.

Douglas H. B., A. I. Cognato, V. Grebennikov and K. Savard K. 2019. Dichotomous and matrix keys to the Ips bark beetle of the world (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Canadian Journal of Arthropod Identification* 39: 1-234.

Evenden M. L. and P. J. Silk. 2015. The influence of Canadian research on semiochemical-based management of forest insect pests in Canada. *Canadian Entomologist* 148(S1): 1- 40.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. *Guidelines for surveillance*. FAO-IPPC, International Standard for Phytosanitary Measures ISPM # 6. Rome. 12 p.

Jackson, L., T. Molet and G. Smith. 2011. *Exotic wood borer/bark beetle, National Survey Guide*. Revised July 2011. USDA-APHIS-PPQ-CPHST, Raleigh, NC. 264 pp.

Jaén Lara B. A. 2013. Monitoreo de la dispersión de la población de Ips calligraphus en las plantaciones de Pinus caribaea var hondurensis en el proyecto bosque siglo XXI, en río Hato, provincia de Coclé, Republica de Panamá. *Scientia* (Panamá), 23(1): 87-102.

Macías-Sámano, J. E., A. Niño-Domínguez, R. Altúzar-Mérida y R. Olivia Maldonado. 2004. *Monitoreo de descortezadores y sus depredadores mediante el uso de semioquímicos*. Manual Operativo. Segunda Edición. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México. 27 pp.

Macías-Sámano, J. E. y A. Niño-Domínguez. 2016. *Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos, para México y Centroamérica*. El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR y el Programa Internacional del Servicio Forestal de los Estados Unidos, USFS-IP. 48 p.

Macías-Sámano, J. E. y Zúñiga G. 2016. Estado actual del conocimiento en México sobre el uso de semioquímicos que median las interacciones entre insectos descortezadores y las coníferas. En *Ecología química y alelopatía: avances y aplicaciones*. A. L. Anaya Lang, F. J. Espinosa, F. Macías y M. Reigosa (eds.), UNAM, México.

Rassati D., M. Faccoli, E. P. Toffolo, A. Battisti and L. Marini L. 2015. Improving the early detection of alien wood-boring beetles in ports and surrounding forests. *Journal of Applied Ecology*. 52: 50–58.

Sweeney, J. D., P. de Groot, J. Price and J. M. Gutowski. 2006. Effect of semiochemical release rate, killing agent, and trap design on detection of *Tetropium fuscum* (F.) and other longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology* 35: 645–654.

Witzgall P., A. Cork and P. Kirsch. 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology* 36: 80–100.

Monitoreo de plagas en ambientes urbanos

Cibrián-Tovar, D., V. Arriola-Padilla, J. Arcos-Roa, I. López-Pérez, B. Don Juan-Macías, A. M. Curiel-Granados y W. Sánchez-Martínez. 2002. Monitoreo de poblaciones de *Glycaspis brimblecombei* y su parasitoide *Psyllaephagus bliteus*. Cd. De México.

Cibrián-Tovar, D. 2015. Conchuela del eucalipto. En: *Casos de control biológico en México, Vol.2*. H. C. Arredondo-Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Biblioteca Básica de Agricultura, Editorial del Colegio de Postgraduados, Estado de México, pp. 395-413.

Dahlsten, D. L. 2003. *Biological control of the red gum lerp psyllid, aspects of eucalyptus species in California*. Center of biological control, University of California. 5 pp.

D. L. Dahlsten, K. M. Daane, T. D. Paine, K. R. Sime, A. B. Lawson, D. L. Rowney, W. J. Roltsch, J. W. Andrews Jr., J. N. Kabashima, D. A. Shaw, K. L. Robb, P. M. Geisel, W. E. Chaney, C. A. Ingels, L. G. Varela, M. L. Bianchi and G. Taylor. 2005. Imported parasitic wasp helps control red gum lerp psyllid. *California Agriculture* 59: 229-234.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003., *Norma Oficial Mexicana de Emergencia, NOM-EM-002-RECENAT-2002 que establece los lineamientos técnicos para el combate y control del psilido del eucalipto Glycaspis brimblecombei*. Publicada el 30 de enero de 2002 en el Diario Oficial de la Federación.

Sistema de Alerta Temprana y Evaluación de Riesgo en Sanidad Forestal

- CENAPRED, 2017. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Ponencias del Seminario Sistemas de Alerta Temprana. Consultado en agosto de 2017:
<<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/consulta-las-ponencias-del-seminario-sistemas-de-alerta-temprana-116910>>
- Matveeva, A. 2006. *Early warning and early response: conceptual and empirical dilemmas*. Issue Paper No.1. Global Partnership for the Prevention of Armed Conflict (GPPAC). European Centre for Conflict Prevention, The Hague.
- SIVICOFF Sistema Integral de Vigilancia y Control Fitosanitario. 2020. Disponible en:
<<http://sivicoff.cnf.gob.mx/Default.aspx>>

Evaluación de Impactos Causados por Plagas Forestales

- Albino Flores, V. 1995. *Muestreo secuencial del pulgón lanífero, (Pineus spp.) en plantaciones de árboles de Navidad en Otlatla, Puebla*. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales.
- Arceo V., R. E. y D. Cibrián T. 1980. Utilización de tablas de vida en la evaluación de mortalidad de semillas de *Pinus montezumae* Lamb. En San Juan Tetla, Pue. *Memoria Primer Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal*. Soc. Mex. Ent. Pp.66-82.
- Chandrasekhar, N., T. V. Sajeev, V. V. Sudheendrakumar and M. Banerjee. 2005. Population dynamics of the Teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) in Nilambur teak plantations using Randomly Amplified Gene Encoding Primers (RAGEP). *BMC Ecology* 5:1.
- Chang, W.Y., V. A. Lantz, C. R. Hennigar and D. A. MacLean. 2012a. Benefit-cost analysis of spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clem.) control: incorporating market and non-market values. *Journal of Environmental Management* 93: 104-122.
- Cibrián-Tovar, D. 2015. Conchuela del eucalipto. En: *Casos de control biológico en México*, Vol.2. H. C. Arredondo-Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Biblioteca Básica de Agricultura, Editorial del Colegio de Postgraduados, Estado de México, pp. 395-413.
- Cibrián-Llenderal V. D. y D. Cibrián-Tovar. 2013. *Hyblaea puera*. En: *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en las plantaciones comerciales de México*. D. Cibrián-Tovar (ed.). Universidad Autónoma Chapingo, pp: 120-125.
- Contreras A., R., R. Campos B. y J. T. Méndez M. 1991. Factores de mortalidad en conos de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. *Memoria V Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal*. Cd. Juárez, Chih. 4-6 de octubre de 1989.
- Coulson, R.N. and H. A. Witter. 1984. *Forest Entomology: Ecology and Management*. Wiley & sons. Estados Unidos. 688 p.
- DeBarr G. L. and L. R. Barber. 1975. Mortality factors reducing the 1967-1969 slash pine seed crop in Baker County Florida-a life table approach. *US For. Serv. Res. Pap. SE-131*. 16 pp.
- DeBarr, G. L., A. Roques, J. H. Sun and J. J. Turgeon (eds.) 1993. *Proceedings Cone and Seed Insect Working Party Conf. (IUFRO S2.07-01)*, 4th, Beijing and Harbin, 1992. Athens, GA: USDA For. Serv. Southeast. For. Exp. Stn.
- Fatzinger, C. W., G. D. Herteld, E. P. Merkel, W. O. Pepper and R. S. Cameron. 1980. Identification and sequential occurrence of mortality factors affecting seed yields of southern pine seed orchards. *US For. Serv. Res. Pap. SE-216*. 43 pp.
- Fox, G., J. Beke, T. Hopkin and D. McKenney. 1997. A framework for the use of economic thresholds in forest pest management. *The Forestry Chronicle* 73: 331-339.
- García D., S. E. 2017. *Especies de Fusarium asociadas a la secadera y pudrición de raíz de pino en viveros forestales del centro de México: patogenicidad y control*. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.
- Hamilton, J. R., N. K. Whittlesey, M. H. Robison y J. Ellis. 1991. Economic impacts, value added, and benefits in regional project analysis. *American Journal of Agricultural Economics* 73: 334-344.
- Hedlin, A. F, H. O. Yates III, D. Cibrián-Tovar, B. H. Ebel, T. W. Koerber and E. P. Merkel. 1980. *Cone and seed insects of North American conifers*. Environment Canada, Forestry Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, co-published by the United States Forest Service and Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México. 122 p.
- Holmes, T. P., J. P. Prestemon and K. L. Abt. 2008. *The economics of forest disturbances: wildfires, storms and invasive species*. Forestry Sciences, Springer, Dordrecht, The Netherlands.

- Katovich, S. A., R. P. Overton, P. A. Rush and H. M. Kulman. 1989. Red-pine conelet, cone and seed losses to insects and other factors in an open-grown plantation and a seed orchard. *Forest Ecology and Management* 9: 115-131.
- Kenis M. and C. Péré. 2006. Ecological impact of invasive forest insects. En: *Proceedings IUFRO Working Party 7.03.10*, 158 – 162 p. Gmunden/Austria.
- Liebholt, A. M. 2012. Forest pest management in a changing world. *International Journal of Pest Management* 58: 289–295.
- MacLean, D. A., T. A. Erdle, W. E. MacKinnon, K. B. Porter, K. P. Beaton, G. Cormier, S. Morehouse and M. Budd. 2001. The spruce budworm decision support system: forest protection planning to sustain long-term wood supply. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 1742–1757.
- Marín-Cruz, V. H., D. Cibrián-Tovar, J. T. Méndez-Montiel, O. Pérez-Vera y J. A. Cadena-Meneses, 2015a. Control del mosco fungoso negro *Lycoriella ingenua* (Dufour, 1839) y *Bradysia impatiens* (Johannsen, 1912) (Diptera: Sciaridae) en *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (27): 90-100.
- Marín-Cruz, V. H., D. Cibrián-Tovar, J. T. Méndez-Montiel, O. A. Pérez-Vera, J. A. Cadena-Meneses, HJ. Huerta, G. Rodríguez-Yam y J. A. Cruz-Rodríguez. 2015b. Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Madera y Bosques* 21 (1): 113-128.
- Marín-Cruz., V. H. 2018. *Producción de enzimas y metabolitos de Beauveria bassiana (Ascomycota: Hypocreales) y su evaluación como agentes de control de Bradysia impatiens (Diptera: Sciaridae)*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México.
- Martínez R., S., J. R. Flores A. y D. Cibrián-Tovar. 1985. Evaluación del daño y plan de manejo de las principales plagas de conos y semillas del piñón en el estado de Hidalgo. *Reporte Científico Núm. Esp 2. UANL*.
- Méndez M., J. T. y D. Cibrián-Tovar. 1982. Impacto del ataque de *Zadiprion vallicola* defoliador de los pinos, sobre el incremento de diámetro de *Pinus montezumae* en la Meseta Tarasca, Michoacán. *Memoria II Simposio Nacional de Parasitología Forestal*, Cuernavaca, Morelos.
- Nair K., S. S., V. V. Sudheendrakumar, R. V. Varma and K. C Chacko. 1985. Studies on the seasonal incidence of defoliators and the effect of defoliation on volume increment of teak. Kerala Forest Research Institute, Peechi, Kerala. *KFRI Research Report* 30: 1-78.
- Niquidet, K., J. Tang and B. Peter. 2015. Economic analysis of forest pests in Canada. *The Canadian Entomologist* 00: 1-10.
- Romo L., J., J. García J., D. Cibrián T. y E. Serrano G. 2007. Análisis económico del control biológico del psílido del eucalipto en la Ciudad de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 47-52.
- Rosenberger, R. S., L. A. Bell, P. A. Champ and E. L. Smith. 2012. Nonmarket economic values of forest insect pests: An updated literature review. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-275WWW*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 46 p.
- Slaney, G. L., V. A. Lantz and D. A. MacLean. 2009. The economics of carbon sequestration through pest management: application to forested land bases in New Brunswick and Saskatchewan, Canada. *Forest Policy and Economics* 11: 525–534
- Stark, R. W. and W. E. Waters. 1987. Impacts of forest insects and diseases: Significance and measurement. *Critical Reviews in Plant Sciences* 5: 161-203.
- Turgeon, J. J., A. Roques and P. de Groot. 1994. Insect Fauna of Coniferous Seed Cones: Diversity, Host Plant Interactions, and Management. *Annual Review of Entomology* 39:179-212.
- Ward, J. D. and P. A. Mistretta. 2002. Impact of pest on forest health. En: *Southern forest resource assessment*. D. Wear and J. Greis (eds.). Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. pp. 403-429.

Resistencia Vegetal

- Abrol, D. P. (ed.). 2014. *Integrated pest management: Current concepts and ecological perspective*. ELSEVIER. A. P. San Diego, Ca. E. U.
- Crutzen, P. J. and E. F. Stoermer. 2000. "The 'Anthropocene'". In: *Global Change Newsletter* 41: 17-18
- Darwin, C. 1859. *El origen de las especies*. Feedbooks. <http://www.feedbooks.co>
- Ehrlich, P. R. and P. H. Raven. 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution* 18: 586-608.

- Feeny, P. P. 1975. Biochemical coevolution between plants and their insect herbivores. En: *Coevolution of Animals and Plants*. L. E. Gilbert and P. H. Raven (eds.). Univ. of Texas Press, Austin. pp. 3-19.
- Flor, H. H. 1942. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini*. *Phytopathology* 32: 653–659.
- Grimaldi, D. and M. S. Engel. 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Iannuzzi, R. and C. C. Labandeira. 2008. The oldest record of external foliage feeding and the expansion of insect folivory on land. *Annals of the Entomological Society of America* 101: 79-94.
- Kogan. M. and E. F. Ortman. 1978. Antixenosis – a new term proposed to define Painter's "nonpreference" modality of resistance. *Bulletin of Entomological Society of America* 24: 175–176.
- Lara F.M. 1991. *Principios de resistencia a insectos*. Icone, Sao Paulo, Brasil.
- Mendel, G. 1865. *Experiments in plant hybridization*. Brünn Natural History Society.
- Painter, R. 1951. *Insect resistance in crop plants*. The University Press of Kansas, Lawrence and London.
- Robinson, R. A. 1989. *Manejo del hospedante en patosistemas agrícolas*. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Méx. México. Traducción de Roberto García.
- Romero R., F. y V. C. Villanueva. 2000. *Resistencia vegetal a insectos y ácaros: los conceptos y las bases*. Universidad Autónoma Chapingo; Chapingo, México.
- Russell, G. E. 1978. *Plant breeding for pest and disease resistance*. Butterworths, London.
- Slama, K. and C. M. Williams. 1966. 'Paper factor' as an inhibitor of the embryonic development of the European bug, *Pyrrhocoris apterus*. *Nature* 210: 329-30
- Vanderplank, J. E. 1963. *Plant diseases: epidemics and control*. Academic Press, New York.

Control Biológico

- Aluja, M., P. Montoya, J. Cancino, L. Guillén y R. Ramírez-Romero. 2008. Moscas de la Fruta, *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae). En: *Casos de control biológico en México*. H. C. Arredondo-Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). MundiPrensa. México, pp. 196-222.
- Alvarado R., B. 1992. La aplicación del control biológico en programas de manejo integrado de plagas de hortalizas. En: *II Curso de control biológico*. V. J. Leyva V. y J. E. Ibarra (eds.). Sociedad Mexicana de Control Biológico. México, pp. 86-97
- Arredondo-Bernal, H. C. 2015. Breve reseña del control biológico en México. En: *Memorias del XXVI curso de control biológico*. J. E. Ibarra-Rendón y M. C. del Rincón Castro (eds). Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2015. León, Guanajuato. México, pp. 222-242.
- Arredondo-Bernal, H. C. 2019. Directorio de laboratorios reproductores y comercializadores de agentes de control biológico en México. *Centro Nacional de Referencia de Control Biológico-CNRF. Dirección General de Sanidad Vegetal. SADER-SENASICA*. Tecomán, Colima, México. Obtenido en Línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/465042/DIRECTORIO_DE_LABS_COMERCIALIZADORES-2019.pdf> Última lectura: mayo de 2019.
- Arredondo Bernal, H. C., M. A. Mellín Rosas y E. Jiménez Jiménez. 2008. Mosca Prieta de los Cítricos, *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae). En: *Casos de control biológico en México*. H. C. Arredondo Bernal y L.A. Rodríguez del Bosque (eds.). Ed. MundiPrensa. México, pp. 333-346.
- Badii, M. H., A. E. Flores, G. Ponce, H. Quiroz, J. García-Salas y R. Foroughbakhch. 2004. Formas de evaluar los enemigos naturales en control biológico. *CULCYT/Artículo Principal*, Año 1, 2: 3-11.
- Barrera, J. F. 2015. Introducción, filosofía y alcance del control biológico. En: *Memorias del XXVI curso de control biológico*. Ibarra-Rendón, J. E. y M. C. del Rincón Castro (eds). Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2015. León, Guanajuato. México, pp. 1-11.
- Bautista-Martínez, N., J. A. Villanueva-Jiménez y H. C. Arredondo Bernal. 2008. Minador de la hoja de los cítricos (Lepidoptera: Gracillaridae). En: H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). *Casos de control biológico en México*. Ed. MundiPrensa. México, pp. 347-358.
- Begon, M., J. I. Harper y C. R. Colin. 1988. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Editorial Omega S.A, Barcelona, España.

- Bellows, T. S., R. G. Van Driesche and J. S. Elkinton. 1992. Life-table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. *Annual Review of Entomology* 37: 587- 614.
- Bellows, T. S. and R. G. Van Driesche. 1999. Life table construction and analysis for evaluating biological control agents. En: *Hand-book of biological control: principles and applications of biological control*. T. S. Bellows y T. W. Fisher (eds.). Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 199-223.
- Castañé, C. 1995. Depredadores polípagos para el control biológico en cultivos protegidos. En: *Integrated pest and disease management in protected crops*. CIHEAM. Zaragoza, España.
- Chapman, R. N. 1931. *Animal ecology, with special reference to insect*. McGraw- Hill Book Co., Inc. New York.
- Cibrián T., D. 2015. Conchuela del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae). En: *Casos de control biológico en México*, Vol. 2. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Editorial Fundación Colegio de Postgraduados. México, pp. 395-413.
- DeBach, P. 1964. El control biológico de plagas de insectos y malas hierbas. CECSA, México, D.F.
- DeBach, P. and B. R. Bartlett. 1964. Methods of colonization, recovery and evaluation. En: *Biological control of insect pests and weeds*. P. DeBach (ed.). Chapman and Hall Ltd, London, pp. 402-42.
- Doutt, R. L. y P. DeBach. 1964. Algunos conceptos y preguntas sobre control biológico. En: *El control biológico de plagas de insectos y malas hierbas*. P. DeBach (ed.). CECSA, México, D.F., pp. 151-175.
- Eilenberg, J., A. Hajek and C. Lomer. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* 46: 387-400.
- Evans, H. E. 1984. *Insect biology: a textbook of Entomology*. Addison & Wesley. Reading, EUA.
- Flanders, S. F. 1965. Competition and cooperation among parasitic Hymenoptera related to biological control. *Canadian Entomologist* 97: 409-422.
- Flint, M. L. and R. van den Bosch. 1981. *Introduction to integrated pest management*. Plenum Press, New York.
- García, R., L. E. Caltagirone and A. P. Gutiérrez. 1988. Comments on a redefinition of biological control. *BioScience* 38: 692-694.
- García-Valente, F. y L. D. Ortega-Arenas. 2008. Mosquita Blanca, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). En: H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). *Casos de control biológico en México*. Ed. MundiPrensa. México, pp 167-176.
- Greathead, D. J. and J. K. Waage. 1983. *Opportunities for biological control of agricultural pest in developing countries*. World Bank Technical Paper Number 11. 44 p. Washington, D.C.: The World Bank.
- Hagen, K. S. and G. W. Bishop. 1979. Use of supplemental food and behavioral chemicals to increase the effectiveness of natural enemies. En: *Biological control and insect pest management*. D. W. Davis et al. (eds.). Division of Agricultural Sciences, University of California. EUA, pp. 49-60.
- Howard, L. O. and W. F. Fiske. 1911. The importation into the United States of the parasites of the gypsy moth and brown-tail moth. *USDA Bureau of Entomology Bulletin* 91: 1- 312.
- Huffaker, C. B., P. S. Messenger and P. DeBach. 1971. The natural enemy component in natural control and the theory of biological control. En: *Biological Control*. Huffaker, C. B. (ed.). Plenum Press. New York, London, pp. 216-267.
- Jiménez-Jiménez, E. 1958. El empleo de enemigos naturales para el control de insectos que constituyen plagas agrícolas en la República Mexicana. *Fitófilo* 21: 5-24.
- Jervis, M. A., and M. J. W. Copland. 1996. The life cycle. En: *Insect natural enemies. Practical approaches to their study and evaluation*. M. A. Jervis y N. Kidd (eds.). Chapman and Hall. London, pp. 63-162.
- Luck, R. F., B. M. Shepard and P. E. Kenmore. 1988. Experimental methods for evaluating arthropod natural enemies. *Annual Review of Entomology* 33: 367-391.
- Luck, R. F., B. M. Shepard and P. E. Kenmore. 1999. Evaluation of biological control with experimental methods. En: *Handbook of Biological Control*. Bellows, T. S., Jr. y T. W. Fisher (eds.). Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 225-242.
- Manly, B. F. J. 1977. The determination of key factors from life table data. *Oecologia* 31: 111-117.

- Manly, B. F. J. 1989. A review of methods for the analysis of stage-frequency data. En: *Estimation and Analysis of Insect Populations*. L. L. McDonald, B. F. J. Manly, J. Lockwood and J. Logan (eds.). Springer-Verlag, New York, USA, pp. 3-69.
- Martínez, J. L., U. Nava, H. C. Arredondo y S. Aguilar. 2015. Mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). En: *Casos de control biológico en México*, Vol. 2. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Editorial Fundación Colegio de Postgraduados. México, pp. 269-294.
- Nava-Camberos, U. y V. Ávila-Rodríguez. 2008. Mosca Doméstica, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). En: *Casos de control biológico en México*. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Ed. MundiPrensa. México, pp. 395-414.
- NIMF (Norma internacional sobre medidas fitosanitarias) 3. 1996. Código de conducta para la importación y liberación de agentes exóticos de control biológico, 1996. NIMF. Pub. No. 3, FAO, Roma.
- NIMF (Norma internacional sobre medidas fitosanitarias) 5. 2002. Glosario de términos fitosanitarios, 2002. NIMF. Pub. No. 5, FAO, Roma.
- NIMF (Norma internacional sobre medidas fitosanitarias) 5. 2007. Glosario de términos fitosanitarios, 2007. NIMF. Pub. No. 5, FAO, Roma.
- Odum, E. P. 1984. *Ecología*. Tercera Edición. Nueva Editorial Interamericana S.A. de C.V. Madrid, España.
- Palomares-Pérez, M., M. A. Ayala-Zermeño, B. Rodríguez-Vélez, J. J. de la Cruz-Llanas, J. A. Sánchez-González, H. C. Arredondo-Bernal y E. G. Cordoba-Urtíz. 2016. Abundancia y depredación de *Ceraeochrysa valida* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en Colima, México. *Chilean Journal of Agriculture and Animal Science, ex Agro-Ciencia* 32:234-243.
- Rabinovich, J. 1980. *Introducción a la Ecología de Poblaciones Animales*. Editorial Continental S.A., México.
- Rodríguez del Bosque, L. A. 2019a. Bases ecológicas del control biológico. En: *Fundamento y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades*. H. C. Arredondo Bernal, F. Tamayo Mejía y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Biblioteca Básica en Agricultura Biblioteca Básica de Agricultura, Colegio de Postgraduados. (En prensa).
- Rodríguez del Bosque, L. A. 2019b. Terminología comúnmente utilizada en control biológico. En: *Fundamento y Práctica del Control Biológico de Plagas y Enfermedades*. H. C. Arredondo Bernal, F. Tamayo Mejía y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Biblioteca Básica en Agricultura Biblioteca Básica de Agricultura, Colegio de Postgraduados. (En prensa).
- Sánchez-González, J. A., M. A. Mellín-Rosas, H. C. Arredondo-Bernal, N. I. Vizcarra-Valdez, A. González-Hernández y R. Montesinos-Matías. 2015. Psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). En: *Casos de control biológico en México*, Vol. 2. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Editorial Fundación Colegio de Postgraduados. México, pp. 339-372.
- Santiago-Islas, T., A. Zamora, E. Fuentes-Temblador, L. Valencia-Luna y H. C. Arredondo-Bernal. 2008. Cochinilla rosada del hibiscus, *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae). En: *Casos de control biológico en México*. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Ed. MundiPrensa. México, pp. 177-192.
- Schuster, M. F., M. J. Lukefarh and F. G. Maxwell. 1976. Impact of nectariles cotton on plant bug and natural enemies. *Journal of Economic Entomology* 69: 400-402.
- Smith, H. D. 1919. On some phases of insect control by the biological method. *Journal of Economic Entomology* 12:288-292.
- Smith, H. D. 1958. Las interacciones de los enemigos naturales de la mosca prieta de los cítricos en México. *Fitófilo* 21: 31-36.
- Stehr, F. W. 1990. Parásitos y depredadores en el manejo de plagas. En: *Introducción al manejo de plagas de insectos*. R. L. Metclaf, R. L. y W. H. Luckmann (eds.). Limusa, México, D.F. pp. 173-221.
- Trujillo, J. 1991. Metodología del control biológico. En: *Memorias del II Curso de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Octubre de 1991, Saltillo, Coahuila. pp. 244-250.
- Van Alphen, J. J. M. and M. A. Jervis. 1996. Foraging behavior. En: *Insect natural enemies. Practical approaches to their study and evaluation*. Jervis, M. A., y N. Kidd (eds.). Chapman and Hall. London, pp. 1-62.
- Van Driesche, R. G., M. S. Hoddle and T. D. Center. 2007. *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*. U. S. Department of Agriculture, Forest Health Technology Enterprise Team, Washington D.C., USA.
- Varley, G. C. and C. R. Gradwell. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Annual Review of Entomology* 15: 1-24.

- Varley, G. C. and C. R. Gradwell. 1971. The use of models and life tables in assessing the role of natural enemies. En: *Biological Control*. C. B. Huffaker (ed.). Plenum Press, New York. USA. pp. 93-110.
- van Lenteren, J. C. and V. H. P. Bueno. 2003. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. *BioControl* 48: 123-139.
- Vejar, G. y L. A. Rodríguez del Bosque. 2015. Mosca blanca de los cereales, *Aleurocybotus occiduus* (Hemiptera: Aleyrodidae) En: *Casos de control biológico en México*, Vol. 2. H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). Editorial Fundación Colegio de Postgraduados. México, pp. 113-121
- William, R. D. 1981. Complementary interactions between weeds, weed control practices and pest in horticultural cropping systems. *Hortsciences* 16: 10-15.
- Wilson, F. and C. B. Huffaker. 1976. The philosophy, scope and importance of biological control, En: *Theory and practice of biological control*. Academic Press. New York, pp. 3-15.
- Zandstra, B. H. and P. S. Motooka. 1978. Beneficial effects of weeds on pest management – a review. *PANS* 24: 333-338.

Control Físico

- Augusto L., E. 2007. *Validación de una medida cultural y uso de micorriza para el manejo integrado de plagas del cedro y la caoba*. Tesis de licenciatura. Centro de Mejoramiento Genético y Banco de Semilla Forestales. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 70 p.
- Bethke, J. A. and S. H. Dreistadt. 2013. *Fungus Gnats*. Pest notes. Publication 7448. University of California. 4 p.
- Brackman, A y J. V. C. Guedes. 1995. Controle de insetos em frutas, hortalias, e graos armazenados com o uso de temperaturas extremas e gases. *Ciencia Rural* 25: 215-218.
- Carrano M., A. F. 2014. *Manejo integrado de Pragas florestais, fundamentos ecológicos conceitos e táticas de control*. Tech. Books Ed. Rio de Janeiro, Brasil.
- Castellanos-Bolaños, J. F., E. O. Ruiz-Martínez, M. Gómez-Cárdenas y R. González-Cubas. 2013. Fundamentos técnicos para el control de insectos descortezadores de pinos en Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacifico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca, México. *Folleto Técnico* Núm. 40. 31 p.
- Castresana, J. E. 2016. *Efectividad de las trampas amarillas para el control de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en el cultivo del tomate *Lycopersicon esculentum* (miller) Solanaceae en el norte de la provincia de Entre Ríos*. Universidad de La Plata. Tesis de Maestría en Ciencias.
- Cibrián T., D., A. Lagunes T., H. Bravo M., J. L. Carrillo S., C. Soss M. y J. Vera G. 1998. Control de insectos de conos y semillas de árboles forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4: 285-296.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., J. E. Flores L. y H. O. Yates III. 1995. *Insectos forestales de México/ Forest Insects of Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México. Forest Service, USDA, Estados Unidos, Natural Resources, Canada, Canada y Comisión Forestal de América del Norte FAO. Pub 6 COFAN FAO.
- Cibrián T., D., S. A. Quiñonez F., J. A. Olivo M., E. A. Gamboa S., S. Quiñonez B., J. L. Aguilar V. y J. M. Cadena B. 2013. *Análisis de las tácticas y tratamientos de prevención, combate y control de infestaciones por insectos descortezadores*. Alianza México REDD. 54 p.
- Cibrián T., D., S. A. Quiñonez F., S. Quiñonez B., A. Llanderal A. y J. Morales B. 2014. *Alternativas mecánicas para el control de insectos descortezadores de pino*. Reporte Técnico CONAFOR. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de México. 77 p.
- Cibrián T., D., J. Morales B., R. Campos B. y R. Vargas C. 2018. *Desarrollo de la cadena productiva de piñón rosa en el ejido La Florida, Cardonal, Hidalgo*. Informe final. Programa Especial de Extensión y Vinculación (PEEVU 2017). Universidad Autónoma Chapingo. 94 p.
- Escobar D., R., F. García C., N. Y Rentería y J. C. Neita. 2002. *Manejo y control de hormiga arriera *Atta spp.* y *Acromyrmex spp.* en sistemas de producción de importancia económica en el Departamento del Chocó*. Cartilla 2, Ministerio de Agricultura y Universidad Tecnológica del Chocó, Col.
- Ferreira-Filho, P. J., C. F. Wilcken, D. A. Neves, M. H. F. A. D. Pogetto, J. B. Carmo, J. C. Guerreiro, J. E. Serrão y J. C. Zanuncio. 2015. Does Diatomaceous Earth Control Leaf-Cutter Ants (Hymenoptera: Formicidae) in the Eucalyptus Plantations?. *Journal of Economic Entomology* 108: 1124-1128. <https://doi.org/10.1093/jee/tov066>

- Fisher, G., J. de Angelis, D. M. Burguet, H. Homan, C. Braid; R. Stoltz, A. Antonielli, D. Mayer and E. Beers. 1993. *Pacific Northwest, Insect Control Handbook*. Oregon State Univ., Washington State Univ. y Univ. of Idaho. 352 p.
- Fonseca G., J., C. Llanderal C., D. Cibrián T., A. Equihua M. y H. M. de los Santos P. 2009. Secuencia de arribo de coleópteros en árboles de *Pinus montezumae* Lamb. dañados por incendios. *Revista Ciencia Forestal en México* 34: 149-170.
- Fuentes S., M., D. Luna S., J. Osorio S. y J. Corona I. 2003. Construcción y validación de un secador solar para madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9: 171-176.
- Herrera B., O., F. Ruiz A., W. Santiago, G. y D. Sarmiento B. 2017. Secador solar: una alternativa de bajo costo para secar madera aserrada en la Sierra Juárez, Oaxaca. *Agroproductividad* 10: 84-89.
- Knigh, F. B. and H. J. Heikkinen. 1980. *Principles of Forest Entomology* Fifth ed. McGraw, New York. E. U.
- Korunic, Z. 2013. Diatomaceous Earths – Natural Insecticides. *Pesticides & Phytomedicine* (Belgrado) 28: 77–95.
- Korunic, Z. 2016. Overview of undesirable effects of using diatomaceous earths for direct mixing with grains. *Pesticides & Phytomedicine* (Belgrado) 31: 9-18.
- Korunic, Z., V. Rozman, A. Liška and P. Lucić. 2016. A review of natural insecticides based on diatomaceous earths. *Poljoprivreda/Agriculture* 22: 10-18.
- Livingston, L. 2004. Management guide for ambrosia beetles. *Forest Health Protection and State Forestry Organization* 5.5. 4 p.
- Martínez-Ferrer M. T., J. M. Fibla, J. M. Campos, E. Beltrán y J. L. Ripollés. 2003. Aplicación de aceites minerales insecticidas en árboles adultos de cítricos para el control de *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillaridae) y otras plagas de verano (I): Eficacia sobre plagas. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 29: 281-289.
- Miller, W. E. 1978. Use of prescribed burning in seed production areas to control red pine cone beetle. *Environmental Entomology* 7:698-702.
- Muñoz A., F. 2008. Secado de la madera aserrada. *Kuru: Revista Forestal*. 5: 1-6.
- Nijholt, W. W. 1978. Ambrosia beetle -a menace to the forest industry. *Canadian Forestry Service*, Pacific For. Res. Centre, Victoria, B.C., BC-P-25, 8 pp.
- Noukoun, C., G. Bryant and S. D. Frank. 2014. The effect of sticky bands on cankerworm abundance and defoliation in urban trees. *Arboriculture and Urban Forestry* 40: 135-142.
- Orozco-Santos M., M. Robles-González, L. M. Hernández-Fuentes, J. J. Velázquez-Monreal, M. de J. Bermudez-Guzmán, M. Manzanilla-Ramírez, G. Manzo-Sánchez y D. Nieto-Ángel. 2016. Uso de aceites y extractos vegetales para el control de *Diaphorina citri* Kuwayama en lima mexicana en el trópico seco de México. *Southwestern Entomologist* 41(4):1051-1066.
- Pedigo, L. P. and M. E. Rice. 2014. *Entomology and pest management*. Waveland press. II. E. U. A.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2017. Norma Oficial Mexicana NOM-019 SEMARNAT-2017. Publicada el 22 de marzo de 2018 en el Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT/SAGARPA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales/Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2017. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007. Publicada el 16 de enero de 2009 en el Diario Oficial de la Federación.
- Serrano C., Z. 2011. *Guía práctica del empleo de materiales plásticos en agricultura y ganadería*. Colección Técnicas Agrícolas. España.
- Villa-Castillo, J. 1993. Valoración del derribo y abandono como método de control para *Dendroctonus adjunctus* Blf. (Col.: Scolytidae) en el Parque Nacional Nevado de Colima. *Boletín Técnico Núm. 110*. SARH-INIFAP. México. D. F. 71 p.
- Vincent, C., B. Panneton and Fleurat-Lessard, F. (eds.). 2001. *Physical Control Methods in Plant Protection*. Springer/INRA, Heidelberg. [Translated from Vincent, C., Panneton, B., and Fleurat-Lessard, F. (eds.) (2000). "La Lutte Physique en Phytoprotection." Editions INRA, Paris.]
- Vincent, C., G. Hallman, B. Panneton and F. Fleurat-Lessard. 2003. Management of agricultural insects with physical control methods. *Annual Review of Entomology*. 48: 261-281.
- Vincent, C., P. Weintraub and G. Hallman. 2009. *Physical control of insect pests*. En: Encyclopedia of insects (2 Ed.). Vincent, H. R. y R. T. Cardé (eds.). AP. Elsevier. 794-798. 10.1016/B978-0-12-374144-8.00209-5
- Ware, G. W. 1994. *The Pesticide Book*. 4th. Edition. Thomson Publications. USA.

Yang, K., X. Wen, W. Guo and J. Wen. 2019. A novel adhesive trunk trap net for trapping *Eucryptorrhynchus brandti* (Coleoptera: Curculionidae). *Pest Management Science* 30: 20-Jun-2019.

Zarate R., R. D. 1989. *Control de insectos perforadores del fruto y la semilla y de las pudriciones del fruto del guanábano mediante el embolso*. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 46 p.

El Papel de la Silvicultura en la Prevención y Manejo Integrado de Plagas

Amman, G. D. and J. A. Logan. 1998. Silvicultural control of mountain pine beetle: Prescriptions and the influence of microclimate. *American Entomologist Fall*: 166-177.

Baker, W. L. 1992. The landscape ecology of large scale disturbances in the design and management of nature reserves. *Landscape Ecology* 7 (3): 181-194.

Barker, J. 2003. The western pine beetle and forest health: Historical approaches and contemporary consequences. *American Entomologist* 49 (3): 142-148.

Barbosa, P. and M. R. Wagner. 1989. *Introduction to Forest and shade tree insects*. Academic Press. New York. USA.

Chávez-León, G. 2017. Importancia de los árboles muertos en pie para la fauna silvestre. SAGARPA, INIFAP, CENID-COMEF. *Folleto Técnico* Núm. 20. 37 p.

Dumbar, C. S. and M. R. Wagner. 1990. Distribution of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) feeding sawflies (Hymenoptera: Diprionidae) in the United States and Canada. *Entomological News* 101 (5): 266-272.

Dumbar, C. S. and M. R. Wagner. 1992. Bionomics of *Neodiprion gillettei* (Hymenoptera: Diprionidae) on *Pinus ponderosa*. *Annals of the Entomological Society of America* 85 (3): 286-292.

Farris, K. L., M. J. Huss and S. Zack. 2004. The role of foraging woodpeckers in the decomposition of ponderosa pine snags. *The Condor* 106 (1): 50-59.

Fettig, D.J., K. D. Klepzig, R. F. Billings, A. S. Munson, T. E. Neberker, J. F. Negrón and J. T. Nowak. 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest Ecology and Management* 238 (1-3): 24-53.

Furniss, M., R. L. Livingston and M. D. McGregor. 1981. Development of a stand susceptibility classification for Douglas-fir beetle. En: *Hazard-Rating Systems in forest insect pest management, Symposium Proceedings*. R. L. Hedden, S. J. Barras y J. E. Coster (eds.). GTR WO-27, USDA Forest Service. pp. 115-128.

Haack, R. A. and W. J. Mattson. 1993. Life history patterns of North American tree-feeding sawflies. En: *Sawfly life history adaptations to woody plants*. M. R. Wagner y K. F. Raffa (eds.). San Diego, USA: Academic Press. pp.453-483.

Haack, R. A. and J. W. Byler. 1994. Insects and pathogens: Regulators of forest ecosystems. *Journal of Forestry* 9 (9): 32-37.

Hedden, R. K., A. J. Barras and J. E. Coster (Eds). 1981. *Hazard-rating systems in forest insect pest management: Symposium Proceedings*. GTR WO-27, USDA Forest Service. 169 p.

Hornibrook, E. M. 1939. A modified tree classification for use in growth studies and timber working in Black Hills ponderosa pine. *Journal of Forestry* 37 (6): 483-488.

Keen, F. P. 1936. Relative susceptibility of ponderosa pines to bark-beetle attack. *Journal of Forestry* 34 (10): 919-927.

Kolb, T.E., K. M. Holmberg, M. R. Wagner and J.E. Stone. 1998. Regulation of ponderosa pine foliar physiology and insect resistance mechanisms by basal area treatments. *Tree Physiology* 18 (6): 375-381.

Leuschner, W. A., H. E. Burkhart, G. D. Spittle, I. R. Ragenovich and R. N. Coulson. 1976. A descriptive study of host and site variables associated with the occurrence of *Dendroctonus frontalis* Zimm. in east Texas. *The Southwestern Entomology* 1 (3): 141-149.

Lundquist, J. E. 1995. Disturbance profile - a measure of small-scale disturbance patterns in ponderosa pine stands. *Forest Ecology and Management* 74 (1-3): 49-59.

McMillin, J. D. and M. R. Wagner. 1993. Influence of stand characteristics and site quality on sawfly population dynamics. En: *Sawfly life history adaptations to woody plants*. M. R. Wagner y K. F. Raffa (eds.). San Diego, USA: Academic Press. pp. 333-361.

Miller, J. M. and F. P. Keen. 1960. Biology and control of the western pine beetle: *A summary of the first fifty years of research*. Washington, D.C.: USDA Forest Service. Miscellaneous Publication 800.

- Mitchell, R. G., R. H. Waring and G. B. Pitman. 1983. Thinning lodgepole pine increases tree vigor and resistance to mountain pine beetle. *Forest Science* 29 (1): 204-211.
- Mitchell, R. G. y H. K. Preisler. 1991. Analysis of spatial patterns of lodgepole pine attacked by outbreak populations of the mountain pine beetle. *Forest Science* 37(5): 1390-1408.
- Nappi, A., P. Drapeau and A. Leduc. 2015. How important is dead wood for wood peckers foraging in eastern North American boreal forests?. *Forest Ecology and Management* 346: 10-21.
- Negrón, J. F., J. L. Wilson and J. A. Anhold. 2000. Stand conditions associated with roundheaded pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestations in Arizona and Utah. *Environmental Entomology* 29 (1): 20-27.
- Nowak, J. T., J.R. Meeker, D. R. Coyle, C. A. Steiner and C. Brownie. 2015. Southern pine beetle infestations in relation to forest stand conditions, previous thinning, and old prescribed burning: Evaluation of the southern pine beetle program. *Journal of Forestry* 113 (5): 454-462.
- Oliver, C. D. and B. C. Larson. 1996. *Forest stand dynamics*. New York: John Wiley.
- Olsen, W. K., J. M. Schmid and S. A. Mata. 1996. Stand characteristics associated with mountain pine beetle infestations in ponderosa pine. *Forest Science* 42 (3): 310-327.
- OSTAFF, D. P., H. PIENE, D. T. QUIRING, G. MOREAU, J. C. G. FARRELL and T. SCARR. 2006. Influence of pre-commercial thinning of balsam fir on defoliation by the balsam fir sawfly. *Forest Ecology and Management* 223: 342-348.
- Perry J, P. Jr. 1951. Especies de escarabajos de la corteza del pino en México central. *Unasyva* 5 (4). <<http://www.fao.org/docrep/x5361s/x5361s04.htm>> (Fecha de consulta: 27/Feb./2019).
- Price. P. W. 1997. *Insect Ecology*. 3th Ed. New York, USA: John Wiley.
- Salman, K. A. and J. W. Bongberg. 1942. Logging high-risk trees to control insects in the pine stands of north eastern California. *Journal of Forestry* 40 (7): 533-539.
- Sánchez-Martínez, G. y S. Silva-Rodríguez. 2008. Caracterización de un brote de *Dendroctonus adjunctus* en el estado de Chihuahua. *Folleto Técnico* No. 38. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. 46 p.
- Sánchez-Martínez and M. R. Wagner. 1999. Short-term effects of defoliation by sawflies (Hymenoptera: Diprionidae) on above and below-ground growth of three ponderosa pine genotypes. *Environmental Entomology* 28 (1): 38-43.
- Sánchez-Martínez and M. R. Wagner. 2002. Bark beetle community structure under four ponderosa pine forest stand conditions in northern Arizona. *Forest Ecology and Management* 170 (1): 145-170.
- Sánchez-Martínez and M. R. Wagner. 2009. Host preference and attack pattern of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): A bark beetle specialist on pine regeneration. *Environmental Entomology* 38 (4): 1197-1204.
- Sánchez-Martínez, G., O. Moreno-Rico y M. E. Siqueiros-Delgado. 2010. *Crioprosopus magnificus* LeConte (Coleoptera: Cerambycidae) in Aguascalientes, Mexico: biological observations and geographical distribution. *The Coleopterists Bulletin* 64 (4): 319-328.
- Sánchez-Martínez, G., C. J. Mehmel, N. E. Gillette., E. González-Gaona, J. A. López-Hernández, J. C. Monárrez González, J. L. García Rodríguez, S. R. Mori, H. E. Alanís Morales, J. M. Mejía-Bojórquez, M. Cano-Rodríguez, A. Cortés-Chamorro y L. M. Torres-Espinosa. 2012 a. Fundamentos para el control integral del descortezador *Dendroctonus pseudotsugae* barragani Furniss en México. *Folleto Técnico* núm. 46. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes, México. 54 p.
- Sánchez-Martínez, G., E. Alanís-Morales, M. Cano-Rodríguez y J. A. Olivo-Martínez. 2012 b. Biología y aspectos taxonómicos de dos especies de mosca sierra de los pinos en Chihuahua. *Folleto Técnico* Núm. 44. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. 26 p.
- Sandoval F., J. A. y D. Cibrián T. 1984. Algunas características dasométricas de rodales atacados por *Dendroctonus adjunctus* Blandford en Zoquiapan. En: *Memoria de los Simposia Nacionales de Parasitología Forestal*. SARH. 1985. México, D. F. pp. 371-381.
- Sartwell, C. and R. E. Stevens. 1975. Mountain pine beetles in ponderosa pine, prospects for silvicultural control in second growth stands. *Journal of Forestry* 73 (3): 136-140.
- Schmid, J. M. and S. A. Mata. 1992. Stand density and mountain pine beetle-caused tree mortality in ponderosa pine stands. *Res. Note* RM-515. Fort Collins, CO: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 4 p.

Shore, T. L. and L. Safranyik. 1992. Susceptibility and risk rating systems for the mountain pine beetle in lodgepole pine stands. Forestry Canada, Pacific and Yukon Region, Pacific Forestry Centre, B.C. Canada. 12 p.

Smith, D. R. 1988. A synopsis of the sawflies (Hymenoptera: Symphyta) of America South of the United States: introduction, Xyelidae, Pamphiliidae, Cimbicidae, Diprionidae, Xiphydriidae, Siricidae, Orussidae, Cephidae. *Systematic Entomology* 13 (2): 205-261.

Smith, R. H., B. E. Wickman and R. C. Hall. 1981. The California pine risk-rating system: its development, use, and relationships to other systems. En: *Hazard-rating systems in forest insect pest management: Symposium Proceedings*. R. L. Hedden, S. J. Barras y J. E. Coster (Tech. Coordinators). GTR WO-27, USDA Forest Service. pp. 53-69.

Smith, D. M., B. C. Larson, M. J. Kelty and P. M. S. Ashton. 1997. *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. 9th Ed. John Wiley. New York. USA.

Spiering, D. J. and R. L. Knight. 2005. Snag density and use by cavity-nesting birds in managed stands of the Black Hills National Forest. *Forest Ecology and Management* 214 (1-3): 331-343.

Spurr, S. H. and B. V. Barnes. 1980. *Ecología Forestal*. AGT Editor. México.

Stockland, J. N., J. Siitonen y B.G. Jonsson. 2012. *Biodiversity in dead wood*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.

Sturgeon K., B. and J. B. Mitton. 1982. Evolution of bark beetle communities. En: *Bark beetles of North American conifers: A system for the study of evolutionary biology*, J. B. Mitton y K. B. Sturgeon (eds.). Austin: University of Texas Press.

Zausen G. L., T. E. Kolb, J. D. Bailey and M. R. Wagner. 2005. Long-term impacts of stand management on ponderosa pine physiology and bark beetle abundance in northern Arizona: A replicated landscape study. *Forest Ecology and Management* 218 (1-3): 291-305.

Control Químico

Fundamentos de control químico

Bliss, C. I. 1934. *The method of PROBITS*. Science 79 (2037): 38-39. DOI: 10.1126/Science. 79.2037.38

Brown, A. W. A. 1958. *Insecticide Resistance in Arthropods*. Advances in Pest Control Research, 2. W.H.O. Geneva.

Davidson, J. A. and M. J. Raupp. 2014. *Managing insects and mites on woody plants, an IPM approach*. Tree Care Industry association. New Hampshire.

DEAQ. 2019. *Diccionario de especialidades agroquímicas*. PLM, México.

Eto, M. 1976. *Organophosphorus Pesticides: Organic and Biological Chemistry*. CRC Press. USA. 387 p.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Roma.

FSC. Forest Stewardship Council. 2019. Listas FSC de pesticidas altamente peligrosos FSC-POL-30-001aES. FSC International Center, Unidad de Desempeño y Estándares, Bonn, Alemania.

IRAC, Insecticide Resistance Action Committee. 2019. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. *Comité de acción contra la resistencia a insecticidas*. Folleto de clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. Versión actualizada en enero 2019. <<http://www.irac-online.org/teams/mode-of-action/>>

IRET. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. 2020. Manual de plaguicidas de Centroamérica. En: <<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr>>

Lagunes-Tejeda, A., J. C. Rodríguez-Maciél y J. De Loera-Barocio. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. *Agrociencia* 43: 173-196.

LGS, *Ley General de Salud*. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. Publicada el 7 de febrero de 1984 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 29 de noviembre de 2019.

Rodríguez-Maciél, J. C., G. Silva-Aguayo y P. Guzmán. 2009. El bioensayo con plaguicidas en artrópodos. En: *Tópicos selectos de estadística aplicados a la fitosanidad*. Colegio de Postgraduados e Instituto Politécnico Nacional. México.

SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1995. *Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995*. Publicada el 1 de agosto de 1997 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 11 de agosto de 2015.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. *NMX-AA-170-SCFI-2016*, certificación de la operación de viveros forestales (cancela a la NMX-AA-170-SCFI-2014). Publicada el 7 de diciembre de 2016 en el Diario Oficial de la Federación.

SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 1994. *Ley Federal de Sanidad Vegetal*. Publicada el 5 de enero de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 26 de diciembre de 2017.

Sparks, T. C. and R. Nauen. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121: 122–128.

SSA. Secretaría de Salubridad y Asistencia 2009. Norma *Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009*. Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Publicada el 13 de abril de 2010 en el Diario Oficial de la Federación.

Ware, G. W. 1994. *The Pesticide Book*. 4th. Edition. Thomson Publications. USA.

Los insecticidas en el ámbito forestal

Cibrián T., D. (ed.). 2017. *Fundamentos de Entomología Forestal*. Universidad Autónoma Chapingo, CONACYT.

Davidson, J. A. and M. J. Raupp. 2014. *Managing insects and mites on woody plants, an IPM approach*. Tree Care Industry association. New Hampshire.

DEAQ. 2019. *Diccionario de especialidades agroquímicas*. PLM, México.

IRAC, Insecticide Resistance Action Committee. 2019. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. *Comité de acción contra la resistencia a insecticidas*. Folleto de clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. Versión actualizada en enero 2019 <<http://www.irac-online.org/teams/mode-of-action/>>

IRET, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. 2020. *Manual de plaguicidas de Centroamérica*. En: <<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr>> última consulta el 2 de abril de 2020.

FSC, Forest Stewardship Council. 2019. Listas FSC de pesticidas altamente peligrosos FSC-POL-30-001aES. FSC International Center, Unidad de Desempeño y Estándares, Bonn, Alemania.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. *NMX-AA-170-SCFI-2016*, certificación de la operación de viveros forestales (cancela a la NMX-AA-170-SCFI-2014). Publicada el 7 de diciembre de 2016 en el Diario Oficial de la Federación.

Inyección en árboles, una técnica de control contra plagas y enfermedades

Aajoud, A., M. Raveton, H. Aouadi, M. Tissut and P. Ravanel. 2006. Uptake and xylem transport of fipronil in sunflower. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 5055-5060.

Áćimović, S. G., A. H. VanWoerkom, P. D. Reeb, C. Vandervoort, T. Garavaglia, B. M. Cregg and J. C. Wise. 2014. Spatial and temporal distribution of trunk-injected imidacloprid in apple tree canopies. *Pest Management Science* 70: 1751-1760.

Áćimović, S. G., B. M. Cregg, G. W. Sundin and J. C. Wise. 2016. Comparison of drill-and needle-based tree injection technologies in healing of trunk injection ports on apple trees. *Urban Forestry & Urban Greening* 19: 151-157.

Aranda, I., E. Gil-Peegrín, A. Gascó, M. A. Guevara, J. F. Cano, M. De Miguel and M. T. Cervera. 2012. Drought response in forest trees: from the species to the gene. In *Plant Responses to Drought Stress*, Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 293-333.

Aukema J. E., D. G. McCullough, B. Von Holle, A. M. Liebhold, K. Britton and S. J. Frankel. 2010. Historical accumulation of nonindigenous forest pests in the continental United States. *BioScience* 60: 886–897.

Baas, P., F. W. Ewers, S. D. Davis and E. A. Wheeler. 2004. Evolution of xylem physiology. En: *The evolution of plant physiology*. Academic Press. pp. 273-295.

Beck, C. B. 2010 (2ed). *An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century*. Cambridge University Press.

Beiler, J. A. 1991. Injection site wounding when using plant growth regulators. *Journal of Arboriculture* 17: 66-73.

Bite <<https://drp.bio/wp-content/uploads/2018/08/Brochure-Bite-23-04-2018.pdf>>

Brown, G. K. 1978. Prototype equipment for commercial pressure-injection of aqueous growth regulators into trees. *Journal of Arboriculture* 4: 7-13

- Burkhard, R., H. Binz, C. A. Roux, M. Brunner, O. Ruesch and P. Wyss. 2015. Environmental fate of emamectin benzoate after tree micro injection of horse chestnut trees. *Environmental toxicology and chemistry* 34: 297-302.
- Byrne, F. J., R. I. Krieger, J. Docola and J. G. Morse. 2014. Seasonal timing of neonicotinoid and organophosphate trunk injections to optimize the management of avocado thrips in California avocado groves. *Crop Protection* 57: 20-26.
- Chaney, W. R. 1986. Anatomy and physiology related to chemical movement in trees. *Journal of arboriculture* 12: 85-91.
- Costonis, A. C. 1981. Tree injection: perspective macro-injection/micro-injection. *Journal of Arboriculture* 7: 275-277.
- Craighead, F. C. and R. A. St. George. 1938. Experimental work with the introduction of chemicals into the sap stream of trees for the control of insects. *Journal of Forestry* 36: 26-34.
- De la Parra, A. S. y J. S. Calderón. 1992. Técnica original para inyección de líquidos en troncos de árboles. En *Memoria del Segundo Congreso Mundial del Aguacate*, pp. 199-203.
- Dal Maso E., B. t. Linaldeddu, G. Fanchin, M. Faccoli and L. Montecchio 2019. The potential for pesticide trunk injections for control of thousand cankers disease of walnut. *Phytopathologia Mediterranea* 58: 73-79. doi: 10.13128/Phytopathol_Mediterr-23598
- Docola, J. J., P. M. Wild, I. Ramasamy, P. Castillo and C. Taylor. 2003. Efficacy of arborjet viper microinjections in the management of hemlock woolly adelgid. *Journal of Arboriculture* 29: 327-330.
- Docola, J. J., E. J. Bristol, S. D. Sifleet, J. Lojko and P. M. Wild. 2007. Efficacy and duration of trunk-injected imidacloprid in the management of hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae*). *Arboriculture and Urban Forestry* 33:12-21.
- Docola, J. J. y P. M. Wild. 2012. Tree injection as an alternative method of insecticide application. En: *Insecticides-basic and other applications*. S. Soloneski (ed.). Intech Open. pp: 61-78. Disponible de: <<http://www.intechopen.com/books/insecticides-basic-and-other-applications/tree-injection-as-an-alternative-method-of-insecticide-application>>
- Düker, A., R. Kubiak and V. Höfer. 2006. *Stem application of plant protective agents in viticulture*. Shaker Verlag Aachen, Germany. 26-34.
- Dybas, R. A. 1989. Abamectin use in crop protection. En: *Ivermectin and abamectin*. W. C. Campbell (ed.) Springer, New York, NY, pp. 287-310.
- Ellmore, G. S. and F. W. Ewers. 1986. Fluid flow in the outermost xylem increment of a ring-porous tree, *Ulmus americana*. *American Journal of Botany* 73: 1771-1774.
- Fernandez de Córdoba, J. F. y F. J. Gallego, F. J. 1997. Control de la cochinilla de la encina (*Asterolecanium ilicicola*, Targioni, 1892) mediante la inyección de insecticidas al tronco del árbol. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 23: 607-612.
- Fuchs, A. D. 1988. A comparison of three different trunk injection systems for use with plant growth regulators. *Journal of arboriculture* 14: 94-98.
- Gentry, C., J. Dutcher, R. Littrell y R. Worley 1982. Low-Pressure Trunk Injection of Dicrotophos and Solubilized Benomyl for Pest Control on Mature Pecan Trees. *Journal of Economic Entomology* 75: 611-615.
- Gizińska, A., A. Miodek, A. Wilczeck, W. Wloch and M. Iqbal. 2015. Wood porosity as an adaptation to environmental conditions. *Nature Journal* 48: 34-52
- Gomez S. and M. Ferry. 2002. The red palm weevil in the Mediterranean area. *Palms* 46: 172-178.
- Grosman, D. M., S. R. Clarke and W. W. Upton. 2009. Efficacy of two systemic insecticides injected into loblolly pine for protection against southern pine bark beetles (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of economic entomology* 102: 1062-1069.
- Guillot, O. and G. Bory. 1997. Trunk insertion: a solution to urban trees chemical protection?. En: International Symposium on Urban Tree Health. M. Lemattre, P. Lemattre y F. Lemaire (eds.). *Acta Horticulturae* (ISHS), Paris, France. 496: 137-146.
- Helson, B. V., D. B. Lyons, K. W. Wanner and T. A. Scarr. 2001. Control of conifer defoliators with neem-based systemic bioinsecticides using a novel injection device. *The Canadian Entomologist* 133: 729-744.
- Himelick, E. B. 1972. High pressure injection of chemicals into trees. *Arborist's News* 37: 97-103.
- Hock, W. K. and C. L. Wilson. 1972. Pressure injection of chemicals into living trees. *American Nurseryman* 135: 7-9.
- Hutson, D. H. and T. R. Roberts (Eds.). 1999. *Metabolic pathways of agrochemicals:-Insecticides and fungicides*. Royal Society of Chemistry.

- IRAC, Insecticide Resistance Action Committee. 2019. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. *Comité de acción contra la resistencia a insecticidas*. Folleto de clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. Versión actualizada en enero 2019. <<http://www.iraonline.org/teams/mode-of-action/>>
- Jeschke, W. D. and J. S. Pate. 1991. Cation and chloride partitioning through xylem and phloem within the whole plant of *Ricinus communis* L. under conditions of salt stress. *Journal of Experimental Botany* 42: 1105-1116.
- Kielbaso, J. J., H. Davidson, J. Hart, A. Jones and M. K. Kennedy. 1979. In *Proceedings of Symposium on Systemic Chemical Treatment in Tree Culture*. October 1978. Michigan State University, Kellogg Center for Continuing Education, East Lansing, Michigan, Michigan State University and North Central Forest Experiment Station (Saint Paul, Minn.).
- Kobza, M., G. Juhasova, K. Adamčíková and E. Onrušková. 2011. Tree injection in the management of horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Gesunde Pflanzen* 62: 139-143.
- Kondo, E. S. 1978. Root flare and root injection techniques. En: *Proc. of the symposium on systemic chemical treatment in tree culture* (pp. 133-139).
- Kozlowski, T. T. (ed.) 1976. *Water deficits and plant growth* Vol 4. Academic Press. Estados Unidos.
- Kramer, P. and T. T. Kozlowski. 1979. *Physiology of Woody plants*. Academic Press. New York.
- Ksenzhek, O. S. and A. G. Volkov. 1998. *Plant energetics*. Elsevier.
- Kuhns, M. 2011. Getting chemicals into trees without spraying. Utah Urban Forestry, State University, 1-6p. (En línea). U.S.A. Disponible en <http://extension.usu.edu/files/publications/publication/NR_FF_020pr.pdf> (última consulta: 12/11/2018).
- Lin, K., D. Haver, L. Oki and J. Gan. 2008. Transformation and sorption of fipronil in urban stream sediments. *Journal of agricultural and food chemistry* 56: 8594-8600.
- May, C. 1941. Methods of tree injection. *Trees* 4: 7-16.
- Milburn, J. A. 1979. *Water flow in plants*. Longman Inc. New York, USA.
- Montecchio, L. 2013. A venturi effect can help cure our trees. *Journal of Visualized Experiments*: 80. 10.3791/51199
- Nair, V. M. G. 1981. Control of tree diseases by chemotherapy. In *Mycoplasma Diseases of Trees and Shrubs* (pp. 325-350). Academic Press.
- Navarro, C., R. Fernández-Escobar and M. Benlloch. 1992. A low-pressure, trunk injection method for introducing chemical formulations into olive trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117: 357-360.
- Norris, D. M. 1967. Systemic insecticides in trees. *Annual Review of Entomology*, 12(1), 127-148.
- Nyland, G. and W. J. Moller. 1973. Control of pear decline with a tetracycline. *Plant Disease Reporter* 57: 634-637.
- Owens, M. K. and G. W. Moore. 2007. Saltcedar water use: realistic and unrealistic expectations. *Rangeland Ecology and Management* 60: 553-557.
- Parker, P. 2014. The current state of tree injection methods and materials. *Tree Care Industry Magazine*. XXV (5): 8-14.
- Pate, J. S., W. D. Jeschke and M. J. Aylward 1995. Hydraulic architecture and xylem structure of the dimorphic root systems of South-West Australian species of Proteaceae. *Journal of Experimental Botany* 46: 907-915.
- Pavela, R. and M. Bárnet. 2005. Systemic applications of neem in the control of *Cameraria ohridella*, a pest of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*). *Phytoparasitica* 33: 49-56.
- Perry, T. O., F. S. Santamour, R. J. Stipes, T. Shear and A. L. Shigo. 1991. Exploring alternatives to tree injection. *Journal of Arboriculture* 17: 217-226.
- Pinkas, Y., E. Shabi, Z. Solel and A. Cohen. 1973. Infiltration and translocation of thiabendazole in apple trees by means of a pressure infection technique. *Phytopathology* 63: 1163-1168.
- Rankin, W. H. 1917. The penetration of foreign substances introduced into trees. *Phytopathology*. 7: 5-14.
- Reil, W. O. and J. Beutel. 1976. A pressure machine for injecting trees. *California Agriculture* 30: 4-5.
- Reil, W., J. Beutel, C. Hemstreet and W. Seyman. 1978. Trunk injection corrects iron and zinc deficiency in pear trees. *California Agriculture* 32: 22-24.
- Roach, W. A. 1939. Plant injection as a physiological method. *Annals of Botany* 3: 155-226.

- Rudinsky, J. A. and J. P. Vite. 1959. Certain ecological and phylogenetic aspects of the pattern of water conduction in conifers. *Forest Science* 5: 159-266.
- Rumbold, C. 1915. Notes on chestnut fruits infected with the chestnut blight fungus. *Phytopathology* 5: 64.
- Rumbold, C. 1920. The injection of chemicals into chestnut trees. *American Journal of Botany* 7: 1-20.
- Sachs, R. M., G. Nyland, W. P. Hackett, J. Coffelt, J. Debie and G. Giannini. 1977. Pressurized injection of aqueous solutions into tree trunks. *Scientia Horticulturae* 6: 297-310.
- Sachs, R. M., M. Campidonica, J. Steffen, D. Hodel and M. P. Jauniaux. 1986. Chemical control of tree growth by bark painting. *Journal of arboriculture* 12: 284-291
- Sanchez-Zamora, M. A. and R. Fernandez-Escobar. 2000. Injector-size and the time of application affects uptake of tree trunk-injected solutions. *Scientia horticulturae* 84: 163-177.
- Sanchez-Zamora, M. A. and R. Fernandez-Escobar. 2004. Uptake and distribution of trunk injections in conifers. *Arboriculture & Urban Forestry* 30: 73.
- Shang, S., H. Zhou, X. Chang, M. Liu, N. Li, N. and Q. hang. 2014. Study on factors of inject large volume liquid into trunk. *Mathematical modelling and engineering problems* 1: 11-14.
- Shezyrez, I. 1894. Supplement to "Extraradicate nutrition of diseased trees." I. Reprint from the Agricultural Gazette nos. 3, 4, 5, 6. St. Petersburg.
- Shigo, A. L. 1971. The beech bark disease in northeastern United States. Proc. *IUFRO Congress*. Gainesville FL.
- Shigo, A. L. 1986. *A new tree biology*. Shigo and Trees Associates, Durham, New Hampshire.
- Shigo, A. L. 1989. *Tree pruning: a worldwide photo guide*. Shigo and Trees Associates, Durham, New Hampshire.
- Shigo, A. L. 1991. *Modern arboriculture: a systems approach to the care of trees and their associates*. Shigo and Trees Associates. Durham, New Hampshire.
- Shigo, A. L., H. G. Marx and D. M. Carroll. 1977. Compartmentalization of decay in trees. USDA Forest Service. *Agric. Inform. Bull.* No. 405.
- Sinclair, W. A. and A. O. Larsen. 1981. Wood characteristics related to "injectability" of trees. *Journal of Arboriculture* 7: 6-10.
- Smitley, D. R., J. J. Doccola and D. L. Cox. 2010. Multiple-year protection of ash trees from emerald ash borer with a single trunk injection of emamectin benzoate, and single-year protection with an imidacloprid basal drench. *Journal of Arboriculture* 36: 206-211.
- Sousa, E., P. Naves and M. Vieira. 2013. Prevention of pine wilt disease induced by *Bursaphelenchus xylophilus* and *Monochamus galloprovincialis* by trunk injection of emamectin benzoate. *Phytoparasitica* 41: 143-148.
- Stipes, R. J. 1988. Glitches and gaps in the science and technology of tree injection. *Journal of arboriculture* 14: 165-172
- Takai, K., T. Suzuki and K. Kawazu. 2004. Distribution and persistence of emamectin benzoate at efficacious concentrations in pine tissues after injection of a liquid formulation. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 60: 42-48.
- Tattar, T. A. 1989 (Rev ed.). *Diseases of shade trees*. Academic Press. San Diego, Ca.
- Tattar, T. A., J. A. Dotson, M. S. Ruizzo and V. B. Steward. 1998. Translocation of imidacloprid in three tree species when trunk-and soil-injected. *Journal of arboriculture* 24: 54-56.
- Tattar, T. A. and S. J. Tattar. 1999. Evidence for the downward movement of materials injected into trees. *Journal of Arboriculture* 25: 325-332.
- Tyree, M. T. and J. S. Sperry. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annual Review of Plant Biology* 40: 19-36.
- Valderrama, J. F. N., J. A. P. Baena y F. J. M. Pérez. 2012. Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente* 15: 27-37.
- Van Bel, A. J. E. 1990. Xylem-phloem exchange via the rays: the undervalued route of transport. *Journal of Experimental Botany* 41: 631-644.

- VanWoerkom, A. H., S. G. Aćimović, G. W. Sundin, B. M. Cregg, D. Mota-Sanchez, C. Vandervoort and J. C. Wise. 2014. Trunk injection: An alternative technique for pesticide delivery in apples. *Crop Protection* 65: 173-185.
- Wilson, C. L. 1979. Injection and infusion of trees. En J. J. Kielbaso et al. (eds.). *Proceedings of the Symposium on Systemic Chemical Treatments in Tree Culture*, October 9-11. East Lansing, Michigan pp. 1-6.
- Zimmerman, M. H. and C. L. Brown. 1971. *Trees: structure and function*. New York, USA, Springer-Verlag.
- Zwieniecki, M. A., P. J. Melcher and N. M. Holbrook. 2001. Hydrogel control of xylem hydraulic resistance in plants. *Science* 291: 1059-1062.
- Zwieniecki, M. A., P. J. Melcher, T. S. Field and N. M. Holbrook. 2004. A potential role for xylem–phloem interactions in the hydraulic architecture of trees: effects of phloem girdling on xylem hydraulic conductance. *Tree Physiology* 24: 911-917.

Uso de Semioquímicos como Herramienta de Control de Insectos Forestales

- Blassioli-Moraes, M. C., M. Borges, R. A. Laumann, R. Borges, A. Rodrigues Viana, M. J. Tomazini, C. Cavalcante Alves Silva, M. W. Morais de Oliveira and M. I. Carissimi Boff. 2017. Identification and field evaluation of a new blend of sex pheromone of *Hypsipyla grandella*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 52(11): 977-986.
- Bauce É., N. Carisey, A. Dupont and K. van Frankenhuyzen. 2004. *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* aerial spray prescriptions for balsam fir stand protection against spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology* 97: 1624–1634.
- Billings, R. F., H. A. Pase III and J. Flores L. 1990. Los escarabajos descortezadores del pino con énfasis en *Dendroctonus frontalis*: Guía de campo para la inspección terrestre. *Texas Forest Service. Publicación 146*. Texas, Estados Unidos. 19 p.
- Billings R. F., J. Flores Lara y R. S. Cameron. 1996. Los escarabajos descortezadores del pino, con énfasis en *Dendroctonus frontalis*, Métodos de control directo. *Texas Forest Service, Publicación 150*. Texas, Estados Unidos. 19 p.
- Billings R. F., y J. V. Espino Mendoza. 2005. *El gorgojo descortezador del pino (Dendroctonus frontalis) en Centroamérica. Como reconocer, prevenir y controlar plagas*. Servicio Forestal Texas, Publicación 065/1500. Texas, Estados Unidos. 18 p.
- Borden, J. H. 1990. Use of semiochemicals to manage coniferous tree pests in western Canada. En: *Behavior modifying chemicals for insect management*. R. L. Ridgway, R. M. Silverstein y M. N. Inscoe (eds.). New York, pp. 281-315.
- Borden, J. H. 1992. Two tree baiting tactics for the management of bark beetles with semiochemicals. *Journal of Applied Entomology* 114: 201–207.
- Borden, J. H. 1993. Strategies and tactics for the use of semiochemicals against forest insect pests in North America. En: *Pest management: biologically-based technologies*. R.D. Lumsden y J.L. Vaughn (eds.). American Chemical Society, Washington, EUA., pp. 265-279.
- Borden, J. H. 1994. Future of Semiochemicals for the Management of Bark Beetle Populations. En: *Proceedings of the Symposium on Management of Western Bark Beetles with Pheromones: Research and Development*. P. J. Shea, technical coordinator. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-150. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 53 p.
- Borden, J. H., I. M. Wilson, R. Gries, L. J. Chong, H. D. Pierce Jr. y G. Gries. 1998. Volatiles from the bark of trembling aspen, *Populus tremuloides* Michx. (Salicaceae) disrupt secondary attraction by the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae). *Chemoecology* 8: 69-75.
- Borden, J. H., J. S. Burleigh and A. L. Birmingham. 2006. Evaluation of the push-pull tactic against the mountain pine beetle using verbenone and non-host volatiles in combination with pheromone baited trees. *Forestry Chronicle* 82: 579–590.
- Cano-Ramírez, C. F. Armendáriz-Toledano, J. E. Macías-Sámamo, B. T. Sullivan y G. Zúñiga. 2012. Electrophysiological and behavioral responses of the bark beetle *Dendroctonus rhizophagus* to volatiles from host pines and conspecifics. *Journal of Chemical Ecology* 38: 331-340.
- Cano-Ramírez, C., M. F. López, A. K. Cesar-Ayala, V. Pineda-Martínez, B. T. Sullivan y G. Zúñiga. 2013. Isolation and expression cytochrome P450 genes in the antennae and gut of pine beetle *D. rhizophagus* (Curculionidae: Scolytinae) following exposure to host monoterpenes. *Gene* 520 (1): 47-63.
- Copolovici, L., A. Kännaste, T. Rimmel, V. Vislap and U. Niinemets, 2011. Volatile emissions from *Alnus glutinosa* induced by herbivory are quantitatively related to the extent of damage. *Journal of Chemical Ecology* 37: 18-28.

- Dicke, M. and I. T. Baldwin. 2010. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the "cry for help". *Trends in Plant Science* 15: 167-175.
- Dickens, J. C., E. B. Jang, D. M. Light and A. R. Alford. 1990. Enhancement of insect pheromone response by green leaf volatiles. *Naturwissenschaften* 77: 29–31.
- Dickens, J. C., R. F. Billings and T. L. Payne. 1992. Green leaf volatiles interrupt aggregation pheromone response in bark beetles infesting southern pines. *Experientia* 48: 523-524.
- Domínguez Sánchez, B., N. Ramírez Marcial, J. E. Macías-Sámano y J. L. León Cortés. 2008. Respuesta kairomonal de coleópteros asociados a *Dendroctonus frontalis* y dos especies de *Ips* (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 175-183
- Evenden, M. and P. Silk. 2015. The influence of Canadian research on semiochemical-based management of forest insect pests in Canada. *The Canadian Entomologist* 148(S1), S170-S209. doi:10.4039/tce.2015.17
- Faleiro, J. R., J. A. Jaques, D. R. Carrillo, C. M. Giblin-Davis, E. Peña-Rojas and J. E. Peña. 2016. Integrated pest management (IPM) of palm pests. En: *Integrated Pest Management in the Tropics*.
- Fettig, C. J., B. M. Bulaon, C. P. Dabney and C. J. Hayes. 2012. Verbenone plus reduces levels of tree mortality attributed to mountain pine beetle infestations in Whitebark Pine, a tree species of concern. *Journal of Biofertilizers and Biopesticides* 3, 123. doi:10.4172/2155-6202.1000123
- Gillette, N. E., J. D. Stein, D. R. Oen, J. N. Webster and S. R. Mori. 2006. Pheromone-based disruption of *Eucosma sonomana* and *Rhyacionia zozana* (Lepidoptera: Tortricidae) using aerially applied microencapsulated pheromone. *Canadian Journal of Forestry Research* 36: 361-368.
- Gut, L. J., L. L. Stelinski, D. R. Thomson and J. R. Miller. 2004. Behavior-modifying chemicals: prospects and constraints in IPM. En: *Integrated pest management - potential, constraints, and challenges*. O. Koul, G.S. Dhaliwal y G. Cuperus (eds.). CABI Press, New York, New York, United States of America, pp. 73–121.
- Jackson, L., T. Molet and G. Smith. 2011. *Exotic wood borer/bark beetle, National Survey Guide. Revised July 2011*. USDA-APHIS-PPQ-CPHST, Raleigh, NC. 264 pp.
- Hallett, R. C., A. C. Oehlschlager and J. H. Borden. 1999. Pheromone trapping protocols for the Asian palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Pest Management* 45:3, 231-237.
- Huber, D. P. W. and J. H. Borden. 2003. Comparative behavioural responses of *Dryocoetes confusus* Swaine, *Dendroctonus rufipennis* (Kirby), and *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae) to angiosperm tree bark volatiles. *Environmental Entomology* 32: 742–751.
- Hulme M. and T. G. Gray. 1994. Mating disruption of Douglas-fir tussock moth (Lepidoptera: Lymantriidae) using a sprayable bead formulation of Z-6-heneicosen-11-one. *Environmental Entomology* 23: 1097-1100
- Hulme M. and T. G. Gray. 1997. Control of Douglas-fir tussock moth, *Orgyia pseudotsugata* using a pheromone and virus treatment. *Technology Transfer in Mating Distribution* 20(1): 133-137.
- Hunt, D.W.A. and J. H. Borden, B. S. Lindgen y G. Gries. 1989. The role of autoxidation of a-pinene in the production of pheromones of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1275-1282.
- Kegley, S. and N. J. Sturdevant. 2018. Seedworm (*Cydia piperana* complex) monitoring in ponderosa pine at plains tree improvement area. 18(6) *FHP Report*, USDA-FS, Northern Region. 8 p.
- Leufvén A., B. Bergström and E. Falsen. 1984. Interconversion of verbenols and verbenone by identified yeasts isolated from the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Chemical Ecology* 10: 1349-1361.
- Lyons, D. B., R. Lavallée, G. Kyei-Poku, K. van Frankenhuyzen, S. Johny and C. Guertin C. 2012. Towards the development of an autodissemination trap system to manage populations of emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) with the native entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Journal of Economic Entomology* 105: 1929–1939.
- Macías-Sámano, J. E. 2004. Bark beetles and mahogany shootborer: Semiochemical research in Latin America. In *Proceedings Workshop on Semiochemicals and Microbial Antagonists: Their Role in Integrated Pest Management in Latin America*. CATIE-IFS-KSLA-MISTRA. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 35-38.
- Macías-Sámano, J. E., M. L. Rivera-Granados, R. Jones y G. Ibarra. 2014. Respuesta de insectos descortezadores de pino y de sus depredadores a semioquímicos en el sur de México. *Madera y Bosques* 20(3): 41-47.
- Macías-Sámano, J. E. y A. Niño Domínguez. 2016. *Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de semioquímicos*. USDA-FS-IP y EL Colegio de la Frontera Sur ECOSUR. 43 p.

- Macías-Sámamo, J. E. y G. Zúñiga. 2016. Estado actual del conocimiento en México sobre el uso de semioquímicos que median las interacciones entre insectos descortezadores y las coníferas. En: *Ecología Química y Alelopatía: avances y aplicaciones*. A. L. Anaya Lang, F. J. Espinosa, F. Macías and M Reigosa (eds), UNAM, México. En prensa.
- Mayer M. S and J. R. McLaughlin. 1991. *Handbook of insect pheromones and sex attractants*. CRC Press. Taylor & Francis Group, London, United Kingdom.
- Moreno B., J. E. Macías-Sámamo, B. T. Sullivan and S. R. Clarke. 2008. Field response of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytinae) to synthetic semiochemicals in Chiapas, Mexico. *Journal of Economic Entomology* 101(6): 1821-1825.
- Niño-Domínguez A., B. T. Sullivan, J. H. Urbina-Lopez and J. E. Macías-Sámamo. 2015. Pheromone-mediated mate location and discrimination by two syntopic sibling species of *Dendroctonus* bark beetles in Chiapas, Mexico. *Journal of Chemical Ecology* 41 (8): 746-756.
- Niño-Domínguez A., B. T. Sullivan, J. H. Urbina-López and J. E. Macías-Sámamo. 2016. Responses by *Dendroctonus frontalis* and *D. mesoamericanus* (Coleoptera: Curculionidae) to semiochemical lures in Chiapas, Mexico: multiple roles of pheromones during joint host attack. *Journal of Economic Entomology* 109 (2): 724-731.
- Niño-Domínguez A., B. T. Sullivan, J. H. Urbina-López and J. E. Macías-Sámamo. 2018. Discrimination of odors associated with conspecifics and heterospecifics frass by sibling species *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and *Dendroctonus mesoamericanus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental Entomology* 47(6): 1532-1540.
- Rappaport N. G., J. D. Stein, A. A. del Rio Mora, G. DeBarr, P. de Groot and S. Mori. 2000. Responses of *Conophthorus* spp. (Coleoptera: Scolytidae) to behavioral chemicals in field trials: a transcontinental perspective. *The Canadian Entomologist* 132: 925-937.
- Ross D. W., G. E. Daterman and S. Munson. 2004. Evaluation of the antiaggregation pheromone, 3-methylcyclohex-2-en-1-one (MCH), to protect live spruce from spruce beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestations in southern Utah. *Journal of Entomological Society of British Columbia* 101: 145-146.
- Ryall K. L., P. J. Silk, J. F., P. Mayo, R. Lavallée, C. Guertin and T. Scarr. 2015. Effects of pheromone release rate and trap placement on trapping of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in Canada. *Environmental Entomology* 44(3):734-745.
- Sánchez-Martínez G., J. C. Mehmel, N. E. Gillette, E. González-Gaona, J. A. López-Hernández, J. C. Monjarréz- González, J. L. García-Rodríguez, S. M. Mori, H. E. Alanís-Morales, J. M. Mejía-Bojórquez, M. Cano-Rodríguez M. A. Cortéz-Chamorro y L. M. Torres-Espinoza. 2012. *Fundamentos para el control integral del descortezador Dendroctonus pseudotsugae barragani Furniss en México*. Libro Técnico No. 46, INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellón de Arteaga. Aguascalientes, México.
- Scala A. A. Silke, M. Rossana, M. A. Haring and R. C. Schuurink. 2013. Green leaf volatiles: A plant's multifunctional weapon against herbivores and pathogens. *International Journal of Molecular Science* 14: 17781-17811.
- Strom B. L., S. R. Clarke and P. J. Shea. 2004. Efficacy of 4-allylanisole-based products for protecting individual loblolly pines from *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Journal of Forest Research* 34, 659-665.
- Strom B. L. and S. R. Clarke. 2011. Use of semiochemicals for southern pine beetle infestation management and resource protection. En: *Southern Pine Beetle II*. R. N. Coulson y K. D. Klepzig (eds.). General Technical Report SRS-140, USDA Forest Service Southern Research Station, Asheville, NC, pp. 381-397.
- Sullivan, B. T. 2016. Semiochemicals in the natural history of Southern Pine Beetle *Dendroctonus frontalis* Zimmermann and their role in pest management. En: C. Tittiger and G. J. Blomquist (eds.). *Advances in Insect Physiology*, Oxford, Academic Press, pp. 129-193.
- Sullivan B. T., A. Niño, B. Moreno, C. Brownie, J. E. Macías-Sámamo, S. Clarke, L. Kirkendall and G. Zúñiga. 2012. Biochemical evidence that *Dendroctonus frontalis* consists of two sibling species in Belize and Chiapas, Mexico. *Annals of the Entomological Society of America*. 105(6): 817-831.
- Sweeney J., P. J. Silk, C. Hughes, R. Lavallée, M. Blais and C. Guertin. 2013. Auto-dissemination of *Beauveria bassiana* for control of brown spruce longhorned beetle, *Tetropium fuscum* (F.) (Coleoptera: Cerambycidae). En: *Proceedings, 24th USDA Interagency Research Forum on Invasive Species, January 8-11 2013, FHTET 13-01*; Annapolis, MD. K.A. McManus y K.W. Gottschalk (eds.). United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Fort Collins, Colorado, United States of America, pp. 98-99.

Visser J. F., S. Van Straten and H. Maarse. 1979. Isolation and identification of volatiles in the foliage of potato, *Solanum tuberosum*, a host plant of the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Chemical Ecology* 5: 13–25.

Whitehouse C. M., A. D. Roe, M. I. Evenden and W. B. Strong. W.B. 2010. Biology and management of North American cone feeding *Dioryctria* species. *Canadian Entomologist* 143: 1-34.

Willhite E. A., D. L. Overhulser and C. G. Niwa. 2004. Using Douglas-fir cone gall midge pheromone traps to time insecticide applications. *Rpt. FHP-WSC-04-01*. USDA Forest Service, Forest Health Protection, Westside Service Center, 2 p.18.

Sistema de Comando de Incidentes (SCI) en las Contingencias Fitosanitarias

FEMA, Agencia Federal para Manejo de Emergencias de Estados Unidos. 1998. Incident Command System Basic, Federal Emergency Management Institute, IS 195.

FEMA, Agencia Federal para Manejo de Emergencias de Estados Unidos. 2010. introducción al Sistema de Comando de Incidentes SCI 100. (USAID Curso Básico del Sistema de Comando de Incidentes (Noviembre 2012). <<https://www.elnuevodia.com/noticias/eeuu/nota/losbomberoscombatenvariosincendiosenloesteestadosunidos-2335483/>>

USAID/OFDA/LAC. 2012. Curso Básico Sistema de Comando de Incidentes (CBSCI). Programa Regional de Asistencia para Riesgos de Desastres (RDAP). Oficina de los Estados Unidos de Asistencia para Desastres en el Extranjero para Latino América y el Caribe (OFDA/LAC), de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Regulación y Marco Normativo de la Sanidad Forestal

Tácticas de protección oficial contra plagas exóticas

Arriagada R., V. 2011. Manual de Inspección Fitosanitario. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Publicación electrónica: <<http://www.fao.org/docrep/019/i0805s/i0805s.pdf>>

Chamorro M., L. M. G. Volkovitch, T. M. Poland, R. H. Haack and S. W. Lingafelter. 2012. Preimaginal Stages of the Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae): An Invasive Pest on Ash Trees (Fraxinus). *PLoS ONE* 7(3): e33185. doi:10.1371/journal.pone.0033185

CIPF. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. 2015. *Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 1. Principios Fitosanitarios para la Protección de las plantas y la aplicación de medidas fitosanitarias en el comercio internacional*. FAO. Roma.

Cobos, S. C. 2001. Conferencias plenarias y resúmenes de las comunicaciones orales. Plagas forestales y otras leñosas. En: <<http://www.seea.es/pdf/Entomología%2001.pdf>>

Comité asesor nacional sobre especies invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Coulson, R. N. and H. A. Witter. 1984. *Forest Entomology: Ecology and Management*. Wiley & sons. Estados Unidos.

Coulson, R. N. and H. Saarenmaa. 2011. Integrated pest management of the Southern Pine Beetle. En: Coulson R. N y K. D. Lepzig (eds.) *Southern Pine Beetle II*. Southern Research Station. Gen. Tech. Rep. SRS-140 Asheville, NC. E. U.

Del Castillo, G., S. A. Peschard y N. F. Arón. 2007. Estudio de puertos de entrada México-Estados Unidos: Análisis de capacidades y recomendaciones para incrementar su eficiencia. El Colegio de la Frontera Norte. Consulta electrónica: <http://www.siam.economia.gob.mx/swb/work/models/economia/Resource/406/1/images/Estudio_Completo.pdf>.

FAO. 2012. *Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal*. Estudio FAO: Montes 164.

Haack, R. A., F. Herard, J. Sun and J. J. Turgeon. 2010. Managing invasive populations of Asian Longhorned Beetle and Citrus Longhorned Beetle: A worldwide perspective. *Annual Review of Entomology* 55: 521-546.

Johnson, W. T and H. H. Lyon. 1991. *Insects That Feed on Trees and Shrubs* (2 ed.). Cornell University Press. New York.

Koleff, P. 2011. Diplomado Fundamentos para la prevención y manejo de especies exóticas en México. Módulo I. Las especies invasoras: procesos, impactos y situación en México. CONABIO.

NIMF 32. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 32. 2009. *Categorización de productos según su riesgo de plagas*. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. FAO. Roma. En: <https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2016/01/ISPM_32_2009_Es_2016-01-14.pdf>

- NIMF 7. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 7. 2015. *Sistema de Certificación Fitosanitaria*. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. FAO. Roma. En: <https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2016/01/ISPM_07_2011_Es_2016-01-14.pdf>
- NIMF 15. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 15. 2018. *Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional*. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. FAO. Roma. En: <https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2019/05/ISPM_15_2018_Es_PostCPM-13_LRGRev_2019-05-27.pdf>
- NIMF 5. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 5. 2019. *Glosario de términos fitosanitarios*. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. FAO. Roma. <https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2020/02/ISPM_05_2019_Es_Glossary_2020-01-08_PostCPM-14_LRGRev.pdf>
- NRMF 41. Normas Regionales sobre Medidas Fitosanitarias 41. 2018. *Aplicación de enfoques de sistemas para manejar el riesgo de plagas relacionado con la movilización de productos forestales*. Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NAPPO). <<https://www.ippc.int/en/core-activities/standards-setting/ispm5>>
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2017. Monitorear cinco puntos de ingreso de productos y subproductos forestales a México como mecanismo de alerta temprana para la detección oportuna de especies exóticas y vectores de patógenos forestales en el marco del proyecto GEF 00089333 "Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI". Área de Entomología de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. J. T. Méndez, M., R. Campos B., S. E. García D. y A. L. Ángel. 78 pp.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. *Ley Federal de Sanidad Vegetal* 1994. Última Reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26-12-2017. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México
- SCT, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2017. Informe estadístico mensual, movimiento de carga, buques y pasajeros. En: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2017/Mensuales/06_junio_2017.pdf>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. *Norma Oficial Mexicana NOM-029-SEMARNAT-2003, especificaciones fitosanitarias del bambú, mimbres, caña, junco y rafia, utilizados principalmente en la cestería y espartería*. Publicada el 24 de julio de 2003 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), México. <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=693180&fecha=24/07/2003>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-013-SEMARNAT-2010, que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad de las especies de los géneros Pinus, Abies y la especie Pseudotsuga menziesii*. Publicada el 6 de noviembre de 2011 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). México. En: <https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5166515&fecha=06/11/2010>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. *Norma Oficial Mexicana NOM-016-SEMARNAT-2013, que regula fitosanitariamente la importación de madera aserrada nueva*. Publicada el 4 de abril de 2013 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). México. En: <http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5290077&fecha=04/03/2013>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2017. *Norma Oficial Mexicana NOM-144-SEMARNAT-2017, que establece las medidas fitosanitarias y los requisitos de la marca reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera que se utiliza en el comercio internacional de vienes y mercancías*. Publicada el 22 de febrero de 2018 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). México. En: <http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5514060&fecha=22/02/2018>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Publicada en el Diario oficial de la Federación el 5 de junio de 2018.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Documento inédito: Estadística de detecciones de insectos en puntos de ingreso nacionales. México.
- SENASICA. 2019. Palomilla gitana asiática (*Lymantria dispar*) Linnaeus 1758. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria-Dirección General de Sanidad Vegetal - Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Con la colaboración del Laboratorio Nacional de Referencia Epidemiológica Fitosanitaria (LaNREF) Cd. de México. Última actualización: enero de 2019. *Ficha Técnica* No. 65. 19 p.
- Tobin, P. C., B. B. Bai, D. A. Eggen and D. S. Leonard. 2012. The ecology, geopolitics, and economics of managing *Lymantria dispar* in the United States. *International Journal of pest Management* 58: 195-210.

Trotter III, R. T., S. Limbu, K. Hoover, H. Nadel and M. A. Keena. 2020. Comparing Asian Gypsy Moth [*Lymantria dispar* asiatica (Lepidoptera: Erebidae) and *L. dispar* japonica] trap data from East Asian Ports with lab parameterized phenology models: new tools and questions. *Annals of the Entomological Society of America* 113:125-138.

USDA-APHIS. 2015. *Emerald Ash Borer Program Manual, Agrilus planipennis* (Fairmaire) USDA-APHIS-PPQ-Emergency and Domestic Programs-Emergency Planning, Riverdale, Maryland.

Cambio Climático y Salud Forestal

Agne, M. C., P. A. Beedlow, D. C. Shaw, D. R. Woodruff, E. H. Lee, S. P. Cline and R. L. Comeleo. 2018. Interactions of predominant insects and diseases with climate change in Douglas-fir forests of western Oregon and Washington, USA. *Forest Ecology and Management* 409: 317-332.

Alfaro, R. I., Fady, B., G. G. Vendramin, I. K. Dawson, R. A. Fleming, C. Sáenz-Romero, R. A. Lindig-Cisneros, T. Murdock, B. Vinceti, C. M. Navarro, T. Skråppa, G. Baldinelli, Y. A. El-Kassaby and J. Looh. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management* 333(1): 76-87.

Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kizberger, A. Rigling, D. D. Breshears, E. H. Hogg, P. González, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J. H. Lim, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci and N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4): 660-684. En: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>>

Allen, C. D., D. D. Breshears and N. G. McDowell. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6(8): 129. En: <<http://dx.doi.org/10.1890/ES15-00203.1>>

Andrew, N. R. and L. Hughes. 2005. Diversity and assemblage structure of phytophagous Hemiptera along a latitudinal gradient: predicting the potential impacts of climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14: 249-262.

Astudillo-Sánchez, C. C., J. Villanueva-Díaz, A. R. Endara-Agramont, G. E. Nava-Bernal y M. Á. Gómez-Albores. 2017. Influencia climática en el reclutamiento de *Pinus hartwegii* Lindl. del ecotono bosque-pastizal alpino en Monte Tláloc, México. *Agrociencia* 51(1): 105-118.

Ayres, M. P. and M. J. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of climate change for forest herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment* 262: 263-286.

Bale, J. S., G. J. Masters, I. D. Hodkinson, C. Awmack, T. M. Bezemer, V. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J. Coulson, J. Farrar, J. Good, R. Harrington, S. Hartley, T. Jones, R. Lindroth, M. Press, I. Symrnioudis, A. Watt and J. Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1-16.

Battisti, A. 2004. Forests and climate change – lessons from insects. *Forest* 1(1): 17-24.

Beckage, B., B. Osborne, D. G. Gavin, C. Pucko, T. Siccama and T. Perkins. 2008. A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(11): 4197-4202. <<https://doi.org/10.1073/pnas.0708921105>>

Carbajal-Navarro, A., E. Navarro-Miranda, A. Blanco-García, A. L. Cruzado-Vargas, E. Gómez-Pineda, C. Zamora-Sánchez, F. Pineda-García, G. O'Neill, M. Gómez-Romero, R. Lindig-Cisneros, K. H. Johnsen, P. Lobit, L. Lopez-Toledo, Y. Herreras-Diego and C. Sáenz-Romero. 2019. Ecological restoration of *Abies religiosa* forests using nurse plants and assisted migration in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7(Article 421): 1-16. doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00421>

Castellanos-Acuña, D., R. A. Lindig-Cisneros and C. Sáenz-Romero. 2015. Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. *Ecosphere* 6(1):1-16

Castellanos-Acuña, D., K. W. Vance-Borland, J. B. S. Clair, A. Hamann, J. López-Upton, E. Gómez-Pineda, J. M. Ortega-Rodríguez and C. Sáenz-Romero. 2018. Climate-based seed zones for Mexico: guiding reforestation under observed and projected climate change. *New forests* 49(3): 297-309. <<https://doi.org/10.1007/s11056-017-9620-6>>

Chen, I. C., J. K. Hill, R. Ohlemüller, D. B. Roy and C. D. Thomas. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333: 1024-1026. <<https://doi.org/10.1126/science.1206432>>

Cid-Muñoz, R., D. Cibrián-Tovar, E. Valadez-Moctezuma, E Estrada-Martínez and F. Armendáriz-Toledano. 2020. Biology and Life Stages of Pine Spittle Bug *Ocoaxo assimilis* Walker (Hemiptera: Cercopidae). *Insects* 11(96): 1-23. doi:10.3390/insects11020096

- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), 1992. En: <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>>
- Coley, P. D. 1998. Possible effects of climate change on plant/herbivore interactions in moist tropical forests. *Climatic Change* 39: 455–472.
- Conrad, K. F., I. Woiwod, M. Parsons, R. Fox and M. Warren, M. 2004. Long-term population trends in widespread British moths. *Journal of Insect Conservation* 8: 119–136.
- Coulson, S. J., I. D. Hodkinson, N. R. Webb, K. Mikkola, J. A. Harrison and D. E. Pedgley. 2002. Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions* 8(6): 327–334.
- Crookston, N. L., G. E. Rehfeldt, G. E. Dixon and A. R. Weiskittel. 2010. Addressing climate change in the forest vegetation simulator to assess impacts on landscape forest dynamics. *Forest Ecology and Management* 260(7): 1198–1211.
- Currano, E. D., P. Wilf, S. Wing, C. Labandeira, E. Lovelock and D. Royer. 2008. Sharply increased insect herbivory during the paleocene-eocene thermal maximum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 1960–1964.
- Dale, V. H., L. Joyce, S. McNulty, R. Neilson, M. Ayres, M. Flannigan, P. Hanson, L. Irland, A. Lugo, C. J. Peterson, D. Simberloff, F. Swanson, B. Stocks and M. Wotton. 2001. Climate change and forest disturbances. *Bioscience* 51(9): 723–734.
- Das, H. P. 2004. Adaptation strategies required to reduce vulnerability in agriculture and forestry to climate change, climate variability and climate extremes. En: *World Meteorological Organization (WMO). Management strategies in agriculture and forestry for mitigation of greenhouse gas emissions and adaptation to climate variability and climate change*. Report of CAGM Working Group. Technical Note No. 202, WMO No. 969, Ginevra, WMO. pp. 41–92.
- De Lucia, E. H., C. Casteel, P. Nabity and B. O'Neill. 2008. Insects take a bigger bite out of plants in a warmer, higher carbon dioxide world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 1781–2.
- Deutsch, C. A., J. Tewksbury, R. Huey, K. Sheldon, C. Ghalambor, D. Haak, and P. Martin. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *PNAS* 105(18): 6668–6672.
- Ettinger, A. K., K. R. Ford and J. HilleRisLambers. 2011. Climate determines upper, but not lower, altitudinal range limits of Pacific Northwest conifers. *Ecology* 92(6): 1323–1331. <<https://doi.org/10.1890/10-1639.1>>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2005. Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. *Forests and Climate Change Working Paper* No. 2, Rome, FAO/Swiss Agency for Development and Cooperation.
- Fitter, A. H. and R. S. R. Fitter. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296(5573): 1689–1691.
- Flores-Nieves, P., M. Á. López-López, G. Ángeles-Pérez, M. D. de la Isla-Serrano y G. Calva-Vásquez. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham: En proceso de declinación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8): 9–20.
- Forister, M. L. and A. M. Shapiro. 2003. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology* 9(7): 1130–1135.
- Forkner, R. E., R. J. Marquis, J. T. Lill and J. L. Corff. 2008. Timing is everything? Phenological synchrony and population variability in leaf-chewing herbivores of *Quercus*. *Ecological Entomology* 33(2): 276–285.
- Franco, A. M. A., J. Hill, C. Kitschke, Y. Collingham, D. B. Roy, R. Fox, B. Huntley and C. Thomas. 2006. Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. *Global Change Biology* 12(8): 1545–1553.
- García-Hernández, M. A., T. Toledo-Aceves, F. López-Barrera, V. J. Sosa and H. Paz. 2019. Effects of environmental filters on early establishment of cloud forest trees along elevation gradients: Implications for assisted migration. *Forest Ecology and Management* 432: 427–435. En: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.042>>
- García-Hernández, M. A. and T. Toledo-Aceves. 2020. Is there potential in elevational assisted migration for the endangered *Magnolia vovidesii*? *Journal for Nature Conservation* 53: 125782. En: <<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125782>>
- Garrett, K. A., S. P. Dendy, E. E. Frank, M. Rouse and S. Travers. 2006. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44: 489–509.

- Global Monitoring Laboratory. 2020. Trends in atmospheric carbon dioxide. Earth System Research Laboratories. Consultado 7 mayo 2020. En: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>
- Gómez-Díaz, J. D., A. I. Monterroso-Rivas, J. A. Tinoco-Rueda and M. L. Toledo-Medrano. 2011. Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24(1): 31-52.
- Gómez-Mendoza, L., and L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21(6): 1545-1555.
- Gómez-Pineda, E., C. Sáenz-Romero, J. M. Ortega-Rodríguez, A. Blanco-García, X. Madrigal-Sánchez, R. Lindig-Cisneros, L. Lopez-Toledo, M. E. Pedraza-Santos and G. E. Rehfeldt. 2020. Suitable climatic habitat changes for Mexican conifers along altitudinal gradients under climatic change scenarios. *Ecological Applications* 30(2): e02041. En: <https://doi.org/10.1002/eap.2041>
- Gonzalez, P., R. P. Neilson, J. M. Lenihan and R. J. Drapek. 2010. Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 19(6): 755-768.
- Gordo, O. and J. J. Sanz. 2005. Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 146: 484-495.
- Guzmán-Aguilar, G., A. Carbajal-Navarro, C. Sáenz-Romero, Y. Herrerías-Diego, L. Lopez-Toledo and A. Blanco-García. 2020. *Abies religiosa* seedling limitations for passive restoration practice at the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in México. *Frontiers in Ecology and Evolution*. DOI: 10.3389/fevo.2020.00115
- Gutiérrez, E., y I. Trejo. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): 179-188.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, G. A. Schmidt and K. Lo. 2019. Global temperature in 2018 and beyond. En: <http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2019/20190206_Temperature2018.pdf>
- Harrington, R., I. Woiwod and T. Sparks. 1999. Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 146-150.
- Harrington, R., R. A. Fleming and I. P. Woiwod. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology* 3(4): 233-240.
- He, B., X. Cui, H. Wang and A. Chen. 2014. Drought: The most important physical stress of terrestrial ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* 34(4): 179-183. En: <<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2014.05.004>>
- Hennon, P. E. and C. G. Shaw III. 1997. The enigma of yellow-cedar decline: what is killing these long-lived, defensive trees?. *Journal of forestry* 95(12): 4-10.
- Hennon, P. E., D. V. D'Amore, D. T. Wittwer and J. P. Caouette. 2008. Yellow-cedar decline: conserving a climate-sensitive tree species as Alaska warms. En: *Integrated restoration of forested ecosystems to achieve multi-resource benefits*. R. L. Deal (ed.). Proceedings of the 2007 national silviculture workshop. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-733, Portland, OR, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, pp. 233-245.
- Hogg, E. H. and P. Y. Bernier. 2005. Climate change impacts on drought-prone forests in western Canada. *Forestry Chronicle* 81: 675-682.
- Hogg, E. H., J. P. Brandt and M. Michaelian. 2008. Impacts of a regional drought on the productivity, dieback and biomass of western Canadian aspen forests. *Canadian Journal of Forestry Research* 38(6): 1373-1384.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland, 151 pp. En: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>
- IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp. En: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>
- Jactel, H., J. Koricheva and B. Castagnyrol. 2019. Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Current Opinion in Insect Science* 35:103-108.

- Jepsen, J. U., S. B. Hagen, R. A. Ims and N. G. Yoccoz. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77(2): 257–264.
- Jones, R.W., C. W. O'Brien, L. Ruiz-Montoya and B. Gómez-Gómez. 2008. Insect diversity on tropical montane forests: diversity and spatial distribution of weevils (Coleoptera: Curculionidae) inhabiting leaf litter in southern Mexico. *Annals of the Entomological Society of America* 101: 128–139.
- Jorgenson, M. T., C. H. Racine, J. C. Walters and T. E. Osterkamp. 2001. Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska. *Climatic Change* 48(4): 551–571.
- Jump, A. S., J. M. Hunt and J. Peñuelas. 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12: 2163–2174.
- Jump, A. S., C. Mátyás and J. Peñuelas. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology and Evolution* 24(12): 694–701.
- Kelly, A. E. and M. L. Goulden. 2008. Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11823–11826. En: <<https://doi.org/10.1073/pnas.0802891105>>
- Kozlov, M. V. 2008. Losses of birch foliage due to herbivory along geographical gradients in Europe: a climate-driven pattern?. *Climatic Change* 87: 107–117.
- Lenoir, J., J. C. Gégout, P. A. Marquet, P. De Ruffray and H. Brisse. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320(5884): 1768–1771.
- Logan, J. A., J. Régnière and J. A. Powell. 2003. Assessing the impact of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology Environment* 1(3): 130–137.
- López-Toledo, L., M. Heredia-Hernández, D. Castellanos-Acuña, A. Blanco-García and C. Saénz-Romero. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change. *New Forests* 48(6): 867–881.
- Loya-Rebollar, E., C. Sáenz-Romero, R. A. Lindig-Cisneros, P. Lobit, J. A. Villegas-Moreno and N. M. Sánchez-Vargas. 2013. Clinal variation in *Pinus hartwegii* populations and its application for adaptation to climate change. *Silvae Genetica* 62(3): 86–95.
- McDowell, N. G., D. J. Beerling, D. D. Breshears, R. A. Fisher, K. F. Raffa and M. Stitt. 2011. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in Ecology and Evolution* 26(10): 523–532. En: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.06.003>>
- Mátyás, C. 2010. Forecasts needed for retreating forests. *Nature* 464: 1271.
- Mátyás, C., G. G. Vendramin and B. Fady. 2009. Forests at the limit: evolutionary–genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution Report from a research workshop. *Annals of Forest Science* 66(8): 800–800. En: <<https://doi.org/10.1051/forest/2009081>>
- Melika, G., D. Cibrián-Tovar, V. D. Cibrián-Llenderal, V. J. Tormos, J. Pujade-Villar. 2009. New species of oak gallwasp from México (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini), a serious pest of *Quercus laurina* (Fagaceae). *Dugesiana* 16(2): 67–73.
- Menéndez, R., A. González, J. Hill, B. Braschler, S. Willis, Y. Collingham, R. Fox, D. B. Roy and C. Thomas. 2006. Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences, Series B* 273: 1465–1470.
- Menéndez, R. 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150: 355–365.
- Menzel, A., N. Estrella, W. Heitland, A. Susnik, C. Schleip and V. Dose. 2008. Bayesian analysis of the species-specific lengthening of the growing season in two European countries and the influence of an insect pest. *International Journal of Biometeorology* 52(3): 209–218.
- Merrill, R. M., D. Gutiérrez, O. Lewis, J. Illán, S. Díez and R. Wilson. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology* 77: 145–155.
- Monserud, R. A., Y. Yang, S. Huang and N. Tchebakova. 2008. Potential change in lodgepole pine site index and distribution under climate change in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 343–352.
- Moore B. and G. Allard. 2008. *Climate change impacts on forest health*. Rome, Italy: Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Working Paper FBS/34E.

- Moran, E., J. Lauder, C. Musser, A. Stathos and M. Shu. 2017. The genetics of drought tolerance in conifers. *New Phytologist* 216(4): 1034-1048.
- Mortsch, L. D. 2006. Impact of climate change on agriculture, forestry and wetlands. En: *Climate change and managed ecosystems*. J. Bhatti, R. Lal, M. Apps and M. Price (eds.). Taylor and Francis, CRC Press, Boca Raton, FL, US., pp. 45–67
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. Van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and G. A. Meehl. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463(7282): 747-756. En: <<https://doi.org/10.1038/nature08823>>
- O'Neill, G., T. Wang, N. Ukrainetz, L. Charleson, L. McAuley, A. Yanchuk and S. Zedel. 2017. A proposed climate-based seed transfer system for British Columbia. Prov. B.C., Victoria, B.C. *Tech. Rep.* 099. En: <www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/Tr099.htm>
- Ortiz-Bibian, M. A., A. Blanco-García, R. A. Lindig-Cisneros, M. Gómez-Romero, D. Castellanos-Acuña, Y. Herrerías-Diego, N. M. Sánchez-Vargas and C. Sáenz-Romero. 2017. Genetic variation in *Abies religiosa* for quantitative traits and delineation of elevational and climatic zoning for maintaining Monarch Butterfly overwintering sites in Mexico, considering climatic change. *Silvae Genetica* 66(1):14-23.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology* 37: 637–69.
- Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13(9): 1860-1872.
- Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J. K. Hill, C. D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tennent, J. A. Thomas and M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579–583.
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Peñuelas, J., R. Oyaga, M. Boada and A. S. Jump. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30(6): 830-838.
- Pérez-García, J., L. Joyce, D. McGuire and X. Xiao. 2002. Impacts of climate change on the global forest sector. *Climatic change* 54: 439–461.
- Pérez-Miranda, R., F. Moreno-Sánchez, A. González-Hernández y V. J. Arriola-Padilla. 2014. Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. et. Cham. y *Pinus montezumae* Lamb. ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(25): 18-33.
- Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J. A. Hicke, M. G. Turner and W. H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience* 58(6): 501-517.
- Rasmann, S., L. Pellissier, E. Defosse, H. Jactel, G. Kunstler. 2013. Climate-driven change in plant–insect interactions along elevation gradients. *Functional Ecology*. 28. 10.1111/1365-2435.12135
- Rehfeldt, G. E., D. E. Ferguson and N. L. Crookston. 2009. Aspen, climate and sudden decline in western USA. *Forest Ecology and Management* 258: 2353-2364. En: <<http://www.treeseearch.fs.fed.us/pubs/33823>>
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero and E. M. Campbell. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119-141. En: <<http://treeseearch.fs.fed.us/pubs/40382>>
- Resco de Dios, V., C. Fischer and C. Colinas. 2007. Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures. *New Forests* 33: 29–40.
- Ripple, W. J., C. Wolf, T. Newsome, P. Barnard and W. R. Moomaw. 2019. World scientists' warning of a climate emergency. *Bioscience* 70(1): 8-12. En: <<https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>>
- Robertson, C., T. A. Nelson, D. E. Jelinski, M. A. Wulder and B. Boots. 2009. Spatial–temporal analysis of species range expansion: the case of the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Biogeography* 36(8): 1446-1458.
- Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig and J. A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421(6918): 57-60.

- Roy, D. B. and T. H. Sparks. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology* 6(4): 407–416.
- Ruiz-Talonia, L. F., N. M. Sánchez-Vargas, J. S. Bayuelo-Jiménez, S. Lara-Cabrera and C. Sáenz-Romero. 2014. Altitudinal genetic variation among native *Pinus patula* provenances: performance in two locations, seed zone delineation and adaptation to climate change. *Silvae Genetica* 63(4): 139–149.
- Ryan, M. G. 2011. Tree responses to drought. *Tree Physiology* 31(3): 237-239. <https://doi.org/10.1093/treephys/tp022>
- Salama, N. K. G., J. T. Knowler and C. E. Adams. 2007. Increasing abundance and diversity in the moth assemblage of east Lach Lomondside, Scotland over a 35-year period. *Journal of Insect Conservation* 11: 151–156.
- Sáenz-Romero, C., R. Guzmán-Reyna and G. E. Rehfeldt. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México; implications for seed zoning, conservation of forest genetic resources, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management* 229: 340-350
- Sáenz-Romero, C. and B. L. Tapia-Olivares. 2008. Genetic variation in frost damage and seed zone delineation within an altitudinal transect of *Pinus devoniana* (*P. michoacana*) in Mexico. *Silvae Genética* 57(3): 165-17.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, D. Pierre, R. St-Amant, J. Beaulieu and B. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-plant impacts on vegetation. *Climatic Change* 102: 595-623. En: <<http://treesearch.fs.fed.us/pubs/36311>>
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, P. Duval, and R. A. Lindig-Cisneros. 2012a. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management* 275: 98-106.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, J. C. Soto-Correa, S. Aguilar-Aguilar, V. Zamarripa-Morales and J. López-Upton. 2012b. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México. Two location shadehouse test results. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2): 111 –120.
- Sáenz-Romero, C. 2014. *Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático*. Comisión Nacional Forestal, Guadalajara, México. 72 p
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, J. M. Ortega-Rodríguez, M. C. Marín-Togo and X. Madrigal-Sánchez. 2015. *Pinus leiophylla* suitable habitat for 1961-1990 and future climate. *Botanical Sciences* 93(4): 709-718.
- Sáenz-Romero, C., R. A. Lindig-Cisneros, D. G. Joyce, J. Beaulieu, J. B. St-Clair and B. C. Jaquish. 2016. Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change (Migración asistida de las poblaciones forestales para la adaptación de árboles ante el cambio climático). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(3): 303-323.
- Sáenz-Romero, C., E. Mendoza-Maya, E. Gómez-Pineda, A. Blanco-García, A. R. Endara-Agramont, R. Lindig-Cisneros, J. López-Upton, O. Trejo-Ramírez, C. Wehenkel, D. Cibrián-Tovar, A. Plascencia-González, C. Flores-López and J. J. Vargas-Hernández. 2020. Recent evidence of Mexican temperate forest decline, need for ex situ conservation, assisted migration and translocation of species ensembles as an adaptive management to face projected climatic change impacts in a megabiodiverse country. *Canadian Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0329>
- Seidl, R., D. Thom, M. Kautz, D. Martin-Benito, M. Peltoniemi, G. Vacchiano, J. Wild, D. Ascoli, M. Petr, J. Honkaniemi, M. J. Lexer, V. Trotsiuk, P. Mairota, M. Svoboda, M. Fabrika, T. A. Nagel and M. J. Lexer. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7(6): 395-402.
- Shugart, H., R. Sedjo and B. Sohngen. 2003. *Forests and global climate change: Potential impacts on U.S. forest resources*. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, EE.UU.
- Six, D. 2007. Climate change and the threat of forest insect and their associated fungi. En *Book of Abstracts, International Sirex Symposium*, Pretoria, Sudáfrica, 9–16 de mayo de 2007.
- Sosa Díaz, L., J. Méndez González, M. A. García Aranda, V. H. Cambrón Sandoval, J. A. Villarreal Quintanilla, C. G. Ruiz González y J. C. Montoya Jiménez. 2018. Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 187-208.
- Soto-Correa, J. C., C. Sáenz-Romero, R. Lindig-Cisneros, N. M. Sánchez-Vargas y J. Cruz-de-León. 2012. Variación genética entre procedencias de *Lupinus elegans* Kunth, zonificación altitudinal y migración asistida (Genetic variation between *Lupinus elegans* Kunth provenances, altitudinal seed zoning and assisted migration). *Agrociencia* 46(6): 593-608.
- Stefanescu, C., J. Peñuelas and I. Filella. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* 9(10): 1494-1506.

- Stireman, J. O., L. Dyer, D. Janzen, M. Singer, J. Lill, R. Marquis, R. Ricklefs, G. Gentry, W. Hallwachs, P. Coley, J. Barone, H. Greeney, H. Connahs, P. Barbosa, H. Morais and I. Diniz. 2005. Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: implications of global warming. *PNAS* 102: 17384–6.
- Sturrock, R. N., S. J. Frankel, A. V. Brown, P. E. Hennon, J. T. Kliejunas, K. J. Lewis, J. J. Worrall and A. J. Woods. 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology* 60(1): 133-149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
- Tardieu, F., and T. Simonneau. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* (49): 419-432. En: <<https://www.jstor.org/stable/23695975>>
- Téllez-Valdés, O., P. Dávila-Aranda and R. Lira-Saade. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandiflora* var. *mexicana*, an important species of the cloud forest in eastern México. *Biodiversity and Conservation* 15(4): 1095-1107.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. Green, M. Bakkenes, L. Beaumont, Y. Collingham, B. Erasmus, M. Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. Van Jaarsveld, G. Midgley, L. Miles, M. Ortega-Huerta, A. Peterson, O. Phillips and S. Williams. 2004. *Extinction risk from climate change Nature*: 427, 145–148.
- Thomas, J. A. 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360(1454): 339-357.
- van Asch, M. and M. E. Visser. 2007. Phenology of forest caterpillars and their host trees: the importance of synchrony. *Annual Review of Entomology* 52: 37-55.
- van Asch, M., P. H. van Tienderen, L. J. Holleman and M. E. Visser. 2007. Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example. *Global Change Biology* 13(8): 1596-1604.
- Van-Ypersele, J. P. 2010. Update on scenario development: from SRES to RCPs. Proceedings IPCC. Cancún, México, December 2010. En: <https://unfccc.int/files/methods_and_science/research_and_systematic_observation/application/pdf/ipcc_van_ypersele.pdf>
- Visser, M. E. and C. Both. 2005. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272(1581): 2561-2569.
- Vitt, D.H., L. A. Halsey and S. C. Zoltai, S. C. 2000. The changing landscape of Canada's western boreal forest: the current dynamics of permafrost. *Canadian Journal of Forestry Research* 30: 283–287.
- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. Beebee, J. M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg and F. Bairlein. 2002. *Ecological responses to recent climate change. Nature* 416(6879): 389-395.
- Warren, M. S., J. K. Hill, J. A. Thomas, J. Asher, R. Fox, B. Huntley, D. B. Roy, M. G. Telfer, S. Jeffcoate, P. Harding, G. Jeffcoate, S. G. Willis, J. N. Greatorex-Davies, D. Moss and C. D. Rhomas. 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414(6859): 65-69.
- Williams, S. E., E. E. Bolitho and S. Fox. 2003. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: *Biological Sciences* 270(1527): 1887-1892.
- Wilson, R. J., D. Gutiérrez, J. Gutiérrez, D. Martínez, R. Agudo and V. J. Monserrat. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology letters* 8(11): 1138-1146.
- Wilson, R. J., D. Gutiérrez, J. Gutiérrez and V. J. Monserrat. 2007. An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology* 13(9): 1873-1887.
- Wolf, A., Kozlov, M. V. and T. V. Callaghan. 2008. Impact of non-outbreak insect damage on vegetation in northern Europe will be greater than expected during a changing climate. *Climatic Change* 87: 91–106.
- WMO (World Meteorological Organization). 2019a. Greenhouse Gas Bulletin; State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018. *Bulletin No. 15*, Geneva, Switzerland, 8 pp.
- WMO (World Meteorological Organization). 2019b. *Statement on the state of the global climate in 2018*. Geneva, Switzerland, 44 pp.
- Wyka, S. A., I. A. Munck, N. J. Brazee and K. D. Broders. 2018. Response of eastern white pine and associated foliar, blister rust, canker and root rot pathogens to climate change. *Forest Ecology and Management* 423: 18-26.
- Zhang, X., F. W. Zwiers, G. C. Hegerl, F. H. Lambert, N. P. Gillett, S. Solomon, P. A. Stott and T. Nozawa. 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448(7152): 461-465.

Índice

A

Abies religiosa (Kunth) Schltld. et Cham., 1830) 112, 304, 312, 313
Acanthocinus obsoletus (Olivier, 1795) 120
Agave lechuguilla Torr., 1859 66
Agrilus planipennis Fairmaire, 1888 156, 262, 275, 276, 295
Aleurocanthus woglumi Ashby, 1915 201
Aleurocybotus occiduus Russell, 1964 203
Aleuroplatus gelatinosus (Cockerell, 1898) 86
Amitus hesperidum Silvestri, 1927 202
Amphicerus cornutus (Pallas, 1772) 299
Anagyrus kamali Moursi, 1948 203
Anastrepha distincta (Greene, 1934) 96
Anastrepha ludens (Loew, 1873) 96
Anastrepha obliqua (Macquart, 1835) 96
Anastrepha striata (Schiner, 1868) 96
Andricus quercuslaurinus Melika y Pujade-Villar, 2009 3, 57, 307
Anoplophora chinensis (Forster, 1771) 296
Anoplophora glabripennis (Motschulsky, 1854) 156, 262, 296, 297
Aporia crataegi Linnaeus, 1758 308
Atta cephalotes (Linnaeus, 1758) 71, 129, 130
Atta mexicana (F. Smith, 1858) 130
Azadirachta indica (A. Jussieu, 1830) 241, 261

B

Baccharis conferta Kunth, 1818 313
Bacillus thuringiensis Berliner, 1915 184, 206, 242, 260
Beauveria bassiana (Bals.-Criv.) Vuill., 1912 204, 206, 243, 261
Belionota prasina (Thunberg, 1789) 299
Bradysia impatiens (Johannsen, 1912) 3, 56, 107, 123, 124, 125, 126, 173
Buprestis lyrata Casey, 1909 117
Bursaphelenchus xylophilus (Steiner y Bührer, 1934) Nickle, 1970 262

C

Calophya rubra (Blanchard), 1852 56
Campephilus imperialis (Gould, 1832) 224
Camponotus herculeanus (Linnaeus, 1758) 300
Camponotus pennsylvanicus (De Geer, 1773) 298
Cedrela odorata (Linnaeus, 1758) 59, 60, 66, 129, 255
Ceraeochrysa valida (Banks, 1944) 209, 210, 211, 212
Chaetophloeus mexicanus (Blackman, 1940) 299

Chaetophloeus minimus Wood, 1967 299
Chalcophora virginiensis (Drury, 1770) 120
Chamaecyparis nootkatensis (D. Don) Spach, 1841 304
Chamaedorea elegans Mart., 1830 66
Choristoneura fumiferana (Clemens, 1865) 155, 182, 183
Choristoneura occidentalis Freeman, 1967 1
Chrysobothris yucatanensis Van Dyke, 1953 60
Chrysoperla carnea Stephens, 1836 204
Coccotrypes carpophagus (Hornung, 1842) 299
Conophthorus edulis Hopkins, 1915 (= *Conophthorus cembroides* Wood 1972) 50, 172, 218
Conophthorus ponderosae Hopkins, 1915 172
Contarinia constricta Condrashoff, 1961 298
Contarinia cuniculator Condrashoff, 1961 298
Contarinia oregonensis Foote, 1956 276
Coptotermes gestroi Wasmann, 1896 299
Cronartium conigenum Hedgc. & N. R. Hun, 1922 172
Cryptoalemus montrouzieri Mulsant, 1853 203
Cryptocarenum seriatus Eggers, 1933 299
Ctenarytaina eucalypti (Maskell, 1890) 87
Cylindrocopturus furnissi Buchanan, 1940 298

D

Danaus plexippus (Linnaeus, 1758) 111, 112
Dendroctonus adjunctus Blandford, 1897 41, 103, 116, 142, 225, 226, 228, 229, 274, 308, 309
Dendroctonus brevicomis LeConte, 1876 116, 232, 233, 274
Dendroctonus frontalis Zimmerman, 1868 1, 2, 109, 116, 118, 119, 142, 153, 159, 160, 161, 225, 227, 231, 273, 274, 275, 277, 278
Dendroctonus jeffreyi Hopkins, 1909 116, 274
Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano & Sullivan, 2015 273
Dendroctonus mexicanus Hopkins, 1905 15, 120, 142, 217, 218, 219, 236
Dendroctonus parallelocollis Hopkins, 1869 15
Dendroctonus ponderosae Hopkins, 1902 116, 117, 153, 180, 181, 182, 225, 227, 228, 229, 231, 232, 233, 234, 274, 275, 276, 305, 308, 310
Dendroctonus pseudotsugae Hopkins, 1909 116, 142, 231, 274
Dendroctonus pseudotsugae barragani Furniss, 2001 226, 231
Dendroctonus rhizophagus Thomas & Bright, 1970 226, 230, 231, 273
Dendroctonus rufipennis (Kirby, 1837) 153

Dendroctonus valens Le Conte, 1860 3, 105, 106
Dendroctonus vitei Wood, 1974 116
Dendroterus luteolus (Schedl, 1951) 299
Diachasmimorpha longicaudata (Ashmead, 1905) 203
Diaphorina citri Kuwayama, 1908 204, 209, 210, 211, 212
Dinoderus bifoveolatus (Wollaston, 1858) 299, 300

E

Encarsia clypealis (Silvestri, 1928) 201
Encarsia formosa (Gahan, 1924) 203
Encarsia perplexa Huang y Polaszek, 1998 201
Encarsia smithi (Silvestri, 1928) 202
Enoclerus arachnodes (Klug, 1842) 205
Epirrita autumnata (Borkhausen, 1794) 310
Eretmocerus californicus Howard, 1931 203
Eucalyptus camaldulensis Dehnh., 1832 66, 163, 178
Eucalyptus grandis Hill ex Maide, 1862 66
Eucalyptus urophylla (S.T. Blake, 1977) 65, 66, 130
Eucheira socialis Westwood, 1834 14
Eucopina sonomana (Kearfott, 2013 comb. n) (= *Eucosma sonomana* (Kearfott, 1907) 104, 230, 276
Euphorbia antisyphillitica Zucc., 1832 66
Euplatypus parallelus (Fabricius, 1801) 299, 300
E Wallacea kuroshio Gomez y Hulcr, 2018 120
Evita hyalinaria blandaria Dyar, 1916 142, 318

F

Fagus sylvatica Linnaeus, 1753 304

G

Glycaspis brimblecombei Moore, 1964 23, 25, 87, 162, 163, 164, 178, 202
Gmelina arborea Roxb., 1814 66, 129, 255
Gnathotrichus sulcatus LeConte, 1868 118, 119
Grossmania koreana J.J. Kim & G.H. Kim, 2009 105

H

Haplaxius crudus (Van Duzee, 1907) 87
Heterobostrychus aequalis Waterhouse, 1884 299
Heterobostrychus brunneus (Murray, 1867) 299
Heterobostrychus hamatipennis (Lesne, 1895) 299
Heterohabdithis bacteriophora (Poinar, 1976) 206
Hevea brasiliensis (Willd. Ex A. Juss.K) Mull. Arg., 1865 66
Hirsutella thompsoni Fisher, 1950 206
Hyblaea puera Cramer, 1777 71, 132, 175
Hylaster ater Paykull, 1800 299
Hylesinus aztecus Wood, 1980 86
Hylocurus hirtellus (LeConte, 1876) 299
Hylocurus inaequalis Wood, 1956 299
Hylurgus ligniperda (Fabricius, 1787) 299

Hypothenemus birmanus (Eichhoff, 1878) 299, 300
Hypothenemus brunneus (Hopkins, 1915) 299
Hypothenemus eruditus Westwood, 1936 299
Hypothenemus gossypii (Hopkins, 1915) 299
Hypothenemus javanus (Eggers 1908) 299
Hypothenemus pubescens Hopkins, 1915 300
Hypothenemus rotundicollis (Eichhoff, 1878) 299
Hypothenemus seriatus (Eichhoff, 1872) 299, 300
Hypsipyla grandella (Zeller, 1848) 3, 56, 60, 71, 133, 215, 276

I

Icerya purchasi Mazkell, 1878 4, 201, 202
Incisitermes marginipennis (Latreille, 1817) 88
Ips bonansea (Hopkins, 1905) 15, 309
Ips calligraphus (Germar, 1824), debe citarse como *Ips apache* Lanier 1991 118, 119, 159
Ips grandicollis Wood, 1977 158
Ips lecontei Swaine, 1924 158, 206, 217, 219, 220, 221
Isaria fumosorosea Wize, 1904 206
Isaria javanica (Friedrichs & Bally) Samson & Hywel-Jones, 2005 204, 206

J

Jatropha curcas Linnaeus, 1753 66
Juniperus flaccida Schlechtendal, 1838 25

L

Larix occidentalis Nutt, 1849 312
Lecanicillium lecanii (Zimmerman, 2001); es sinónimo de *Verticillium lecani* (Zimmerman, 1939; ambos de *Akanthomyces lecanii* (Zimmerman, 2017) 206
Lecanicillium muscarium R. Zare & W. Gams, 2001 243, 261
Leptocybe invasa Fisher y Lasalle, 2004 71
Leptoglossus occidentalis Heidemann, 1910 50, 172
Leptographium procerum W.B. (Kendr.) M.J. Wingf. 1985 105, 106
Leptopilina bouvardi Barbotin, Carton y Kelner-Pillault, 1979) 205
Loxaulus hyalinus Pujade-Villar & Melika, 2014 86
Lupinus elegans Kunth, 1824 313
Lyctus africanus Lesne, 1907 299
Lyctus brunneus (Stephens, 1830) 300
Lyctus cavicollis LeConte, 1866 299
Lyctus chilensis Gerberg, 1957 299, 300
Lyctus simplex Reitter, 1879 300
Lymantria dispar (Linnaeus, 1758) 1, 5, 153, 156, 169, 296, 299
Lymantria dispar asiatica Vnukovskij, 1926 296

M

- Maconellicoccus hirsutus* (Green, 1908) 25, 71, 96, 134, 203
Magnolia vovidesii A. Vázquez, Domínguez-Yescas & L. Carvajal, 2013 312, 313
Malacosoma incurvum aztecum (Neumogen, 1893) 218
Megapurpuricenus magnificus (LeConte, 1875) 226
Melanoplus bilituratus (Walker, 1870), sinónimo de *Melanoplus sanguinipes* subsp. *sanguinipes* (Fabricius, 1798) 101
Melanoplus femur-rubrum (De Geer, 1773) 101
Metarhizium acridum Driver and Milner ahora es *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Driver & Milner, 2000) 206
Metarhizium anisopliae (Metschnikoff) Sorokin, 1883 204, 206, 243, 261
Micrapate scabrata (Erichson, 1847) 300
Microcorthylus minimus Schedl, 1950 299
Minthea reticulata Lesne, 1931 299, 300
Minthea squamigera Pascoe, 1866 300
Monochamus titillator (Fabricius, 1775) 120
Monoctenus sanchezi Smith, 2010 229

N

- Neodiprion autumnalis* Smith, 1986 Citada como *Neodiprion fulviceps* Smith 1975, pero este último nombre es erróneo 226, 229
Neodiprion bicolor Smith, 1988 283, 284
Neodiprion fulviceps (Cresson, 1880) 226, 229
Neodiprion gillettei (Rohwer, 1908) 226, 229
Neodiprion omosus Smith, 1988 226, 230
Neoterme luykxi Nickle & Collins, 1989 298

O

- Ocoaxo assimilis* (Walker, 1858) 3, 307
Ocoaxo cardonai Castro-Valderrama, 2018 204, 307
Oecanthus nigricornis F. Walker, 1869 101
Operophtera brumata (Linnaeus, 1758) 310, 311
Ophiostoma abietinum Marm. & Butin, 1993 105
Ophiostoma floccosum Math.-Käärik, 1951 105
Orgyia pseudotsugata (McDunnough, 1921) 1, 156, 275
Oryctes rhinoceros (Linnaeus, 1758) 275, 299
Otiorynchus rugostriatus (Goeze, 1777) 298

P

- Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) A.H.S. Br. & G. Sm., 1957 243, 261
Parus major Linnaeus, 1758 311
Passerculus sandwichensis (Gmelin, 1789) 101
Peromyscus polionotus (Wagner, 1843) 101
Phoenix canariensis H. Wildpret, 1882 87

- Phoracantha recurva* Newman, 1840 71, 72, 87
Phoracantha semipunctata Fabricius, 1775 71
Phyllocnistis citrella Stainton, 1856 203
Phytophthora cinnamomi Rands, 1922 142
Picea engelmanni Parry ex Engelm., 1863 153
Pinus arizonica Engelm., 1878 219, 221, 225, 229, 230, 231
Pinus ayacahuite Ehr., 1838 66, 173, 174
Pinus banksiana Lamb., 1803 180, 181
Pinus caribaea Morelet, 1851 66, 129
Pinus cembroides Zucc., 1832 42, 43, 50, 172
Pinus contorta Douglas, 1838 153, 181, 225, 227, 228, 229, 233, 234, 308, 312
Pinus cooperi C. E. Blanco, 1949; actualmente conocida como *Pinus arizonica* Engelm. var. *cooperi* (C. E. Blanco) Farjon, 1997 217, 230
Pinus devoniana Lindl., 1839 125, 126, 312, 313
Pinus durangensis Martínez, 1942 229, 230, 307
Pinus elliottii Engelm., 1880 66
Pinus engelmannii Carr., 1854 217, 230, 231
Pinus greggii Engelm., 1868 66, 129, 307
Pinus hartwegii Lindley, 1839 308, 309, 313
Pinus lawsonii Roehl, 1875 127
Pinus leiophylla Schl. et Cham., 1931 312, 313
Pinus maximinoi H. E. Moore, 1966 283
Pinus montezumae Lamb., 1839 125, 126, 171, 172, 175, 176, 177
Pinus oaxacana Mirov, 1958 307
Pinus oocarpa Schiede ex Schldl., 1838 313
Pinus patula Schl. et Cham., 1931 57, 66, 227, 230, 307, 313
Pinus ponderosa Douglas ex C. Lawson, 1836 226, 228, 229, 231, 232, 233
Pinus pseudostrobus Lindl., 1839 66, 125, 126, 304, 305, 312, 313
Pinus sylvestris var. *nevadensis* H. Christ, 1863 310
Pinus taeda Linnaeus, 1753 225, 229
Pissodes fasciatus LeConte, 1876 298
Pityogenes quadridens (Hartig, 1834) 300
Plodia interpunctella (Hubner, 1913) 309
Populus deltoides W. Bartram ex Marshall, 1785 271
Populus tremuloides Michaux, 1803 224, 304
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, 1950 66, 129, 171, 172, 224, 229, 231, 295, 298, 347
Pseudotsuga menziesii var. *glauca* (Mayr.) Franco, 1950 66, 171, 172
Psyllaephagus bliteus Riek, 1962 23, 162, 164, 178, 202, 328
Pinus ocellus Brown, 1929 299
Pycnarthrum hispidum (Ferrari, 1867) 299

Q

- Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock, 1881) 246
Quercus affinis Scheidw., 1837 57, 307
Quercus crassipes Humb & Bonpl., 1809 81, 86
Quercus potosina Trel., 1924 226

R

Reticulitermes flavipes (Kollar, 1837) 95
Reticulitermes hageni Banks, 1920 95
Reticulitermes malletei Howard & Clement, 1985 95
Reticulitermes nelsonae Lim & Forschler, 2012 95
Reticulitermes virginicus (Banks, 1907) 95
Retinia arizonensis (Heinrich, 1920) 172
Retinia edemoidana Dyar, 1903 135
Rhyacionia buoliana (Denis & Schiffermuller, 1775) 155
Rhyacionia frustrana (Comstock, 1880) 3, 56
Rhyacionia neomexicana (Dyar, 1903) 230
Rhyacionia zozana (Kearfott, 1907) 276
Rhynchophorus ferrugineus Olivier, 1790 262
Rhynchophorus palmarum Linnaeus, 1758 156
Rhynchopsitta pachyrhyncha Swainson, 1827 224
Rhyncolus brunneus Mannerheim, 1843 298
Rodolia cardinalis (Mulsant, 1850) 4, 201, 202

S

Salix bonplandiana Kunth, 1817 218
Sarsina violascens (Herrich-Schäffer, 1856) 65, 71, 131
Sciopithes obscurus Horn, 1876 298
Scolytogenes jalapae (Letzner, 1844) 299, 300
Scolytus multistriatus (Marsham, 1802) 262, 275
Scolytus schevyrewi Semenov-Tian-Shanski, 1902 156, 262
Sinoxylon anale Lesne, 1897 299, 300
Sinoxylon crassum Lesne, 1897 299
Sinoxylon indicum Lesne, 1897 299, 300
Sinoxylon sudanicum Lesne, 1895 299
Sinoxylon unidentatum (Fabricius, 1801) 299, 300
Sirex noctilio Fabricius, 1793 137, 156
Sitona lineatus Linnaeus, 1758 298
Solenopsis invicta Buren, 1972 5
Spalangia endius Walker, 1839 203
Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) 95
Stegobium paniceum (Linnaeus, 1758) 300
Steinernema feltiae Filipjev, 1934 206
Strategus julianus Burmeister, 1847 13
Stromatium barbatum (Fabricius, 1775) 300
Swietenia macrophylla King, 1886 62, 66, 129, 255

T

Tabebuia rosea DC. 1845 66
Tamarix radiata (Waterston, 1922) 204, 211
Tectona grandis L. f., 1782 61, 66, 129, 175, 203, 255
Tetropium fuscum (Fabricius, 1787) 156, 276
Thaumastocoris peregrinus Carpintero & Dellapé, 2006 71
Thaumetopoea pityocampa Schiffermüller, 1776 310
Thyrinteina arnobia (Stoll., 1782) 71, 131
Thysanoes mexicanus Wood, 1956 299
Tomicus piniperda Linnaeus, 1758 156

Trichogramma atopovirilia Oatman & Platner, 1983 96
Trichogramma exiguum Pinto & Platner, 1978 96, 203
Trichogramma fuentesi Torre, 1980 96
Trichogramma pintoi Voegelé, 1982 96
Trichogramma pretiosum Riley, 1879 96, 203

V

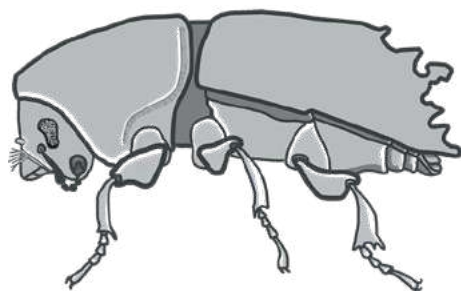
Vespula germanica Fabricius, 1793 298
Viteus vitifoliae (Fitch, 1855) 4

X

Xyleborinus saxesenii (Ratzeburg, 1837) 299, 300
Xyleborus glabratus Eichhoff, 1877 156, 299
Xyleborus palatus Wood, 1974 299
Xyleborus similis Ferrari, 1867 300
Xyleborus volvulus (Fabricius, 1775) 299, 300
Xylobiops parilis Lesne, 1901 299
Xylomeira tridens (Fabricius, 1792) 299
Xyloperthella picea (A.G. Olivier, 1790) 299, 300

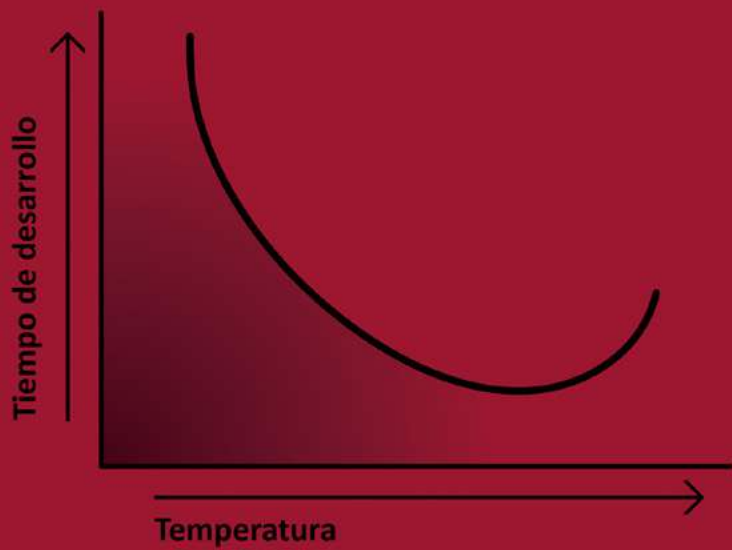
Z

Zadiprion falsus Smith, 1988 (= *Zadiprion vallicola* Rohwer, 1930) 16, 175, 176, 177, 204, 229, 307
Zadiprion howdeni Smith, 1975 229, 283
Zadiprion ojedae Smith & Sánchez-Martínez, 2012 229



Esta obra se terminó de imprimir en el mes de octubre de 2021,
en Imagen Digital Edición e Impresión S. de R. L. de C. V.
Cerrada San Cristobal 13. Col. Tulantongo, Texcoco, Estado de México.
oficina.ideim@gmail.com

Tiraje: 1,000 ejemplares.



ISBN: 978-607-12-0595-7



9 786071 205957



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

