

Información **ELIMINADA**, por considerarse clasificada como CONFIDENCIAL.

Fecha de clasificación: 13 de Enero de 2021 en la Primera Sesión Permanente del Comité de Transparencia de la Comisión Nacional Forestal.

Unidad Administrativa o Gerencia Estatal: Coordinación General de Conservación y Restauración.

Fundamento Legal: Según lo establecido en el artículo 68, fracción VI, 100 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública, 97, 98, fracción I, 113, fracción I y 118 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, y Trigésimo Octavo, fracción I de los Lineamientos Generales en materia de clasificación y desclasificación de la información, así como la elaboración de versiones públicas.

Ramón Silva Flores:

Coordinador General de Conservación y Restauración

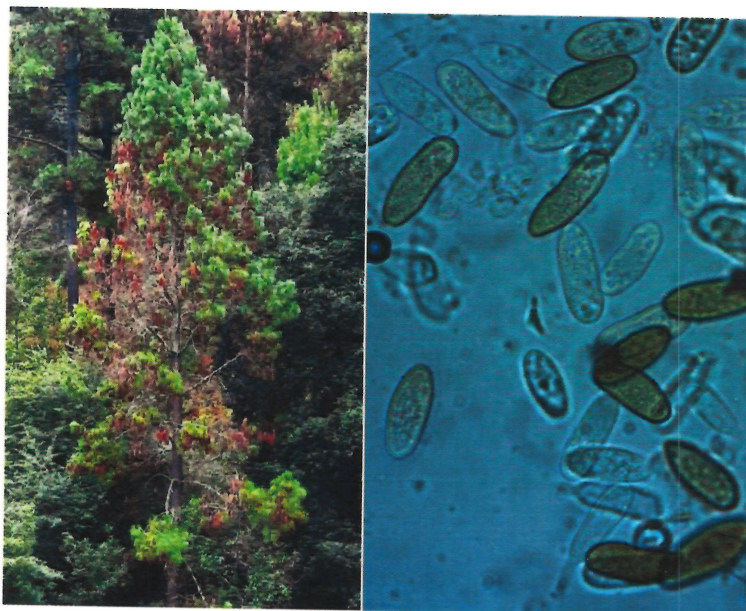
H. AYUNTAMIENTO DE TANCÍTARO



MECANISMOS ESPECIFICOS PARA LA PREVENCIÓN, CONTROL Y COMBATE DE CONTINGENCIAS AMBIENTALES CAUSADAS POR PLAGAS E INCENDIOS FORESTALES 2019

**Informe final del proyecto de investigación “Evaluación de la
efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea*
que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y
Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”**

Beneficiario: H. Ayuntamiento de Tancítaro
Representante Legal: Araceli Solórzano Solórzano



Tancítaro, Mich., Julio de 2020

i | Página

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	INFORME DETALLADO DE ACTIVIDADES.....	3
2.1	Detección y georreferenciación de áreas afectadas por <i>Sphaeropsis sapinea</i>	3
2.2	Toma de datos en los sitios de investigación.....	5
2.3	Diseño experimental.....	6
2.4	Monitoreo de esporas de <i>Sphaeropsis sapinea</i>	7
2.5	Tratamientos.....	8
2.5.1	Aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i>	8
2.5.2	Quemas prescritas.....	9
2.5.3	Inyecciones sistémicas.....	10
2.5.4	Quemas prescritas +inyecciones sistémicas.....	12
2.5.5	Testigo.....	12
2.5.6	Resultados	13
2.6	Evaluación de Copas.....	16
2.6.1	Resultados de la evaluación de copas.....	17
2.7	Instalación de sensores climáticos.....	23
2.7.1	Resultados del registro de los sensores climáticos.....	26

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas combinadas con los efectos del cambio climático, han provocado grandes y graves cambios en la fisiología de los árboles, debilitándolos y provocando una alta susceptibilidad a que sean atacados por diferentes organismos oportunistas. Las áreas forestales de Michoacán, cada año se ven afectados por diferentes causas, entre las que destaca el ataque de plagas y enfermedades forestales, la vegetación de coníferas sufre pérdidas por el ataque del insecto descortezador, el cual es el principal agente biótico que causa grandes pérdidas económicas, sin embargo, en los últimos años se ha observado un fenómeno de muerte grupos de árboles donde el insecto descortezador no está siendo la causa primaria. En los Municipios de Tancítaro, San Juan Nuevo y Zitácuaro se ha identificado a *Sphaeropsis sapinea* causando la muerte de brotes en el género *Pinus*.

Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko y Sutton (Orden Sphaeropsidales, Subclase Coelomycetes, Subdivisión Deuteromycotina) causa la grave enfermedad fúngica denominada muerte apical o muerte regresiva (“dieback”) en varios géneros de coníferas y principalmente en *Pinus* spp (Hansen y Lewis, 1997). El patógeno puede afectar tanto a árboles jóvenes como a adultos. Con condiciones del ambiente favorables, si no se lleva a cabo un plan de manejo para mitigar sus efectos negativos, este hongo puede provocar importantes epifitias (Wijnand y Wingfield, 1991). La sintomatología que presenta la enfermedad incluye muerte de brotes apicales y laterales, ramas multiflecha, ápices encorvados, amarronamiento de acículas, exudado de resina en exceso, cancrrosis y muerte del árbol. Los conos pueden sufrir una reducción del tamaño normal y necrosis total o parcial. Los signos, puntos oscuros de 2 a 3 mm que pueden aparecer en acículas y corteza de ramas, corresponden a picnidios que generan conidios muy típicos.

El daño que causa *S. sapinea* se acelera en la temporada de lluvias y se corre el riesgo que la enfermedad se extienda a otros municipios del Estado. En los últimos cinco años, en los terrenos del Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro, *S. sapinea* está afectando principalmente a *Pinus pseudostrobus*, la presencia del patógeno se ha convertido en una plaga de gran importancia ambiental, económica y social y por diferentes causas no se han podido concretar acciones para disminuir el avance de la enfermedad, una de esas causas son los problemas de inseguridad que persistía en la zona, además de la problemática social por los grupos que se oponen a los saneamientos forestales, no permitiendo la extracción de madera, por lo que las actividades se suspendieron y esto provocó que brotes de plagas se incrementaran en la región.

El método de saneamiento que se había estado realizando en la zona para controlar este hongo, es el derribo, aplicación de fungicida, descortezado y quema de corteza, extracción de la madera resultante del saneamiento, sin embargo, los grupos sociales se oponen al derribo y extracción del arbolado enfermo, por lo que se buscan alternativas de tratamiento que permitan mejorar el vigor de las áreas forestales de la región y se realizó este estudio con los objetivos de evaluar la condición del arbolado en tres predios de Tancítaro, detectar y monitorear la densidad de esporas de *Sphaeropsis* dispersas en el ambiente y evaluar la efectividad de tratamientos con inyecciones sistémicas, combinado con quemas prescritas y aplicación de productos de biocontrol.

2. INFORME DETALLADO DE ACTIVIDADES

2.1. Detección y georreferenciación de áreas afectadas por *Sphaeropsis sapinea*

Esta actividad se realizó al inicio del proyecto y fue mediante inspecciones en las áreas arboladas con vegetación de pino, en los predios “Los Desmontes”, “Ejido Zirimondiro” y “La Barranca del agua”, en total se detectó un total de 20.5 has, distribuidas de la siguiente manera, Predio “Los Desmontes” 7.25 has, “Ejido Zirimondiro” 6.33 has y “Barranca del Agua 7 has (Figura 1).



Figura 1 Ubicación de áreas afectadas por *Sphaeropsis sapinea* en los predios Los Desmontes, Barranca del Agua y Ejido Zirimondiro.

Adicional a esto, personal de la CONANP, realizó vuelo con dron el cual permitió captar video e imágenes que muestran la condición de salud del arbolado en las áreas de estudio, antes de los tratamientos (Figura 2).

*“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”*



Figura 2 Condición general de la vegetación de la zona de estudio

Durante el período que se desarrolló este proyecto, personal de la CONANP realizó recorridos constantes para detectar nuevas áreas con afectación por *Sphaeropsis sapinea* y el resultado es se encontraron 398 hectáreas con diferentes grados de infección (Figura 3), es importante resaltar que el daño se está presentando en las partes bajas, entre los 2500 y 2700 msnm y está atacando a *Pinus pseudostrobus* principalmente.

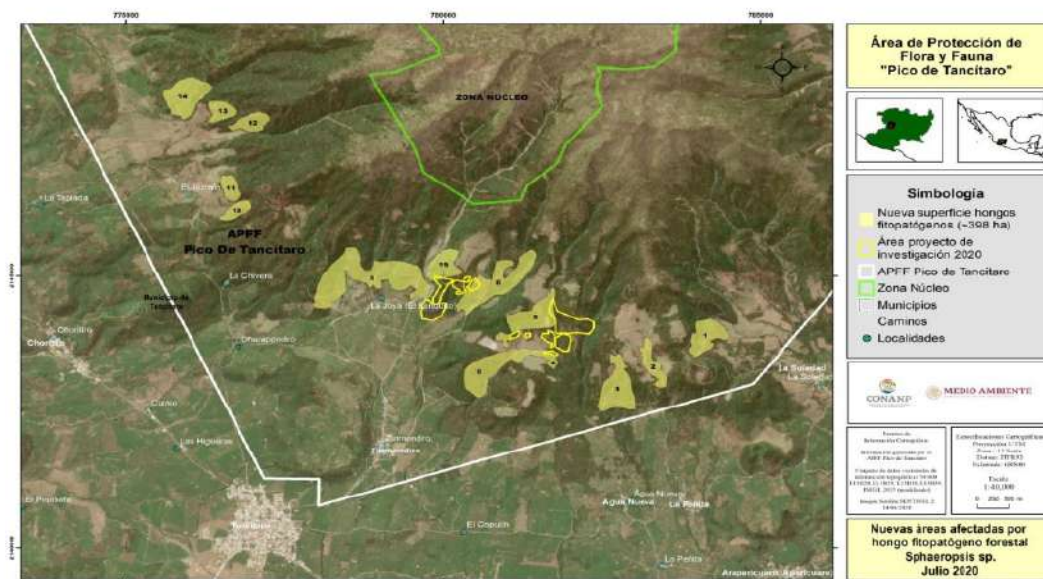


Figura 3 Nuevas áreas detectadas con afectación de *Sphaeropsis sapinea* en el Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro, en Tancítaro, Michoacán

2.2. Toma de datos en los sitios de investigación

2.2.1. Ubicación de sitios y levantamiento de información

En cada uno de los tres predios se ubicaron 5 sitios de dimensioe fijas, en total fueron 15 sitios con una distribución en bloques al azar. Los sitios de fueron de forma circular, de dimensiones fijas de 400 m², se georreferenciaron y delimitaron, registrando el número de sitio, coordenadas, localidad, municipio, fecha, y nombre de la persona responsable del levantamiento de la información, además se marcaron todos los árboles con número progresivo en sentido de las manecillas del reloj. Para la caracterización del arbolado se registró información dasométrica como diámetro normal y altura total, género, especie y transparencia de copa. Esta última variable fue registrada de manera mensual.

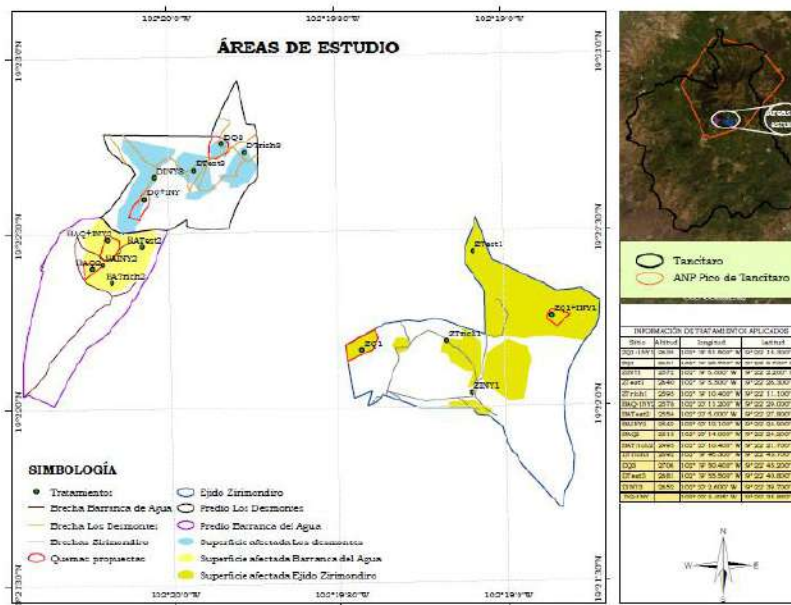


Figura 4 Ubicación de los sitios de investigación



Figura 5. Levantamiento de información dasométrica y numeración de los árboles bajo estudio

2.3. Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques al azar, teniendo tres bloques (predios) con cinco tratamientos incluyendo el testigo, los cuales se enlistan en el cuadro 1.

Cuadro 1 Distribución de los tratamientos aplicados para manejo de *Sphaeropsis sapinea* en bloques al azar

Bloque		
I (Barranca del Agua)	II (Los Desmontes)	III (Ej. Zirimondiro)
<i>Trich</i>	Iny	Qp+Iny
Qp	<i>Trich</i>	Qp
Iny	Qp	Test
Qp+Iny	Test	Iny
Test	Qp+Iny	<i>Trich</i>

Qp: Quemadas prescritas; *Trich*: *Trichoderma harzianum*; Iny: Inyecciones sistémicas, Qp+Iny: Quemadas prescritas más Inyecciones sistémicas y Test: Testigo.

En todos los sitios los árboles con mayor afectación por el hongo fueron considerados para derribo y de manera simultánea se aplicaron los tratamientos enlistados.

Una de las variables que nos permitió evaluar el efecto de los tratamientos fue la captura de esporas, además de la evaluación mensual de la condición de la copa de los árboles tratados.

2.4. Monitoreo de esporas de *Sphaeropsis sapinea*.

Para la captura de esporas se utilizó un prototipo de una trampa pasiva de esporas, diseñada por investigadores del Colegio de Postgraduados (Figura6).

Las esporas se capturaron en portaobjetos debidamente etiquetados e impregnados con vaselina y fueron reemplazadas periódicamente, teniendo en total seis colectas. En cada cambio se almacenaron y transportaron en una caja y se revisaron bajo un microscopio compuesto. En total se instalaron 15 trampas, (una por sitio) y se retiraron 180 portaobjetos.

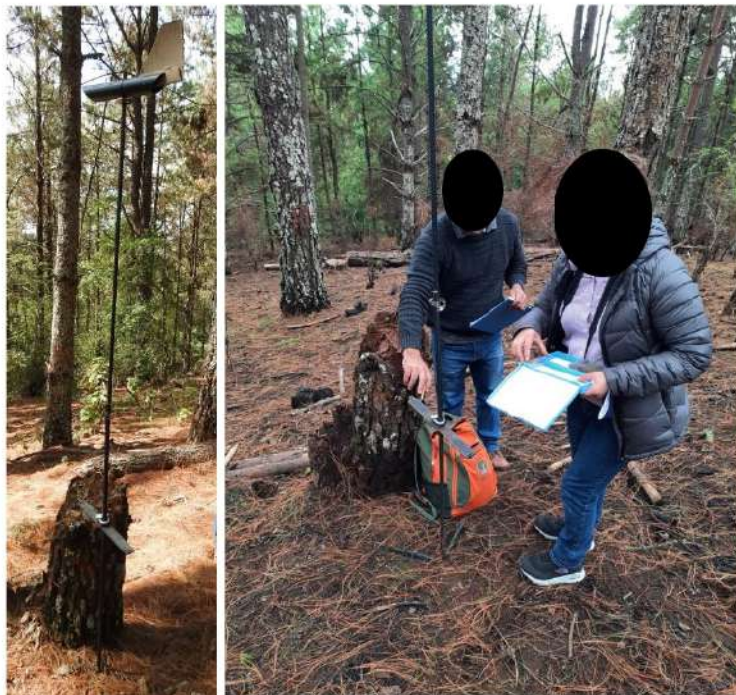


Figura 6. Monitoreo de esporas de *S. sapinea*

2.5. Tratamientos

2.5.1. Aplicación de *Trichoderma harzianum*

Este tratamiento incorporó el hongo antagonista *Trichoderma harzianum* como controlador biológico; esta especie posee altas posibilidades para utilizarse en el manejo de *S. sapinea* ya que por mecanismo de acción como hiperparásito produce metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se les atribuyen cambios estructurales a nivel celular, tales como vacuolación, granulación, desintegración del citoplasma y lisis celular. Además que una vez que este organismo se establece en la raíz de la planta, puede provocar resistencia sistémica contra patógenos en las partes altas de la misma. En un estudio realizado en 2007 en España, para evaluar el efecto de *Trichoderma harzianum* sobre *S. sapinea* in vitro, resultó que la presencia de *Trichoderma* produce un descenso significativo del crecimiento de *Sphaeropsis sapinea*, tanto en área como en biomasa.

La cepa de *Trichoderma harzianum* utilizada corresponde a la que la Comisión Forestal (COFOM) tiene en producción para autoconsumo y para este proyecto donó 6 kg que venían a una concentración de $7.2 \cdot 10^5$ de esporas por g.



Figura 7. Aplicación de *Trichoderma harzianum*

La aplicación fue por la mañana mediante la utilización de un tractor que tiene incorporado un sistema de aspersión a alta presión, de tal manera que se alcanzan aspersiones del producto a alturas de más de 15 m. La dosis utilizada fue de 2 gr de *Trichoderma* más 1 ml de coadyuvante Break Thru por litro de agua. La solución fue asperjada en los fustes y ramas de los árboles y en el suelo.

2.5.2. Quemias prescritas

Las quemias prescritas consisten en la aplicación del fuego bajo condiciones controladas y pronosticadas (tiempo atmosférico, combustible) para lograr objetivos de conservación y/o manejo de ecosistemas forestales, utilizando los métodos de uso del fuego previstos en la NOM-015/SEMARNAT/SAGARPA-2007. El principal objetivo de este tratamiento fue utilizar el manejo del fuego como una herramienta para el manejo de la enfermedad causada por *Sphaeropsis sapinea* en *Pinus pseudostrobus*.

Por diferentes circunstancias, entre ellas la contingencia por el COVID 19 este tratamiento se realizó hasta finales del mes de abril y principios de mayo. Previo a la quemias se preparó el terreno, cumpliendo las especificaciones técnicas establecidas en la NOM-015/SEMARNAT/SAGARPA-2007. Esta actividad la ejecutó personal de la CONAFOR, con apoyo de brigadistas de la CONANP.

Cuadro 2 Ubicación de tres sitios de quemias prescritas

Sitio No.	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
<u>ZQ</u>	19° 22' 09.7"	102° 19' 25.7"
<u>BAQ</u>	19° 22' 24.2"	102° 20' 14"
<u>DQ</u>	19° 22' 39.7"	102° 20' 02.6"

ZQ. Quema en Ejido Zirimondiro; BAQ Quema en Barranca del Agua; y DQ, Quema en Predio Los Desmontes.



Figura 8 Realización de quemas prescritas.

Para la evaluación de la efectividad de este tratamiento se tuvo la limitante del tiempo, el período de evaluación fue muy corto y no se cuenta con suficiente información para soportar su efectividad sobre *S. sapinea*.

2.5.3. Inyecciones sistémicas

Una alternativa en la aplicación de químicos para el tratamiento de árboles afectados por algún patógeno o por carencias nutricionales, es la utilización de productos sistémicos inyectados directamente al sistema de conducción de los árboles. Este sistema consiste en la inyección en el tronco de una sustancia nutritiva o fitosanitaria que se distribuye por todo el sistema vascular de la planta y son especialmente útiles cuando por cuestiones ambientales no debe utilizarse las aspersiones y tienen la ventaja de que pueden tener una respuesta relativamente rápida.

En este proyecto, se optó por probar este método de tratamiento principalmente para poder llevar el producto químico hasta las partes más distantes del árbol y de esta manera tener un mejor control sobre *S. sapinea*. Esta actividad se realizó en el mes de febrero, utilizando un inyector de alta presión y una mezcla de solución a base fungicida sistémico de ingrediente activo propiconazol a una concentración del 8%, y se adicionó el fertilizante líquido Foltron que contiene macro y micronutrientes, en dosis de 100 ml por cada litro de solución.

*“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”*



Figura 9 Plaguicidas aplicados a través de inyecciones sistémicas

Una vez estando en el sitio, se aplicó la inyección en todos los árboles con niveles de infección 1, 2 y 3, se excluyeron los del nivel 4, ya que estos se derribaron y trataron conforme a lo establecido en la notificación de saneamiento. Otra consideración fue el hacer una inyección por cada 10 cm de diámetro del árbol y está se hizo en la parte baja del tronco, teniendo las precauciones necesarias, utilizando overol de plástico, guantes, googles y cubrebocas.



Figura 10 Aplicación de inyecciones a árboles con afectación de *S. sapinea*

2.5.4. Quemias prescritas +inyecciones sistémicas

Este tratamiento consistió en la combinación de los dos tratamientos anteriores, se inició con las inyecciones siguiendo la técnica descrita y en mayo se concluyó con las quemias prescritas; se trató un sitio por predio (Cuadro 3).

Cuadro 3 Ubicación de los sitios de quemias prescritas más inyecciones sistémicas

Sitio No.	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
<u>BAQ+INY</u>	19° 22' 29''	102° 20' 11.2''
<u>DQ+INY</u>	19° 22' 35.9''	102° 20' 04.5''
<u>ZQ+Iny</u>	19° 22' 15.3''	102° 18' 51.5''

BAQ+iny, Quema más Inyecciones en Barranca del Agua; *DQ+iny*, Quema más inyecciones en Los Desmontes y *ZQ+iny*, Quema más Inyecciones en Ejido Zirimondiro.

2.5.5. Testigo

En estos sitios solo se evaluó la condición de la copa de los árboles, se hizo una evaluación inicial y posteriormente se estuvo evaluando de manera mensual al igual que en todos los sitios de estudio. Los árboles de calificación 4 fueron derribados y tratados como lo establece la notificación de saneamiento. También se monitorearon las esporas de *S. sapinea*.

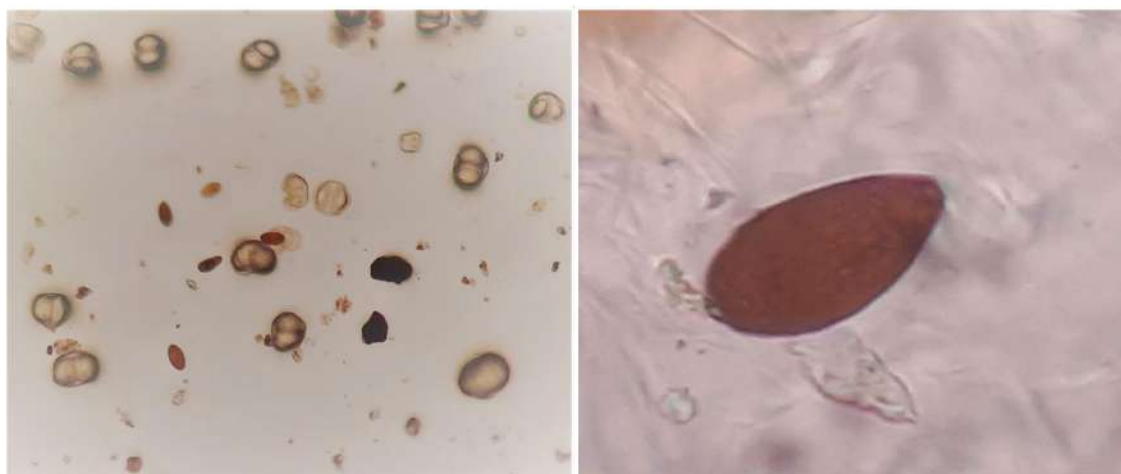
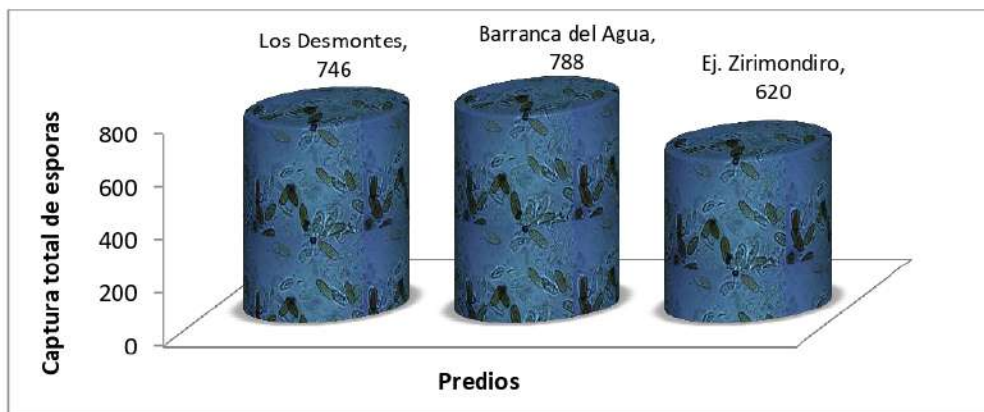


Figura 11 Esporas de *S. sapinea* capturadas en los portaobjetos y vistas en el microscopio compuesto

2.5.6. Resultados

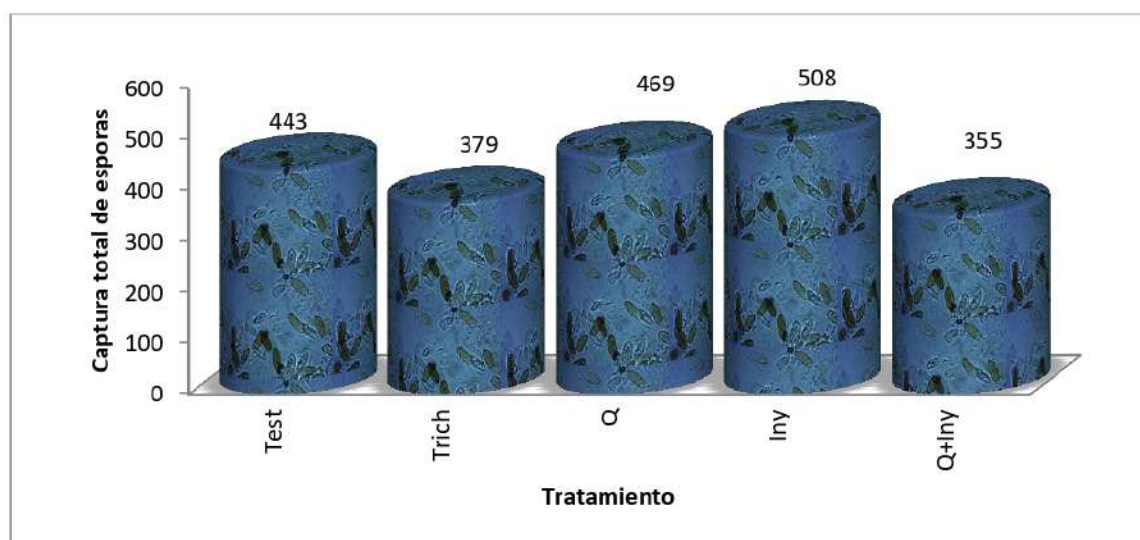
Monitoreo de esporas de *Sphaeropsis sapinea*

La variable dependiente que se consideró para evaluar los tratamientos fue la captura de esporas, en total se hicieron cinco conteos y los datos totales por predio se presentan en la gráfica 1.



Gráfica 1 Resultados de captura total de esporas por predio

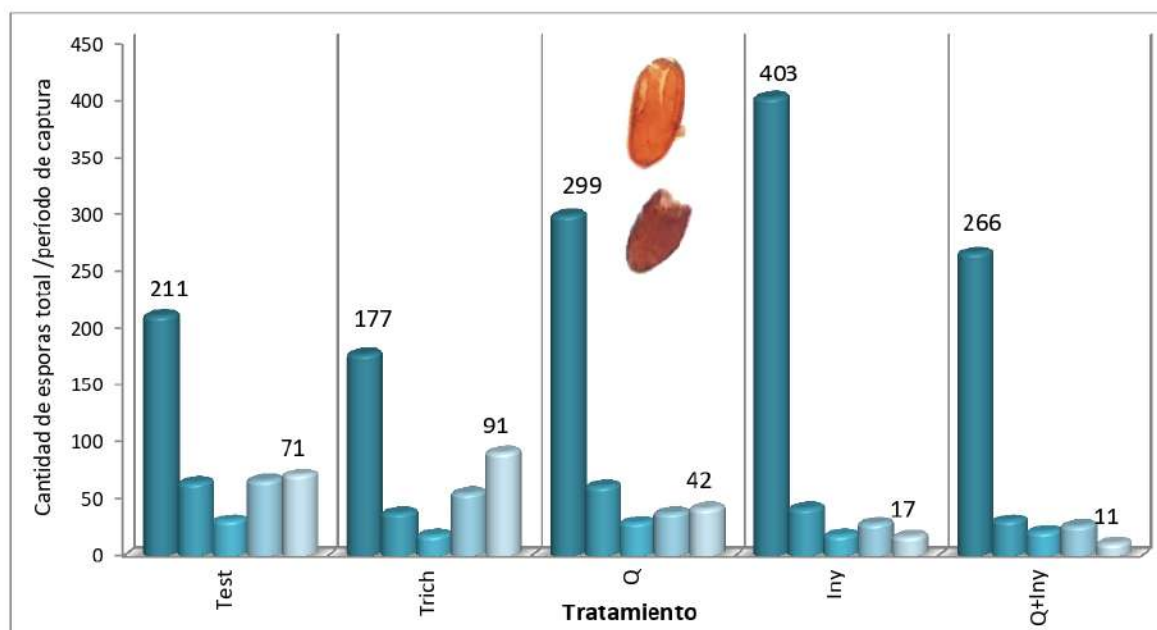
En los predios Barranca del Agua y Los Desmontes se capturó un mayor número de esporas, lo que está relacionado con el nivel de daño ya que estos dos predios presentan arbolado con mayores niveles de infección causada por *S. sapinea*.



Gráfica 2 Monitoreo de esporas de *S. sapinea* en áreas con distintos tratamientos

*“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”*

En esta gráfica 2, se percibe que el tratamiento de inyecciones presentó la mayor cantidad de esporas capturadas en las trampas, sin embargo solo en el primer conteo se tuvo una cantidad de esporas considerable, en comparación con los siguientes cuatro conteos, donde la cantidad fue mínima. La hipótesis que es necesario probar es que al aplicar el producto químico por la vía de inyecciones, el patógeno acelera su esporulación para su sobrevivencia.



Gráfica 3 Fluctuación de esporas de *S. sapinea* en áreas con distintos tratamientos en el APFFPT. Son datos de capturas totales por conteo, en total cinco conteos de marzo a junio.

Otro aspecto que se detectó es que del 21 de febrero al 19 de marzo, se presentaron condiciones para que el patógeno esporulara ya que en este período se tuvieron las mayores capturas de esporas en todos los sitios. Por el contrario, en los meses de abril y mayo se registraron las capturas más bajas.

Para conocer si existe diferencia entre bloques y tratamientos se realizó un análisis de varianza con el programa R, utilizando como variable respuesta la captura de esporas. Se obtuvo un valor de $p=0.014$ lo que muestra que estadísticamente hay diferencias entre tratamientos y con una $p=0.675$ indica que no hay diferencias entre bloques.

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”

Cuadro 4 ANOVA diferencia entre bloques y tratamientos

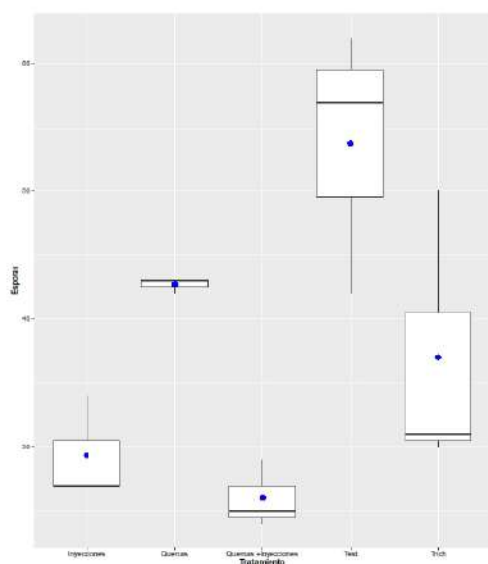
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	1460.93	365.23	6.22	0.014
Bloque	2	48.53	24.27	0.41	0.675
Error	8	469.47	58.68		
Total	14	1978.93			

Cuadro 5 ANOVA diferencia entre tratamientos, en base a la captura de esporas

Response:	Esporas			
	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Tratamiento	1460.9	4	7.0508	0.005765 **
Residuals	518.0	10		

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

El promedio de las esporas en los sitios tratados con quemas más inyecciones representa el 48.5% del tstigo, lo que significa que se este tratamiento tuvo efectividad contra *S. sapinea* en un 51.5%, seguido por el tratamiento de inyecciones con un 45.5% de efectividad. La aplicación de *T. harzianum* tuvo un control de 31% y las quemas prescritas un 20.5%. Se muestra los valores promedio de esporas por tratamiento, además de la comparación de medias de Tuckey que agrupó a tratamientos iguales.



Gráfica 4. Valor promedio de captura de esporas por tratamiento, se detecta que los tratamientos con inyecciones sistémicas tienen los datos de promedio de esporas más bajos, seguidos por el tratamiento de aplicación de *Trichoderma harzianum* y quemas prescritas, la media más alta corresponde al testigo. El

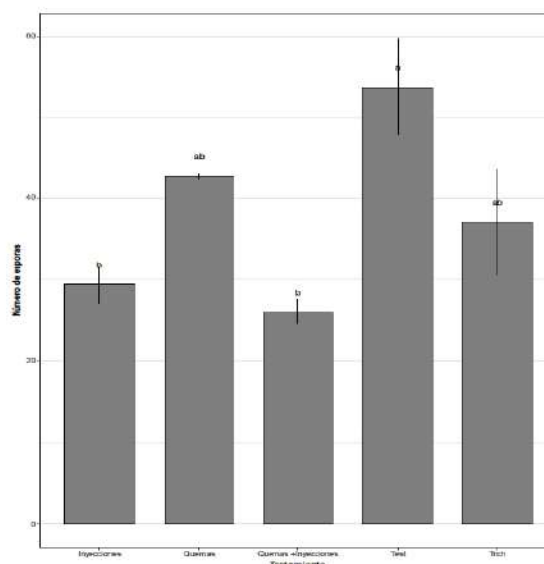


Gráfico 5. Barras de medias Tukey de captura de esporas para cada tratamiento. Se observa que hay tres grupos, sin embargo, dos grupos son claramente diferentes, el grupo a integrado solo por el testigo y el grupo b que incluye los tratamientos de inyecciones sistémicas.

2.6. Evaluación de Copas

La evaluación de copas consistió en aplicar una escala para determinar la condición de nivel de infección causado por *S. sapinea* (cuadro 6) que presentaron los árboles en cada uno de los sitios de investigación.

Cuadro 6 Escala de evaluación del daño causado por *Sphaeropsis sapinea*

Calificación	Transparencia de copa (%)	Daño
1	menor o igual de 25 % de follaje perdido	Normal
2	26-50 % de follaje perdido	Transparente
3	51 –75 % de follaje perdido	Muy transparente
4	Mayor o igual de 76 % de follaje perdido	Ausencia de follaje o muerto

La transparencia de copa es la pérdida de follaje que ha tenido la copa de árbol por efecto de *Sphaeropsis sapinea*; se calificó de 25 en 25 puntos porcentuales, de tal manera que entre mayor es la calificación, más follaje ha perdido el árbol.

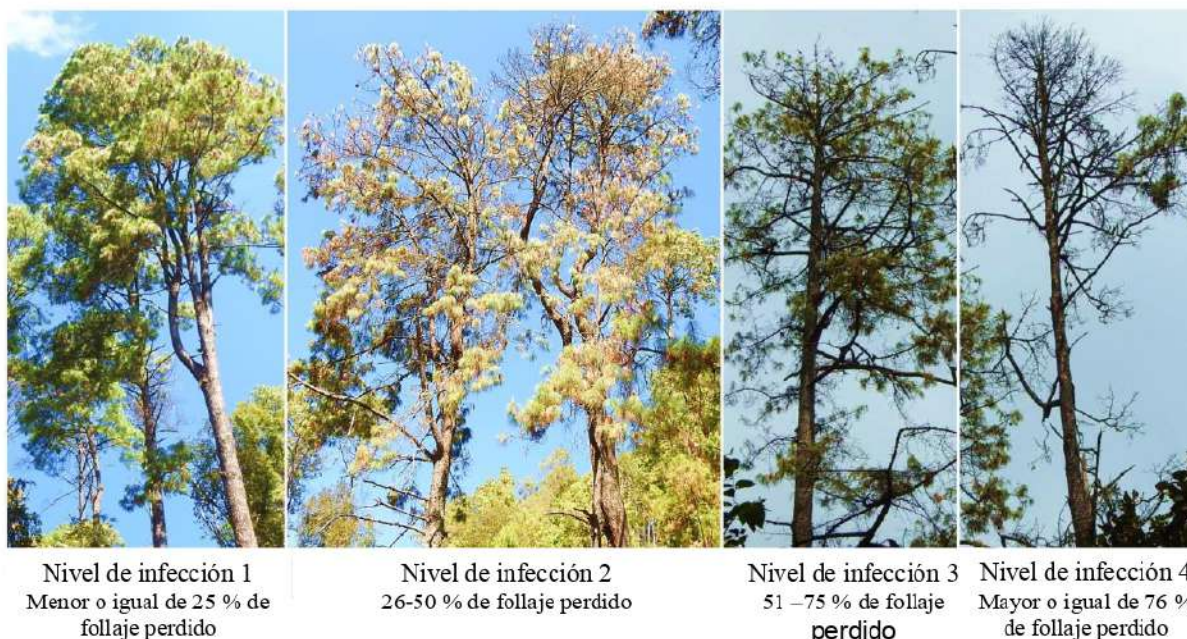


Figura 12 Escala de niveles de infección causada por *Sphaeropsis sapinea*, niveles 1,2,3 y4

La escala de evaluación se aplicó de manera mensual durante el período que duró el proyecto. Se calculó la cantidad de arbolado por grado de afectación inicial; Los árboles con categoría 4 fueron considerados para derribo y aplicación del tratamiento que la autoridad determinó en la notificación de saneamiento.

*“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”*

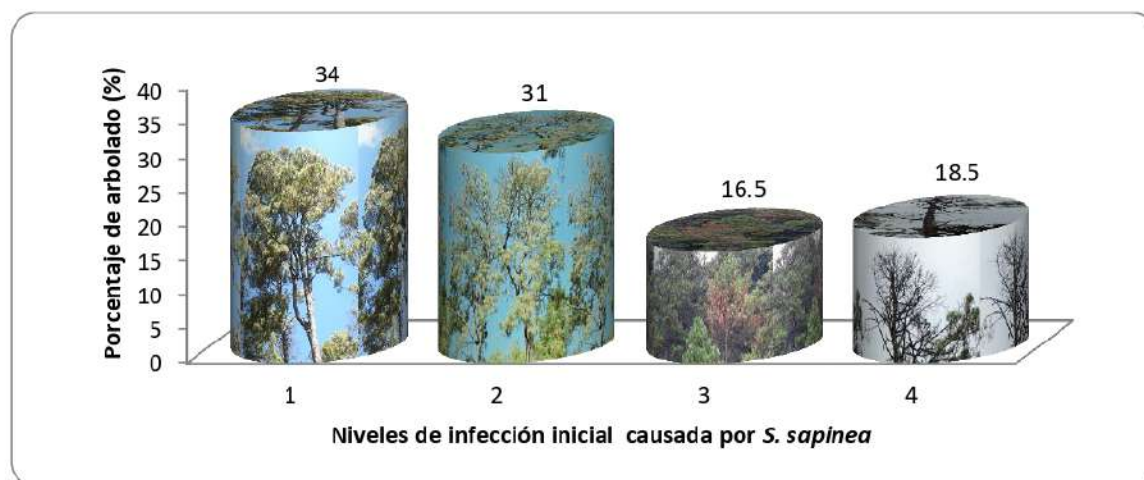
Para tratamiento del arbolado considerado para derribo se gestionaron tres notificaciones de saneamiento forestal, las cuales fueron expedidas en febrero y marzo y tuvieron vigencia hasta el día 30 de junio (Cuadro 7).

Cuadro 7 Notificaciones de saneamiento por *Sphaeropsis sapinea* en el APFFPT

Predio	No. notificación	Superficie afectada (ha)	Volumen afectado (m ³)
Ejido Zirimondiro	GEMICH/03/2020/0290	6.33	1,851.23
Los Desmontes	GEMICH/03/2020/0153	7.25	2220.602
Potrero Barranca del Agua	GEMICH/02/2020/0069	6.88	1,446.86
TOTAL		20.5	5,518.7

2.6.1. Resultados de la evaluación de copas

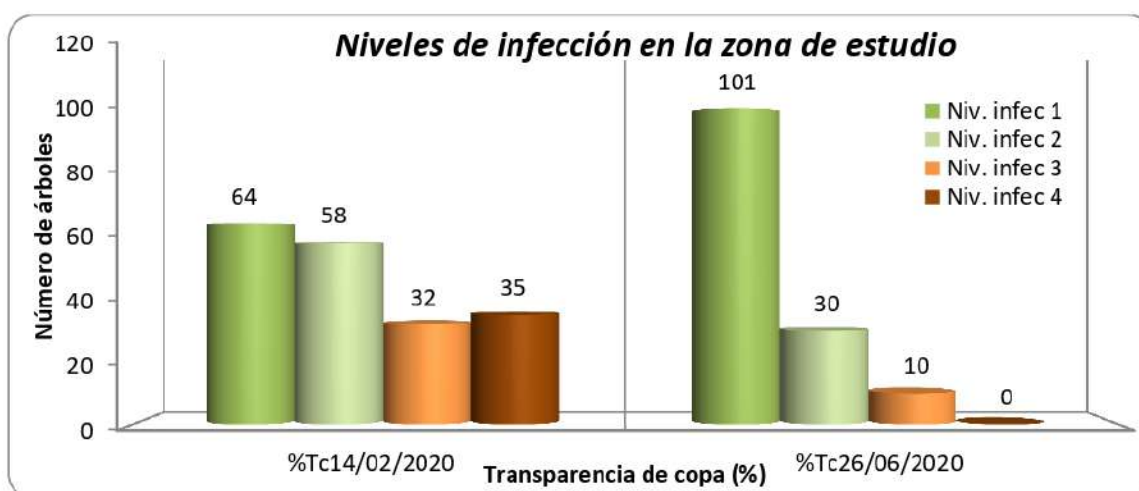
En total se calificaron 189 árboles, distribuidos en los 15 sitios de investigación, en la evaluación inicial se detectó que las categorías 3 y 4 representaron el 35% del total de arbolado existente, con más del 50% de follaje perdido.



Gráfica 6 Condición del arbolado previa a la aplicación de los tratamientos

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control Sphaeropsis sapinea que afectan el género Pinus en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”

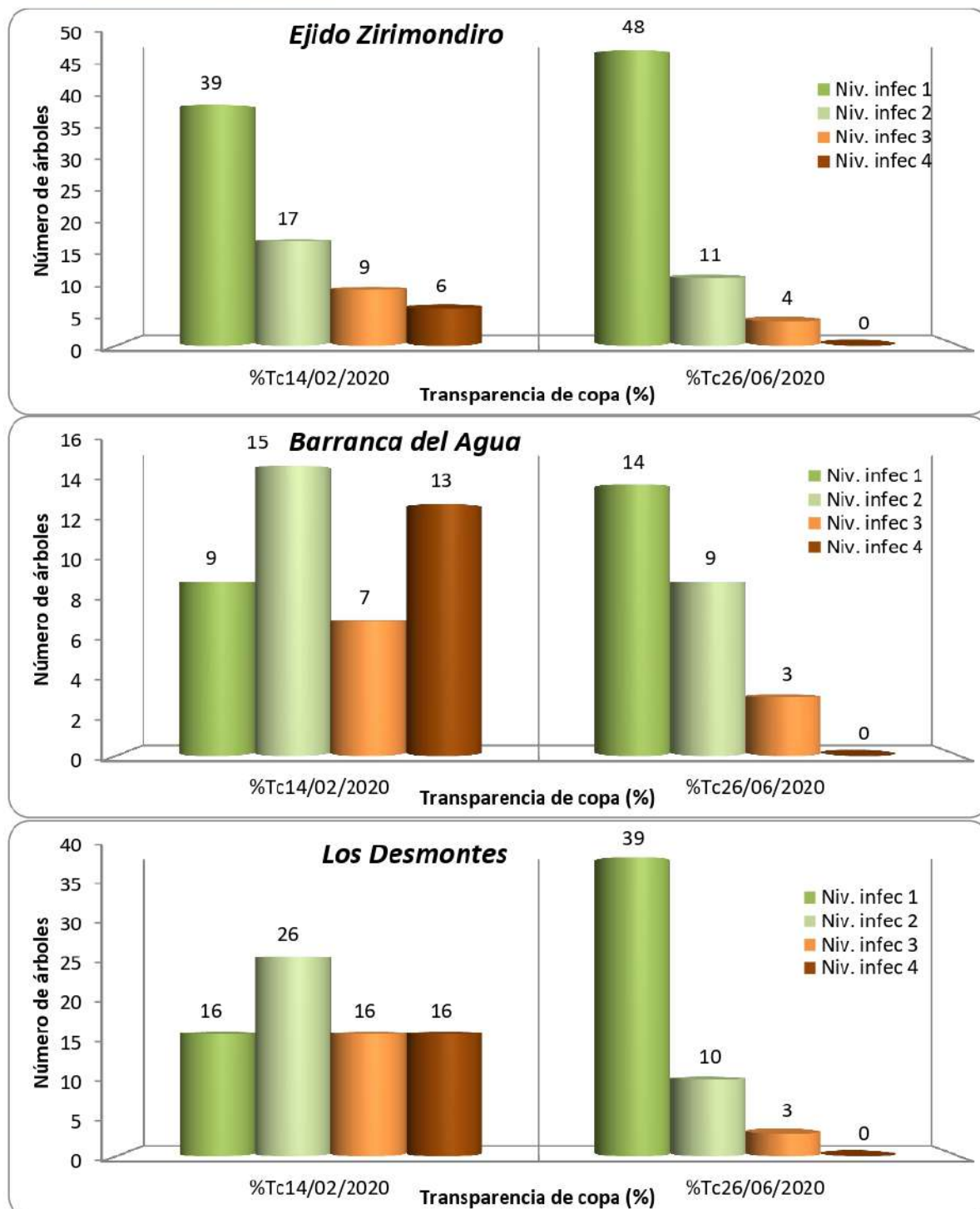
En términos generales, al concluir el estudio, de los 189 árboles iniciales sólo quedaron en pie 141, es decir que se derribaron 48 (25.4%). Con los tratamientos del proyecto y con el considerado en las notificaciones de saneamiento, se eliminó la categoría de infección 4 y se elevó el porcentaje de arbolado dentro de la categoría 1 (Gráfica 7).



Gráfica 7 Comparación de severidad de daño del inicio al término del proyecto.

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”

Resultados por predio



Gráfica 8. Conjunto de gráficas que muestra el comparativo de la condición de los niveles de infección inicial, con la condición al final del proyecto.

Se pudo detectar que los predios Barranca del Agua y Los Desmontes presentaron mayor porcentaje de árboles en las categorías 3 y 4, por lo que tuvieron que derribarse 40 árboles en estos sitios, 18 en Barranca del Agua y 22 en Los Desmontes. Al término de este estudio en cada uno de los tres predios, los niveles de infección causados por *S. sapinea* fueron menores que al inicio, en principio desapareció el nivel 4 y la categoría 1 contiene un mayor número de árboles. Las acciones realizadas, tanto el saneamiento como los tratamientos se complementaron para mejorar la condición del arbolado que quedó en pie.

Resultados por tratamiento

Se presenta resumen de la condición de los niveles de infección del arbolado en cada uno de los sitios de investigación tanto inicial como final.

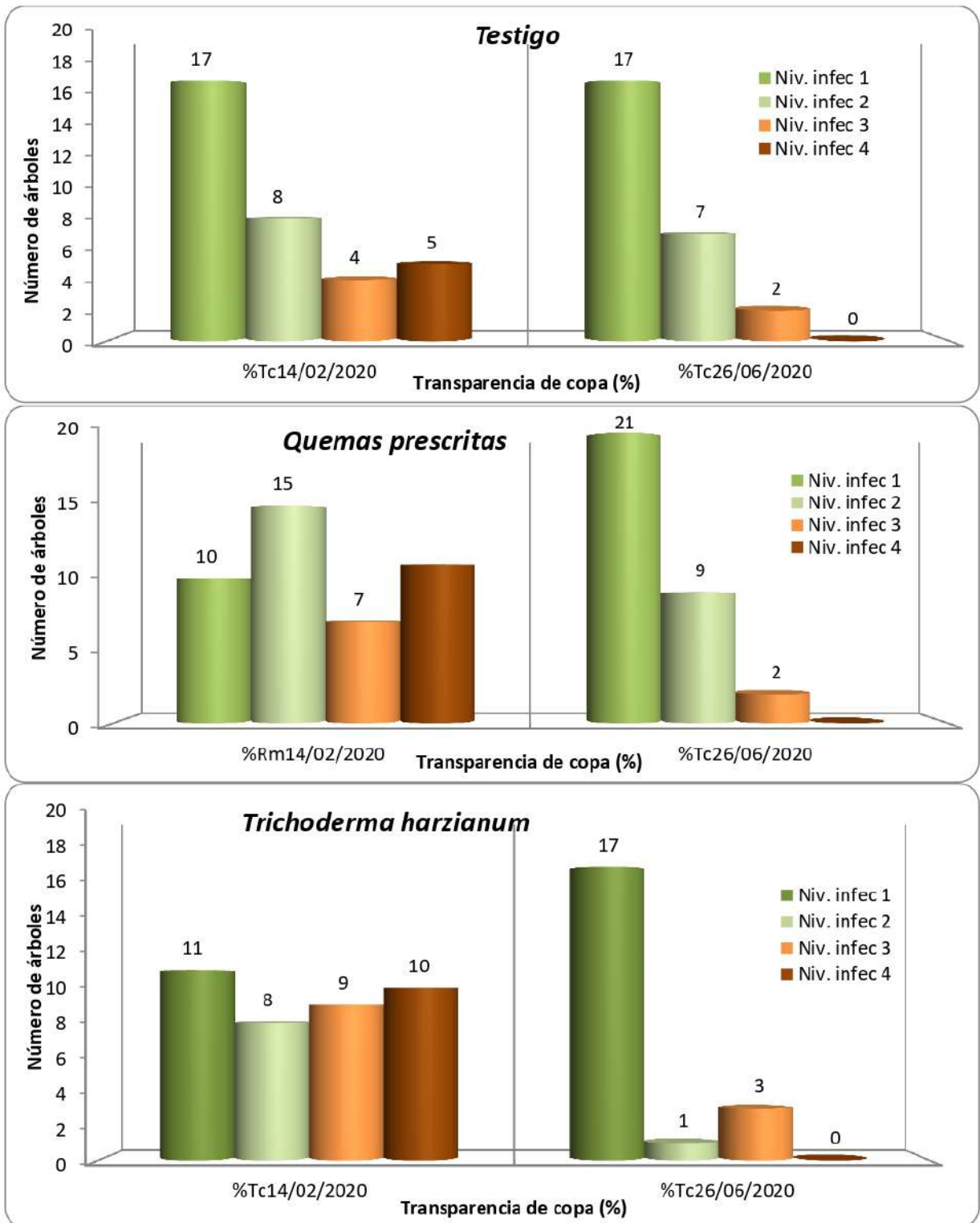
Cuadro 8 Niveles de infección al inicio y al final en cada uno de los sitios de investigación

Sitio	Nivel de infección inicial	Nivel de infección final
BAQ+Iny	3	1
BAIny	2	1
BATrich	3	1
BAQ	3	2
BATest	2	2
DQ+Iny	2	1
DIny	3	1
DTrich	3	2
DQ	2	1
DTest	2	1
ZQ+Iny	1	1
ZIny	2	1
ZTrich	2	1
ZQ	3	2
ZTest	1	1

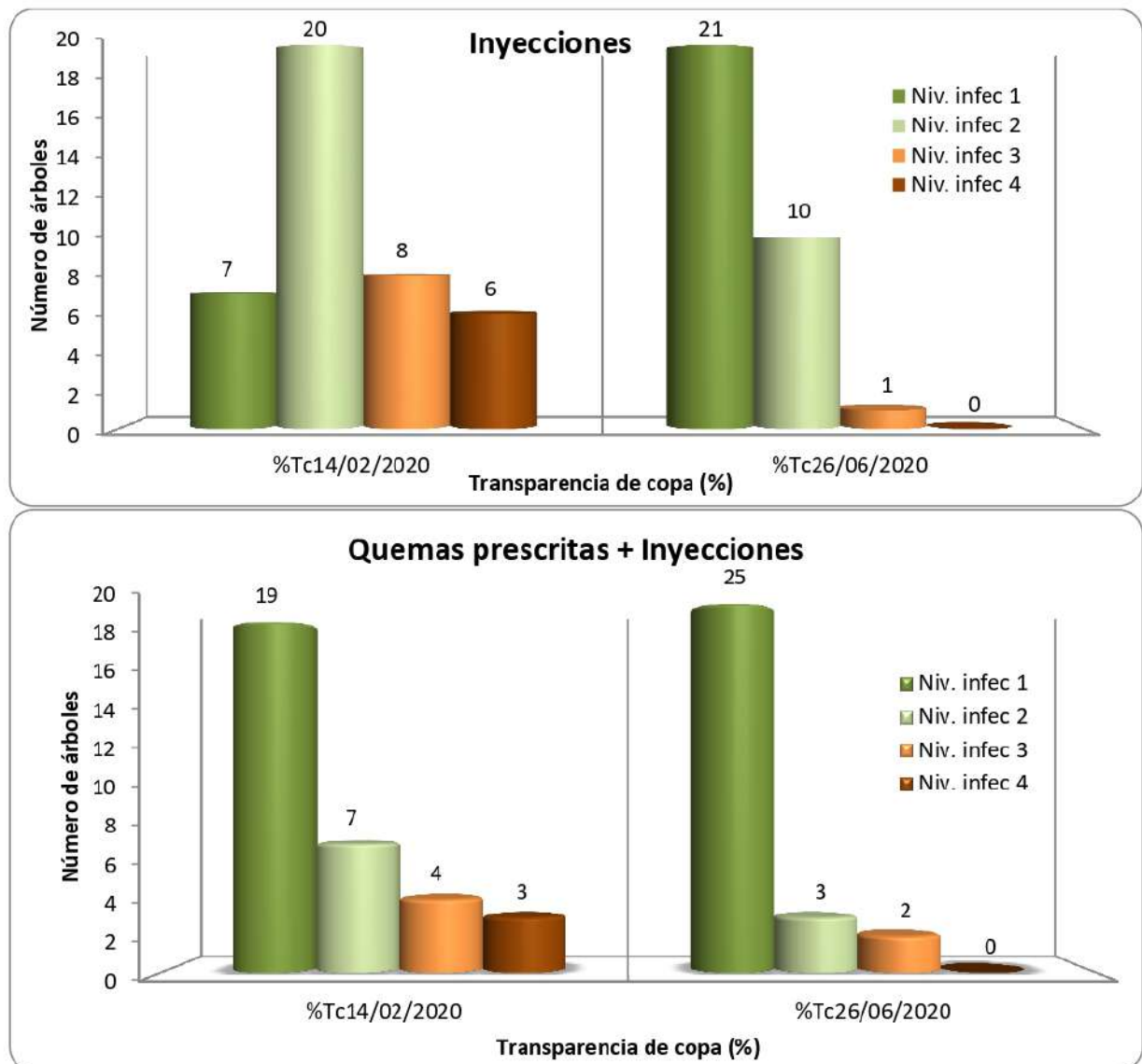
BA: Barranca del Agua, D: Desmontes, Z: Zirimondiro; Q: Quemadas, Iny: Inyecciones, Trich: Trichoderma, Test: Testigo.

De los 15 sitios de investigación, 11 quedaron en categoría 1 y sólo 4 en categoría 2. La distribución de los árboles se muestra en el siguiente conjunto de gráficas.

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control *Sphaeropsis sapinea* que afectan el género *Pinus* en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”



“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control Sphaeropsis sapinea que afectan el género Pinus en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”



Gráfica 9. Conjunto de gráficas que muestran la condición inicial del arbolado y la condición final después de haber aplicado los tratamientos.

Con el tratamiento silvícola, combinado o complementado con el resto de los tratamientos probados, tuvieron efectos positivos para mejorar la condición del arbolado que quedó en pie.

2.7. Instalación de sensores climáticos

Con el objetivo de generar información de las condiciones ambientales que prevalecen en la zona de estudio y que favorecen el desarrollo de *S. sapinea*, se instalaron ocho equipos de registro de datos de alta precisión de temperatura y humedad relativa. Estos equipos EasyLog, modelo EL-USB-2-LCD se configuraron para registro de información cada hora y quedaron distribuidos como se muestra en la figura 13.

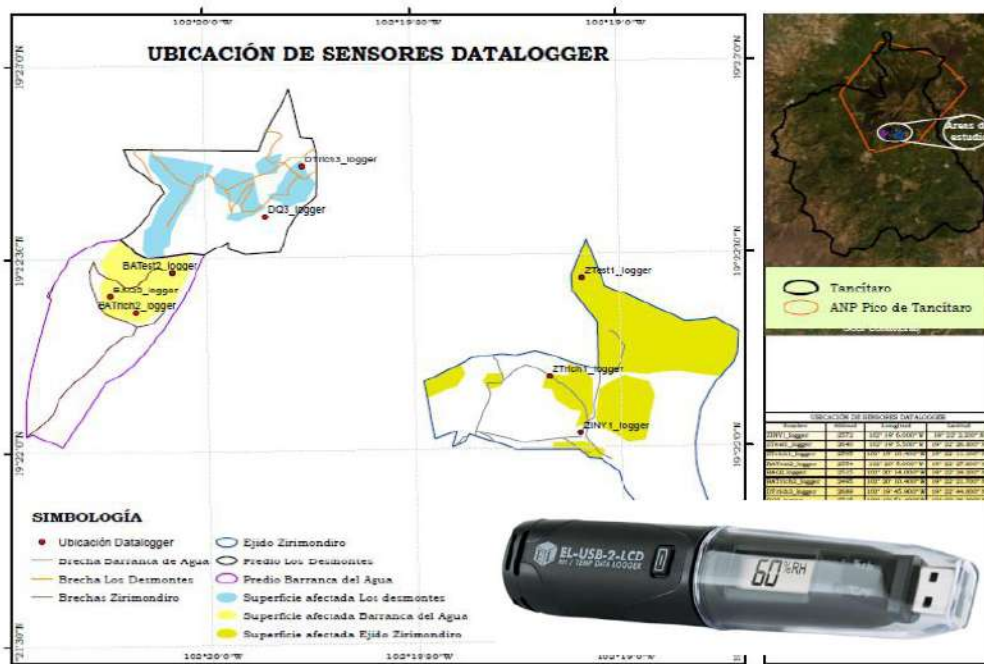


Figura 13. Ubicación de los sensores climáticos

Cada sensor climático se instaló en el centro del sitio, quedando protegido para evitar daño o pérdida del mismo (Figura 14), sin embargo, a pesar de estos cuidados, en la última toma de datos se tuvo la pérdida de un equipo.



Figura 14 Instalación de sensor climático

La información registrada por los sensores climáticos fue descargada hacia un puerto USB de una computadora portátil, utilizando el software gratuito EasyLog como herramientas de apoyo. (Figura 15). El software EasyLog USB se utilizó para configurar los equipos y para tener acceso a los datos registrados (Figura 16).

En el período del 20 de febrero al 03 de julio se concentraron más de 21,000 datos de temperatura y humedad relativa y para ser analizados se generó una base de datos en Excel, además de que se hizo corrida estadística en el software gratuito R disponible en la página web: <http://www.r-project.org>.

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control Sphaeropsis sapinea que afectan el género Pinus en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”



Figura 15. Descarga de información registrada por sensor climático.

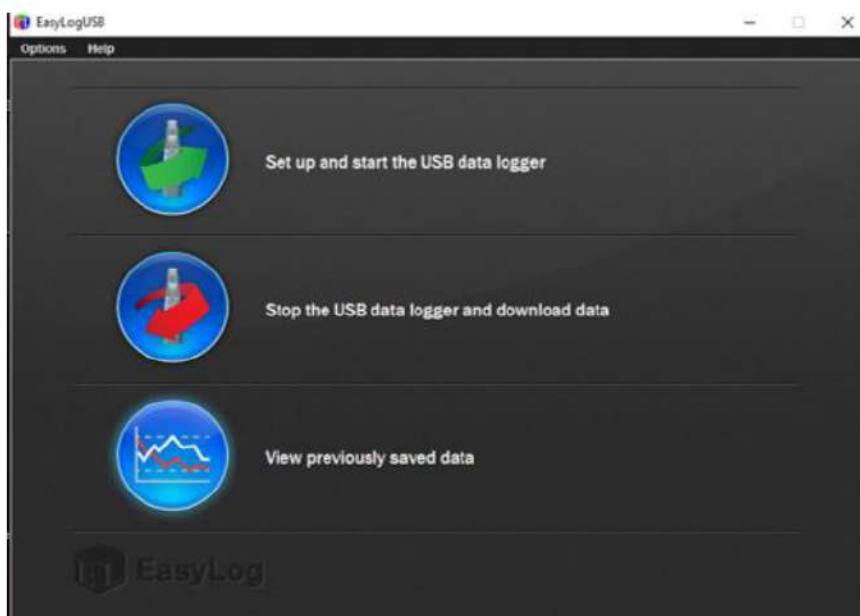
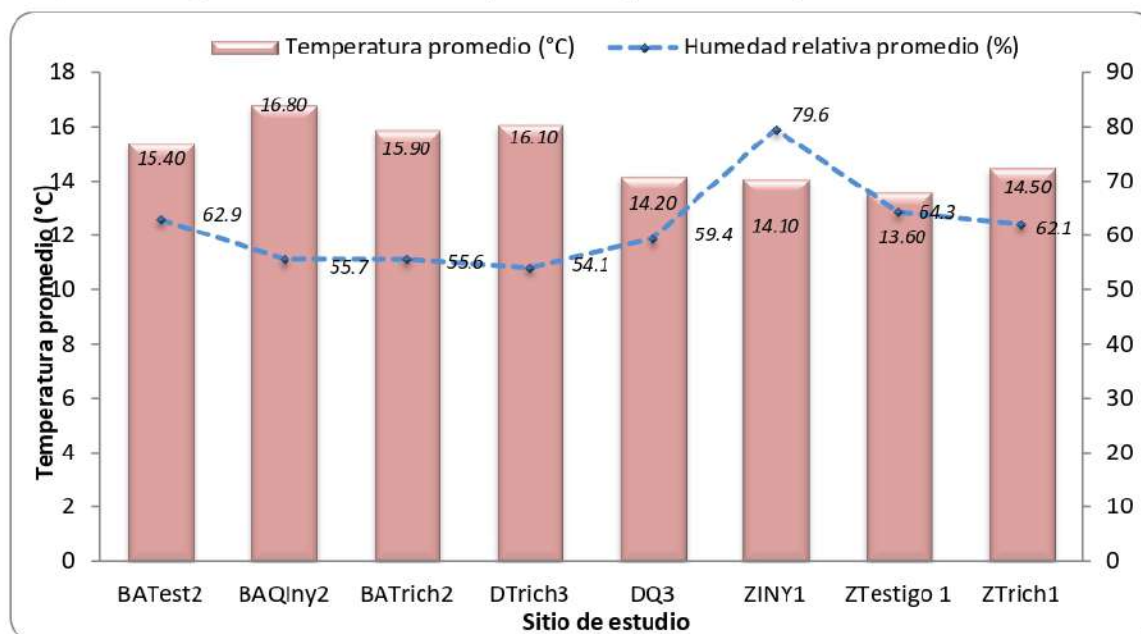


Figura 16. Programa EasyLog USB

2.7.1. Resultados del registro de los sensores climáticos

Con la información obtenida de los sensores climáticos en ocho sitios de investigación y durante el período que comprende del 20 de febrero al 26 de junio se generó la gráfica 10, son datos promedio por sitio del período mencionado.



Gráfica 10 Temperatura y humedad relativa en ocho sitios de investigación, son datos promedio del período 20 de feb al 26 de junio de 2020. Se detecta que el Ejido Zirimondiro presentó el sitio con menor temperatura y también el más húmedo.

Con esta información se detecta que la temperatura promedio en el período del estudio varía de 13.6 y 16.8 °C y la humedad relativa promedio osciló entre 54.1 y 79.6%. Estas condiciones climáticas del área de estudio están permitiendo que el patógeno se exprese.

Se puede apreciar la relación que existe entre la temperatura y la humedad relativa. Los sitios que reportan temperaturas más altas tienen en su mayoría menor porcentaje de humedad relativa y viceversa.

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control Sphaeropsis sapinea que afectan el género Pinus en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”

El análisis estadístico se realizó mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon. De los 8 sitios de monitoreo se obtuvieron los estadísticos de tendencia central y dispersión para temperatura y humedad relativa como se muestran en el cuadro 9 y 10.

Cuadro 9. Estadísticos de tendencia central y de dispersión para los datos de temperatura por sitio.

Sitio	count	mean	sd	median	IQR
BAQIny2	2931	16.775	3.420	16	5
BATest2	2518	15.435	2.859	15.5	4
BATrich2	2524	15.921	3.822	15	6
DQ3	2720	14.176	3.321	13.5	5
DTrich3	2713	16.111	5.228	14.5	7.5
ZINY1	2562	14.140	2.047	14.5	3
ZTestigo 1	2477	13.577	4.918	12	7.5
ZTrich1	2864	14.520	4.548	13	8

Mean = media, sd = desviación estándar, median = mediana, IQR = rango intercuartil

Cuadro 10. Estadísticos de tendencia central y dispersión para los datos de humedad relativa por sitio.

Sitio	count	mean	sd	median	IQR
BAQIny2	2931	55.677	18.580	52.5	24.5
BATest2	2518	62.864	14.425	62.5	19.5
BATrich2	2524	55.567	16.278	55	23
DQ3	2720	59.406	18.190	59	26
DTrich3	2713	54.083	19.312	53.5	26.5
ZINY1	2562	79.583	10.619	80.5	14
ZTestigo 1	2477	64.283	17.359	65	25
ZTrich1	2864	62.073	19.308	62	27.5

Mean = media, sd = desviación estándar, median = mediana, IQR = rango intercuartil

“Evaluación de la efectividad de tratamientos para el control Sphaeropsis sapinea que afectan el género Pinus en el Área de Protección de Flora y Fauna en el Pico de Tancítaro, Michoacán”

En el ANOVA que se realizó para ver si existe diferencias entre las medias de la temperatura, la humedad relativa y las esporas capturadas en los sitios de investigación, se puede observar (Cuadro 11) que la temperatura muestra resultados significativos, lo que se traduce en que el efecto de la temperatura influye en la presencia de *S. sapinea*.

Si bien la interacción entre la temperatura y la humedad relativa no muestran significancia, no se puede concluir que esos factores no influyen en la presencia de *S. sapinea*.

Cuadro 11. Tabla ANOVA de dos factores para ver la relación entre el conteo de esporas, datos de temperatura y humedad relativa

	Df	Sum	Sq	F Value	Pr(>F)
Temperatura °C	1	3747	3747	6.966	0.0122*
Humedad relativa %	1	86	86	0.161	0.691
Temperatura °C: Humedad relativa %	1	325	325	0.604	0.4421
Residuales	36	19366	538		

Es necesario considerar que el periodo de evaluación para los tratamientos sea de un plazo mayor al establecido en el proyecto con el objetivo de tener más variabilidad de datos que ayuden a mejorar el análisis estadístico.