



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, a 27 de octubre de 2021

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos”** de la alumna **Kenya León Carvajal**, con número de matrícula **10022637**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(si) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

Dra. Cristina Martínez-Garza\*  
Profesor-Investigador Titular B TC  
CIByC, UAEM

\*firmado electrónicamente



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**CRISTINA MARTINEZ GARZA | Fecha:2021-10-30 05:51:25 | Firmante**

K6cM3Lrt/sMNc06keorlJHzFy//tZ+Tc8DqVifDu5X8FYbv3dx4CWGFm7ns49XxCALsCKTYVsyL0GlcYyK7RyMT0g7s9HgvWfU2WBZJLhE5jbbqrEnsAuLn+884+fgkhfyq16A6BGP  
oq00l/97FfTPivDD+HqWxrBi1TbTYTjVH+eLePPR6Gdvp3XYCCPmUe1BXjpGyi9y2WIL29zA+Aui7Ks3OMFuKYXFIFKC1XXSMoD2zDGt9CZnEnDNQJfo0R/zygNbmimixP2hb+i  
mOI5QHkOJYtl0cBUy3oZgpW0WvnetNrRgaKENJtwcceEDlctHrfTUvhD5Wylt08lsX5ASw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[f2ldrm0YW](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/VPkSDulSvy0314q3mwTkGDS0DyIi3r1u>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, a 28 de octubre de 2021

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos”** de la alumna **Kenya León Carvajal**, con número de matrícula **10022637**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

( Sí ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

**Dra. Elisabet Wehncke Rodríguez  
CIByC, UAEM**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ELISABET VERONICA WEHNCKE | Fecha:2021-10-28 09:11:16 | Firmante**

vi06rQz8F6varETy6k5ilnSo3E6DJ9VEe5anZXgH221kT9FhOBaOjPu4MnTopANt6jO7HrvdcDCul5SXujn6wK5tPB3waczjLN6iWEocHk2JddUYzRcocYOG96ee2WhS0+G4mMEg pHv8a8bXn9Q3q8rax1WdiiKFlqdLyzVBhnEdmDZRPCeEZnx8jG2Bbly7K/mc3reecs79bzigQrr3fFDx0V2oXk06h9GcngLmf6uRuwUin/CEQPIttMbgLE2h0/YpZECdByb+H8yuRjN8Zo /JFoJmqeQ8sSY7uOip4hSEBdsso7Kh6PuR4zTdjKKNOIAv34KOx9UYab0A+ZcA5W/HCw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**Di02EOvyF**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/eNKK4rMERJ2ICjYkFklvFkju4frKUYPo>





Cuernavaca, Morelos, a 28 de octubre de 2021

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos”** de la alumna **Kenya León Carvajal**, con número de matrícula **10022637**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

**\*Dra. Karla María Aguilar Dorantes  
PITC- CIByC, UAEM**

\*Firmado electrónicamente



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**KARLA MARIA AGUILAR DORANTES | Fecha:2021-11-03 12:18:09 | Firmante**

agpxMs9/UbNi+QPH77vNRcAaCKhYwY3QF8M8cH4vSSYC0eJKKj0nRoMOgLoH9Vlv524h4jIWj9TZDBIkXzLBKt12NRROgkrWmS92LygRRvJM2y866/GXS4fISQdSuONqE/mLn8xC3wKtPU7W7D1uoN2QgkYHiM/A+OilyO/43vNHTyWzxcgui9z1YI8iyKuYwRcYHDjfC550d3+bfrn0gmQHMeg+ASFlwYYbYSeIameENPGUIB0ssy2mO3kS2SGZU1IG4mVI3N7dzNR7EfszSjKlp+jlPSTp4dGVIUzQ2qjUW7FX4gL0VZcvsmc99MIQOWcu+PDwd5EnHbCHa1Ux1Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[Ltk2U1Q5z](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/vpuhGCIQo52IhcLeVddMeW2b7TDdBQ0B>





INSTITUTO DE  
**GEOLOGÍA**

**CIENCIAS AMBIENTALES Y DEL SUELO.**

Cuernavaca, Morelos, a 29 de octubre de 2021

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos”** de la alumna **Kenya León Carvajal**, con número de matrícula 10022637, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(X) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

**Dr. Víctor Peña Ramírez**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

VÍCTOR MANUEL PEÑA RAMÍREZ | Fecha:2021-11-19 13:49:44 | Firmante

HQ1eQqRTx0Zha6ImDQg9wMgVRWDeqdp2GNKapA8s8u1UVAP92VQ7SNPWJYFlaRu2YWV/y9HDvwiCLyp3kh+abc6Wf2colLTPpO+J8FvbwryX9Uq0pihfRPHd/981xhrujsS2sm0tZn64X8BQ5kiMK2Mh5Ab43sq4zHW9L1dytl+wflKy2Wucy/VBIs7w9CPQwX+aUUmI77YC6JceOPMfhLR+ug6GGmq6Y8tCPmdP2bSlvkYsWkLcBKWe/fWYxX8zG+6nprREAEb7ylbOu2UZDI4m/nqsw+m/Or+nc98w7ymrUDa2pbFIKA+mTkBF50PRlrBQAqkyO+cykkc21ujhYOjQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[ml0eQhA8f](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/dlLaTyFYQLWJFudCpl09Eor5DF7EFgo3>



Cuernavaca, Morelos, a 28 de octubre de 2021

**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la**  
**Biodiversidad y la Conservación**  
**Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “**Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos**” de la alumna **Kenya León Carvajal**, con número de matrícula 10022637, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

( X ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

---

**Dra. Marinés de la Peña Domene**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARINÉS DE LA PEÑA DOMENE | Fecha:2021-11-09 12:00:31 | Firmante**

s7ociMkXlr2vPos3VQIDAhn+lpG1M+bLkirb8zVaV8UhhBN3zSVrHGDUpKmVyNURP6Jj49i0W1BefFheE9xZTfvciz/EleivSr/nhqmHe6/oAT5hjd3rGCiBtMDQ801mnQw7Fr/GQiL+JHJlvVWmEZ3yCNjI/j5cE06C8VZDE87pgJD1/crec139BzGZ0FYyhoCFRdo8TSd70PcA8nSA+SxJsbs1vDekqIGitQvU0NF6THRdomyDFV9nP1UOAWoRWHCYFX7P7CXSymu32SHjXuabLQLiVmsyaFZmGtp95BuHwmh5mOL9c9jdVLIQA/avBM++cfy/7Mf2CFdwQwfQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[ksNVFBYUz](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/b3RIM5aophcEQJuRQPdBZIG2oS3ZI5et>





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MORELOS**

---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**EFFECTO DE LA SEVERIDAD DE INCENDIO  
EN EL BANCO DE SEMILLAS DE UN  
BOSQUE TEMPLADO EN MORELOS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE LA  
BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

**PRESENTA: BIOL. KENYA LEÓN CARVAJAL**

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA**



CUERNAVACA, MORELOS

NOVIEMBRE, 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca #934098 otorgada de septiembre de 2018 a agosto de 2020.

Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación por darnos la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, y por las facilidades para culminarlo.

A la Dra. Cristina Martínez Garza por aceptar ser mi directora, por sus observaciones durante la ejecución del proyecto, por su apoyo y por el aprendizaje que obtuve como su tesista.

Al Dr. Víctor Peña y la Dra. Elisabet Wehncke por formar parte del comité sinodal de esta tesis, por sus conocimientos y aportaciones para mejorar el proyecto.

A la Dra. Karla Aguilar y la Dra. Marinés de la Peña por aceptar ser parte del comité revisor y por sus observaciones para afinar esta tesis.

A la M. en BIByC Iris Baeza por todo el apoyo que me brindó durante el desarrollo de esta tesis. Gracias a su tesis de maestría esto fue posible.

A la M. en BIByC Iris Baeza, M. en C. Luz María Ayestarán, Al Dr. Fernando Martínez y al Biól. Juan Martínez por la ayuda en campo.

Al M. en C. Gabriel Flores y a la Dra. Rosa Cerros Tlatilpa por su ayuda en la identificación de ejemplares.

A la Dra. Valentina Carrazco y al Ing. Alejandro Mata por su ayuda en el uso del invernadero.

A la coordinación de la MBIByC: la M. en C. Lorena Orozco, la C. P. Claudia Avilés y el Dr. Raúl Alcalá por todo su apoyo tanto en los trámites académicos, así como en mi estadía como estudiante.

A los integrantes del comisariado ejidal de Santa María Ahuacatlán (periodo 2016-2019) por los permisos para la realización de este proyecto.

A mi familia y amigos que siempre estuvieron motivándome en esta etapa.

A todos, ¡mil gracias!

Se necesita sólo un árbol para hacer un millón de cerillos,  
y sólo un cerillo para quemar un millón de árboles.

**-Anónimo**

**Citar como:**

León-Carvajal, K. 2021. Efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 85 pp.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE APÉNDICES</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	7
Objetivos particulares .....	7
<b>HIPÓTESIS</b> .....	7
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	8
Área de estudio .....	8
Registro de datos .....	12
Análisis estadísticos.....	25
<b>RESULTADOS</b> .....	28
Espesor del mantillo.....	28
Riqueza y densidad de semillas en el mantillo.....	28
Riqueza y densidad del banco de semillas. Método de tamizaje de semillas.....	33
Riqueza y densidad del banco de semillas. Método de emergencia de plántulas.....	36
<b>DISCUSIÓN</b> .....	45
Efecto del fuego en el espesor del mantillo.....	45
Efecto del fuego en las semillas del mantillo.....	46

Efecto del fuego en el banco de semillas.....	48
Profundidad del suelo .....	49
Composición del banco .....	50
Métodos de estimación del banco de semillas .....	51
Implicaciones para la restauración .....	52
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>PERSPECTIVAS.....</b>	<b>54</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>55</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localización del incendio ocurrido en el bosque de Pino del paraje El Fresno, Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, Morelos. Fuente: Juan-Baeza (2020). Tomado del reporte anual de incendios de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (2017).....10
- Figura 2.** Uso de suelo y vegetación del área afectada por el incendio ocurrido en el bosque de Pino del paraje El Fresno, Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, Morelos. La línea externa azul indica los límites del área del incendio. Fuente: Juan-Baeza (2020). Elaborado a partir del polígono aislado del reporte anual de incendios de la SEDESU (2017) y la capa de uso de suelo y vegetación del estado, modificado en el Laboratorio de Investigación en Sistemas de Información Geográfica (LISIG), UAEM.....11
- Figura 3.** Bosque no quemado en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosel; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).....15
- Figura 4.** Bosque con severidad de incendio baja en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Sotobosque; B) Dosel; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).....16
- Figura 5.** Bosque con severidad de incendio media en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosel; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).....17
- Figura 6.** Bosque con severidad de incendio alta en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosel; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).....18
- Figura 7.** Distribución de todas las parcelas con la superposición de la capa de severidades en el polígono de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Parcelas de bosque no quemado representadas por triángulos blancos, parcelas de severidad baja con estrellas negras, parcelas con severidad media con círculos blancos y parcelas con severidad alta con círculos negros. Color verde: No Quemado. Amarillo: Severidad baja. Naranja: severidad media. Rojo: severidad alta. Cada pixel mide 20 x 20 m. Mapa elaborado por Juan-Baeza (2020).....21

**Figura 8.** Pasos en la toma de muestras del banco de semillas. A) Elección del punto; B) Delimitación del área; C y D) Recorte y colecta del mantillo; E) Medición del espesor del mantillo; F-H) Extracción de suelo a dos profundidades. ....22

**Figura 9.** Efecto de la condición del fuego en (a) el espesor del mantillo y (b) densidad de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post hoc de Tukey.....30

**Figura 10.** Gráfica box plot del efecto de la condición del fuego en la riqueza de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Los límites de los rectángulos indican los percentiles 25 y 75, los puntos indican la mediana y las líneas verticales indican los límites de distribución superior e inferior. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) evaluadas con comparación rangos múltiples.....31

**Figura 11.** Gráfica box plot de la densidad de semillas por el método del tamizaje incluyendo las dos profundidades de suelo en cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Los límites de los rectángulos indican los percentiles 25 y 75, los puntos indican la mediana y las líneas verticales indican los límites de distribución superior e inferior.....34

**Figura 12.** Riqueza de plántulas incluyendo las dos profundidades del suelo en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%.....40

**Figura 13.** Densidad de plántulas, incluyendo las dos profundidades de suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%.....42

**Figura 14.** Comparación de los dos métodos de estimación del banco de semillas en el bosque de Pino del paraje El Fresno, incluyendo las dos profundidades del suelo (6 cm). Los métodos a comparar fueron el tamizaje de semillas y la emergencia de plántulas...44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Categorías de severidad de acuerdo a los valores de la diferencia normalizada de área quemada (dNBR) modificada de Kay y Benson (2004). Se muestra el color que fue asignado de acuerdo a la severidad. ....	13
<b>Tabla 2.</b> Promedio $\pm$ error estándar del espesor del mantillo (cm), semillas totales, densidad (semillas/ m <sup>3</sup> ) y riqueza de especies, en las cuatro condiciones de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. La riqueza se expresa por medio del número total de morfo-especies.....	29
<b>Tabla 3.</b> Prueba de comparación de rangos múltiples de la riqueza de semillas del mantillo entre condiciones en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....	32
<b>Tabla 4.</b> Prueba de comparación de rangos múltiples de la densidad de semillas incluyendo las dos profundidades del suelo entre condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....	35
<b>Tabla 5.</b> Valores de la prueba pareada de Wilcoxon, comparación en la densidad de semillas de la profundidad 0-3 cm <i>versus</i> la profundidad 3-6 cm en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....	35
<b>Tabla 6.</b> Familias y géneros de plantas presentes en el banco de semillas por condición de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....	37
<b>Tabla 7.</b> Familias y géneros de plantas en el banco de semillas, obtenidas por el método de emergencia de plántulas en el bosque de Pino del paraje El Fresno. En la tabla se muestran abundancias.....	39
<b>Tabla 8.</b> Densidad de plántulas/m <sup>3</sup> (promedio $\pm$ error) por condición incluyendo las dos profundidades de suelo en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....	41

**Tabla 9.** Valores de la prueba pareada de t de Student, en la que se compara por condición, la densidad de plántulas de la profundidad 0-3 cm contra la profundidad 3-6 cm en el bosque de Pino del paraje El Fresno.....43

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice 1.</b> ANOVA de una vía del espesor del mantillo en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).....	65
<b>Apéndice 2.</b> ANOVA de una vía de la densidad de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).....	65
<b>Apéndice 3.</b> ANOVA de una vía de la riqueza de plántulas, incluyendo las dos profundidades del suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).....	66
<b>Apéndice 4.</b> ANOVA de una vía de la densidad de plántulas, incluyendo las dos profundidades de suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).....	66
<b>Apéndice 5.</b> Estudios sobre banco de semillas por métodos de emergencia de plántulas y/o tamizado de semillas a diferentes profundidades. En gris claro se muestran los datos de este estudio. En gris medio se muestran los estudios son para bosques templados estudiados bajo diferentes severidades de incendio. En gris oscuro se muestran los estudios del banco de semillas de otros ecosistemas que sufrieron un evento de fuego.....	67

## ÍNDICES DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Coordenada, altitud, orientación y pendiente de cada parcela de muestreo en el bosque de Pino del paraje El Fresno. La letra A corresponde a las parcelas de severidad alta, B a las de baja, M a las de media y NQ a no quemadas.....	70
<b>Anexo 2.</b> Almacenamiento de las semillas resultantes del método de tamizaje en el estudio.....	72
<b>Anexo 3.</b> Semillas encontradas en el estudio. A) Semillas de <i>Phytolacca icosandra</i> . B) Semillas no identificadas. C) Semillas de <i>Desmodium</i> sp. D) Semillas de <i>Crotalaria rotundifolia</i> .....	73
<b>Anexo 4.</b> Semillas encontradas en el estudio. A) Semillas no identificadas. B) Semillas de <i>Mimosa galeottii</i> . C) Semillas de <i>Pinus</i> sp. D) Semillas de <i>Arenaria</i> sp.....	74
<b>Anexo 5.</b> Muestras de suelo del invernadero. Primer mes del experimento del método de emergencia de plántulas.....	75
<b>Anexo 6.</b> Muestras de suelo del invernadero. Tercer mes del experimento del método de emergencia de plántulas.....	76
<b>Anexo 7.</b> A), B), C) y D) Crecimiento de plantas en las muestras de suelo.....	77
<b>Anexo 8.</b> <i>Phytolacca icosandra</i> en las muestras de mantillo dentro del invernadero. Sexto mes del experimento.....	78
<b>Anexo 9.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Solanum</i> sp., B) <i>Phytolacca icosandra</i> , C) <i>Borreira ocymoides</i> , D) <i>Pinus</i> sp.....	79
<b>Anexo 10.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Juncus</i> sp., B) <i>Ipomea</i> sp., C) <i>Crotalaria rotundifolia</i> , D) <i>Castilleja gracilis</i> .....	80

<b>Anexo 11.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Sonchus</i> sp., B) <i>Salvia</i> sp., C) <i>Pseudognaphalium</i> sp., D) <i>Phytolacca icosandra</i> .....	81
<b>Anexo 12.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Desmodium</i> sp., B) <i>Paspalum</i> sp., C) <i>Setaria</i> sp., D) Poaceae.....	82
<b>Anexo 13.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Pennisetum</i> sp., B) Poaceae, C) <i>Oxalis</i> sp., D) <i>Mimosa galeotti</i> .....	83
<b>Anexo 14.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) <i>Habenaria crassicornis</i> . B) <i>Comellina</i> sp., C) <i>Trifolium</i> sp. D) <i>Brachystele affinis</i> .....	84
<b>Anexo 15.</b> Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A,B,C y D especies de Helechos no identificados creciendo en las muestras de suelo.....	85

## RESUMEN

Los bosques templados continuamente están expuestos a algún tipo de disturbio natural o antrópico, como son los incendios. Los incendios pueden modificar el ambiente físico, la disponibilidad de recursos y contribuir a la pérdida de la biodiversidad. El incremento en la degradación antrópica de los bosques aumentó el interés en estudiar las partes que conforman el proceso de regeneración del bosque después de un incendio, como es el banco de semillas. El banco de semillas contribuye a la permanencia de las poblaciones y aseguran un reservorio genético para que un ecosistema regrese a un estado lo más cercano al original después de sufrir un disturbio. Las altas temperaturas generadas por los incendios llegan a afectar la riqueza y densidad de semillas del banco. Los incendios pueden ser estudiados y evaluados de acuerdo con la severidad con la que impactan la vegetación y el suelo. En este contexto, aquí se explora los incendios como causa de la degradación del bosque, específicamente evaluar el efecto de la severidad de incendio en el espesor, la riqueza y la densidad de semillas en el mantillo, así como la densidad y la riqueza de semillas del banco en un bosque de Pino en el paraje El Fresno del ejido de Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, Morelos, después de dos años de que ocurrió un incendio. Para evaluar el efecto de la severidad, muestreamos el mantillo y el suelo en cuatro condiciones de incendio: parcelas de severidad baja, media y alta, y no quemadas. Las muestras fueron evaluadas por dos métodos: el método de tamizaje (para la localización de semillas) y el método de observación de la emergencia de plántulas. Los resultados de este estudio revelaron que el espesor del mantillo disminuyó conforme aumentó la severidad de incendio, como se esperaba. La densidad de semillas del mantillo fue similar entre severidades, pero estas fueron diferentes a la densidad de la condición no quemado, de acuerdo/contrario a lo esperado. La riqueza de morfo-especies de semillas del mantillo fue diferente en la condición de severidad baja respecto a la severidad alta; la riqueza de semillas disminuyó con el espesor del mantillo. Por otro lado, la densidad de semillas y plántulas en el suelo fue similar en las cuatro condiciones, evaluadas por ambos métodos. Además, la densidad de semillas y plántulas del banco entre la capa de suelo de 0-3cm y 3-6 cm fue similar. La riqueza del banco evaluada por la emergencia de plántulas fue similar entre condiciones. La riqueza del banco de semillas estuvo dominada por especies herbáceas mientras que las arbustivas y arbóreas fueron escasas. Por último, se observó una mayor densidad de individuos por el método de emergencia de plántulas que por el de tamizaje de semillas.

## **ABSTRACT**

Forests are always exposed to natural or anthropic disturbance. Fire can modify the physic environment and the availability of resources resulting in the loss of biodiversity. The increase of forest degradation due to anthropogenic activities caused the increase of studies about the steps included in the process of forest regeneration after an event of fire, as the seed bank. The seed bank contributes to the maintenance of populations and assure a genetic reservoir so an ecosystem can return to its original state after a disturbance. The high temperature during fires, affects the richness and density of seeds in the bank. Fires are evaluated according to the severity with which they impact the vegetation and the soil. In this context, here, we explore fires as a cause of degradation of the forest, specifically, we evaluated the effect of fire severity in the thickness of the leaf litter and the seeds in it and also the richness and density of seed in the soil bank in a Pinus Forest in El Fresno, located in the communal lands of Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, state of Morelos, after two years of a fire event. To evaluate the effect of the fire severity we collect litter and soil samples in three conditions: three levels of fire severity and one area not experiencing a fire; samples were evaluated by separating the seeds and by observation of germination. Results showed that litter thickness decreases as fire severity increase. Seed density in the litter was similar among levels of fire severity and higher than in the area not experiencing a fire. Richness of morpho species in the litter decreased with the decrease of litter thickness. Also, density of seeds and seedlings from the bank was similar at all conditions. Further, density of seeds and seedlings in the soil depths 0-3cm and 3-6 cm was similar. Evaluated by germination, seed richness was similar among conditions. Richness was dominated by herbs; few species of shrubs and trees were found. Finally, a higher density of seeds was found by germination than by separation of seeds.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques templados continuamente están expuestos a algún tipo de disturbio natural o antrópico. Un disturbio es un evento que modifica el ambiente físico, la disponibilidad de recursos y provoca la pérdida de la biodiversidad (White y Pickett, 1985). Los bosques cuando sufren una perturbación se ven afectados en su funcionabilidad (White y Pickett, 1985). Los incendios son un disturbio que afectan a los bosques; un incendio se define como la propagación libre y sin control del fuego en un área forestal (Veléz, 2000). Los incendios forman parte de la dinámica de los bosques templados y están presentes desde hace millones de años (Rodríguez-Trejo, 2012). Pero el incremento en la frecuencia de los incendios debido a causas antropológicas, provoca condiciones que favorecen la generación de incendios con mayor impacto en la vegetación y en suelo (Shlisky *et al.*, 2007; Hardesty *et al.*, 2005). Los incendios pueden ser evaluados de acuerdo a su severidad, que es el consumo de la materia orgánica subterránea y superficial debido al fuego; la severidad se clasifica en baja, media y alta (Patterson y Yool, 1998). En la severidad baja se consume el mantillo, musgos, hierbas y algunas áreas del sotobosque; en la severidad media se consumen las plantas del sotobosque y la capa orgánica del suelo, mientras que las plantas del dosel sobreviven; en la severidad alta se consume lo anterior más el dosel y la capa orgánica profunda del suelo es reducida cenizas (Ryan y Noste, 1985; Granados-Sánchez y López-Ríos, 1996; Fule y Covington, 1997). Los incendios de severidad alta se propagan fácilmente si las copas de los árboles están en mutuo contacto (Jardel-Pelaéz, 1991). Los incendios de severidad alta dejan grandes áreas expuestas a la erosión debido a la falta de vegetación; esta severidad de incendio favorece la colonización por plantas oportunistas (revisado por Keeley, 2006). Las especies oportunistas tienen la capacidad de establecerse en lugares perturbados debido a sus requerimientos de luz, y a su alta tasa de crecimiento y reproducción (Anaya, 2003). La severidad se puede determinar por observación directa de los niveles de daño o por técnicas de teledetección basada en los cambios en la reflectividad de las áreas quemadas (Patterson y Yool, 1998). La severidad de incendio está basada en criterios ecológicos que mide los daños causados por el fuego como una perturbación, y permite estudiar más detenidamente los cambios causados a la estructura del bosque.

El proceso de regeneración natural se puede comenzar después de un incendio. La regeneración es un proceso dinámico en el que nuevos individuos se incorporan a la población a medida que otros desaparecen como resultado de la mortalidad (Harper, 1977). Durante las primeras etapas de la regeneración después de un incendio hay un incremento en la riqueza de plantas debido a la disponibilidad de recursos como luz y nutrientes (González-Tagle *et al.*, 2007). Los incendios también pueden favorecer el establecimiento de especies invasoras que no permiten el establecimiento de las nativas (revisado por Keeley, 2006). Las plantas invasoras son intolerantes a la sombra y producen una gran cantidad de propágulos que son dispersados y que se establecen rápidamente en los sitios quemados (Rowe, 1983). La fuente de propágulos para que la regeneración se lleve a cabo son los procesos de dispersión y el banco de semillas; los incendios al afectar el proceso de regeneración pueden modificar la composición y la densidad de la comunidad vegetal.

El banco de semillas es uno de los mecanismos de regeneración natural de la vegetación del bosque. El banco de semillas tiene una vinculación directa en la ecología de recuperación de especies y comunidades de plantas (Bakker *et al.*, 1996). El banco de semillas es la reserva de semillas presentes en la superficie del suelo o enterradas en el suelo, en la hojarasca o en la materia orgánica (Roberts, 1981; Baskin y Baskin, 1998). Una semilla es la unidad reproductora que dará lugar a una planta, está formada a partir de un óvulo fecundado que se compone de un embrión, una sustancia nutritiva de reserva o endospermo y una cubierta protectora o testa (Azcón y Talón, 2008). El banco de semillas contribuye a la permanencia de las poblaciones y aseguran un reservorio genético para que un ecosistema regrese a un estado cercano al original después de sufrir un disturbio (Thompson, 1992). La preocupación por la intensa degradación antrópica aumentó el interés en estudiar el banco de semillas para ayudar a crear predicciones sobre la regeneración, el presente trabajo busca generar información sobre los cambios en la riqueza y densidad del banco de semillas tras un incendio en un bosque de Pino-Encino del estado de Morelos.

## ANTECEDENTES

El banco de semillas experimenta un flujo continuo de entrada y pérdida de semillas. La entrada de semillas al banco se da por los propágulos que llegan mediante la lluvia de semillas; ésta se refiere al flujo de frutos y/o semillas desde la planta progenitora hasta un sitio de arribo mediante diferentes agentes de dispersión (Howe y Smallwood, 1982). La dispersión de semillas también se lleva a cabo por medio del viento, los animales, por el flujo del agua, por la acción de la gravedad, o por la explosión de frutos (Howe y Smallwood, 1982). La pérdida de semillas del banco es ocasionada por algunos mecanismos como: (1) la germinación, que es el proceso en el cual el embrión sale de latencia, reanuda su crecimiento y desarrollo hasta formar una plántula (Azcón y Talón, 2008); (2) la depredación, que es el proceso selectivo de semillas realizado por insectos, aves y mamíferos (Janzen, 1971); (3) la mortalidad; que es la muerte fisiológica de las semillas causada por microorganismos, por descomposición o senescencia (Kremer, 1993; Acosta y Agüero, 2002). La perturbación también contribuye a la pérdida de semillas del banco principalmente por los incendios forestales, el cambio de uso de suelo, la escorrentía y la eliminación de hojarasca, entre otros (Begon *et al.*, 2006). El banco de semillas es dinámico y regulado por varios procesos los cuales impactan en la riqueza y densidad de las semillas, además de su distribución en el suelo.

Las características de las semillas afectan la formación de un banco. Una característica de las semillas es su viabilidad, que se refiere a la capacidad de germinar y establecerse (Azcón y Talón, 2008). Otra es la longevidad de las semillas, que es la capacidad de permanecer en latencia después de entrar al banco (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989). La latencia de las semillas se define como el periodo en el cual el embrión detiene su desarrollo y entra en una fase de actividad suspendida (Raven *et al.*, 1992). Las semillas que permanecen en el banco presentan propiedades físicas o fisiológicas que les permite mantener su viabilidad, por lo que se clasifica en dos grupos: semillas ortodoxas y semillas recalcitrantes (Roberts, 1973). Las semillas ortodoxas adquieren una tolerancia a la deshidratación durante su desarrollo, esta tolerancia es común en especies con ciclos de vida cortos, con semillas pequeñas con latencia y viabilidad larga (Robbins, 1983). Algunas especies de Pinos del bosque templado presentan semillas de tipo ortodoxo (Robbins, 1983). Las semillas recalcitrantes son sensibles a la deshidratación, en general son de tamaño grande, con ciclos de vida largos, con latencia y viabilidad corta (Roberts, 1973). Los Encinos, muy

frecuentes en el bosque templado tienen semillas recalcitrantes (González-Salvatierra *et al.*, 2013). Con base en el tipo de semillas del banco, se clasifican en un banco transitorio y un banco persistente (Thompson y Grime, 1979). El banco transitorio está formado por semillas recalcitrantes, con la capacidad de germinar rápidamente y pueden permanecer viables hasta un año; las semillas de este banco pueden estar sometidas a depredación severa y estar presentes sólo en una determinada época del año (Thompson y Grime, 1979; Graham y Hutchings, 1988). Un banco persistente está formado por semillas ortodoxas que pueden permanecer viables durante varios años, este tipo de banco puede contener grandes cantidades de semillas (Thompson y Grime, 1979; Graham y Hutchings, 1988). De acuerdo a la longevidad y características de las semillas así como a su velocidad de germinación, los bancos pueden ser transitorios o persistentes.

La densidad de las semillas del banco depende de la profundidad del suelo. Las semillas que entran al banco pueden presentar desplazamientos en sentido horizontal o vertical dependiendo del tipo de suelo, la pendiente y la fauna de invertebrados que interactúan con las semillas (Reiné-Viñales, 2002). Estudios de banco de semillas en bosques templados han encontrado una mayor densidad de semillas en las capas superficiales debido a aportes continuos (Pratt *et al.*, 1984; Archibold, 1989; McGee y Feller, 1993; Moscoso y Diez, 2005). Por otra parte, las semillas situadas en la superficie están más expuestas a la depredación y factores ambientales adversos (Piudo y Cavero, 2005). En un estudio realizado en una selva estacional de Etiopia se encontró que la densidad de semillas era más alta en los 3 cm superiores del suelo, para posteriormente disminuir gradualmente a medida que aumenta la profundidad; a > 10 cm de profundidad fue difícil encontrar semillas (Teketay, 2005). En un estudio de prados alpinos en España reveló que las semillas enterradas a mayor profundidad, se encontraban en bajas densidades y eran más longevas que las superficiales (Reiné-Viñales, 2002). Aunque las semillas en la zona superficial del suelo pueden ser depredadas o perder la viabilidad, la densidad de semillas es mayor debido a la continua entrada de semillas por eventos de dispersión.

La formación del banco de semillas depende de la vegetación en pie y en parte a la acumulación del mantillo. El mantillo es la capa superficial del suelo y está formado por restos de biomasa en descomposición tales como hojarasca, estructuras vegetales, frutos, mamíferos y otros organismos (Barbour *et al.*, 1980). El mantillo protege al

suelo frente a la erosión por la lluvia, lo cual previene de pérdida de minerales (Maass *et al.*, 1988). El mantillo aporta nutrientes al suelo debido al contenido de materia orgánica, algunos nutrientes son el nitrógeno y el fósforo (Sundarapandian y Swamy, 1999; Smith y Smith 2007). El mantillo es una barrera que modifica la temperatura, la humedad, la cantidad y calidad de luz que llega al suelo; además el espesor del mantillo disminuye la desecación de las semillas y plántulas (Facelli y Pickett, 1991; Holmgren *et al.*, 1997; Ruprecht *et al.*, 2010). Sin embargo, estudios mostraron que la hojarasca; la cual forma parte del mantillo, libera compuestos aleloquímicos que se consideran fitotóxicos, estos compuestos redujeron el establecimiento y el crecimiento de las plántulas (revisado por Rice, 1979), dado que las semillas sin germinar son la principal fuente de semillas para el banco, una capa de hojarasca puede promover el desarrollo de un banco de semillas (Egawa *et al.*, 2009). Por otro lado, los disturbios o las actividades antropogénicas en los bosques hace que el mantillo disminuya y el suelo quede desnudo (Shaxson y Barber 2005). El perder el mantillo puede eliminar aproximadamente la mitad de la riqueza y la densidad de semillas del banco (Egawa *et al.*, 2009). Un grosor del mantillo ancho puede desarrollar un banco de semillas denso al proteger a las semillas de las condiciones abióticas y evitar que germinen, además de actúa como una trampa de semillas, lo cual su permanencia en el bosque es primordial.

Los incendios pueden comprometer la viabilidad de las semillas del banco. Las semillas que tienen testa permeable, aumentan su germinación con el calor debido a la escarificación de la testa, pero a temperaturas muy elevadas su viabilidad puede disminuir (Baskin y Baskin, 1998). En un incendio de severidad alta se pueden alcanzar temperaturas de hasta 1000°C produciendo daño al embrión y calcinando las semillas (revisado por Keeley, 2006). Los incendios usualmente dejan al suelo desprovisto de vegetación y mantillo por lo que las semillas están expuestas directamente al sol, lo que les provoca un rápido envejecimiento y deterioro (Carrillo-Anzures *et al.*, 2009). Un incendio cuando se presenta y las plantas no tienen frutos, y el banco de semillas existente es incapaz de resistir las elevadas temperaturas, esto ocasiona la falta de semillas lo cual podría detener la regeneración natural, disminuir la densidad y la riqueza vegetal (Enright y Kintrup, 2001; Habrouk *et al.*, 1999). Un incendio de severidad baja puede favorecer la germinación de algunas semillas si no afecta su integridad, mientras que los incendios de severidad alta pueden provocar la pérdida total del banco de semillas.

El banco de semillas en bosques templados se ha estudiado a nivel mundial. Algunos estudios evalúan la densidad y viabilidad de semillas almacenadas a diferentes profundidades de suelo (Valbuena y Trabaud, 1995; Albella y Springer, 2008; Archibold, 1989; Arriaga, 2004; Carrillo-Anzures *et al.*, 2009; Castillo-Argüero, 2013; Meadows *et al.*, 2006; Albella *et al.*, 2007), otros documentan cambios en la densidad antes y después de un incendio controlado (Ferrandis., *et al.*, 2001; Buhk y Hensen, 2005; Keyser *et al.*, 2012; Zuloaga-Aguilar *et al.*, 2010; Schuler *et al.*, 2010; Valbuena y Trabaud, 1995; Keeley, 2006). El efecto de los incendios de distinta severidad en los bancos de semillas se ha documentado en algunos ecosistemas (Kimura y Tsuyuzaki, 2011; Palmer *et al.*, 2018; Ghermandi *et al.*, 2013). En particular, en el bosque templado de Morelos no se ha realizado ninguna evaluación de este efecto. En esta comunidad vegetal ocurren el 90% de los incendios de Morelos: un total de 712 incendios se registraron del 2012 al 2016, la mayoría por causas antrópicas (Juan-Baeza, 2020). En este periodo, en Morelos aproximadamente 243,601 ha de vegetación se han incendiado; el mayor porcentaje de área afectada se ha localizado en el bosque de Pino-Encino y en la Selva Baja Caducifolia (Juan-Baeza, 2020). El estudio del banco de semillas muestra evidencias de los impactos ocasionados por los disturbios (Harper, 1977; Baker, 1989; Cano *et al.*, 2012). El banco de semillas también nos permite saber que especies de plantas forman banco, además de revelar que especies serían más afectadas por los incendios (Santos *et al.*, 2009). Este trabajo propone aportar conocimiento sobre el papel del banco de semillas en la regeneración del bosque templado, específicamente los cambios generados en la riqueza y densidad de semillas debido a la severidad de incendio.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de un bosque templado en Morelos.

### **Objetivos particulares**

1. Evaluar el efecto de la severidad de incendio en el espesor del mantillo, así como su riqueza y densidad de semillas.
2. Evaluar el efecto de la severidad de incendio en la riqueza y la densidad de semillas del banco.
3. Evaluar y comparar la densidad de semillas del banco a dos profundidades.

## **HIPÓTESIS**

1. El aumento en la severidad de incendio disminuye el espesor del mantillo así como su riqueza y densidad de semillas.
2. La riqueza y la densidad de semillas del banco disminuye conforme la severidad de incendio aumenta.
3. La densidad de semillas es mayor en la capa superficial del banco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

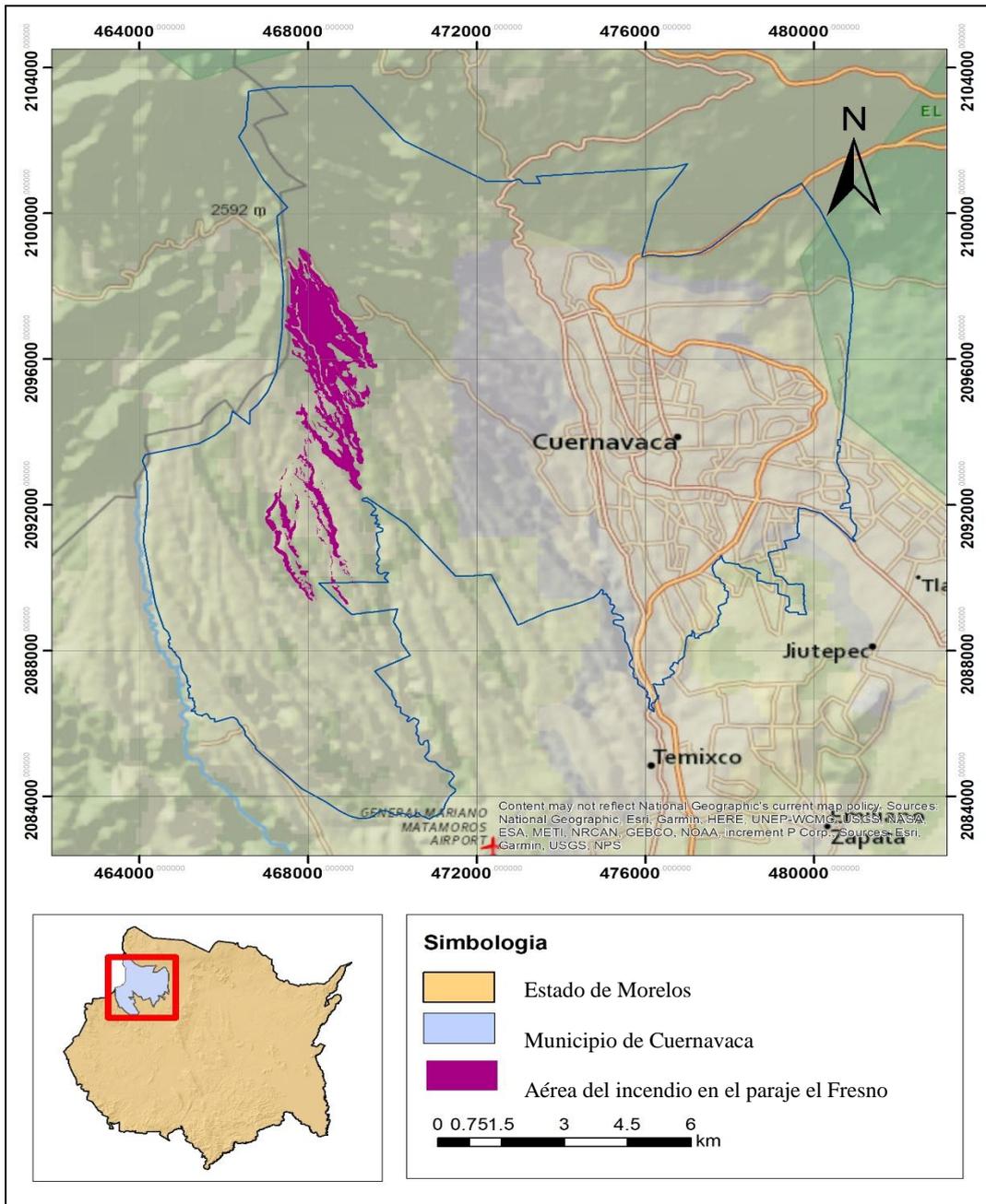
### Sitio de estudio

Para este estudio se seleccionó un incendio de la base de datos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El incendio ocurrió en el año 2017, en el paraje El Fresno que pertenece al Ejido de Santa María Ahuacatlán, Municipio de Cuernavaca. El paraje El Fresno colinda al norte con los municipios de Huitzilac y Ocuilán, al poniente con el Estado de México, al sur con Cuentepec, con el ejido del Salto, las colonias Loma Linda y Rancho Cortés, y al oriente con Chamilpa (Figura 1) (INEGI, 2005). El clima predominante en Cuernavaca es semicálido subhúmedo con lluvias en verano (64.84% de la superficie del municipio) (INAFED, 2018). La temperatura media anual es de 21.1°C con una precipitación media anual que oscila entre los 800 y los 1,500 mm (INAFED, 2018). Los meses en que se presenta mayor temperatura (entre los 24°C y los 28°C) son abril y mayo, los meses más fríos (por debajo de los 15°C) son diciembre y enero (INEGI, 2005). El rango altitudinal se encuentra entre 1,513 y 2,320 m s. n. m. (INEGI, 2005).

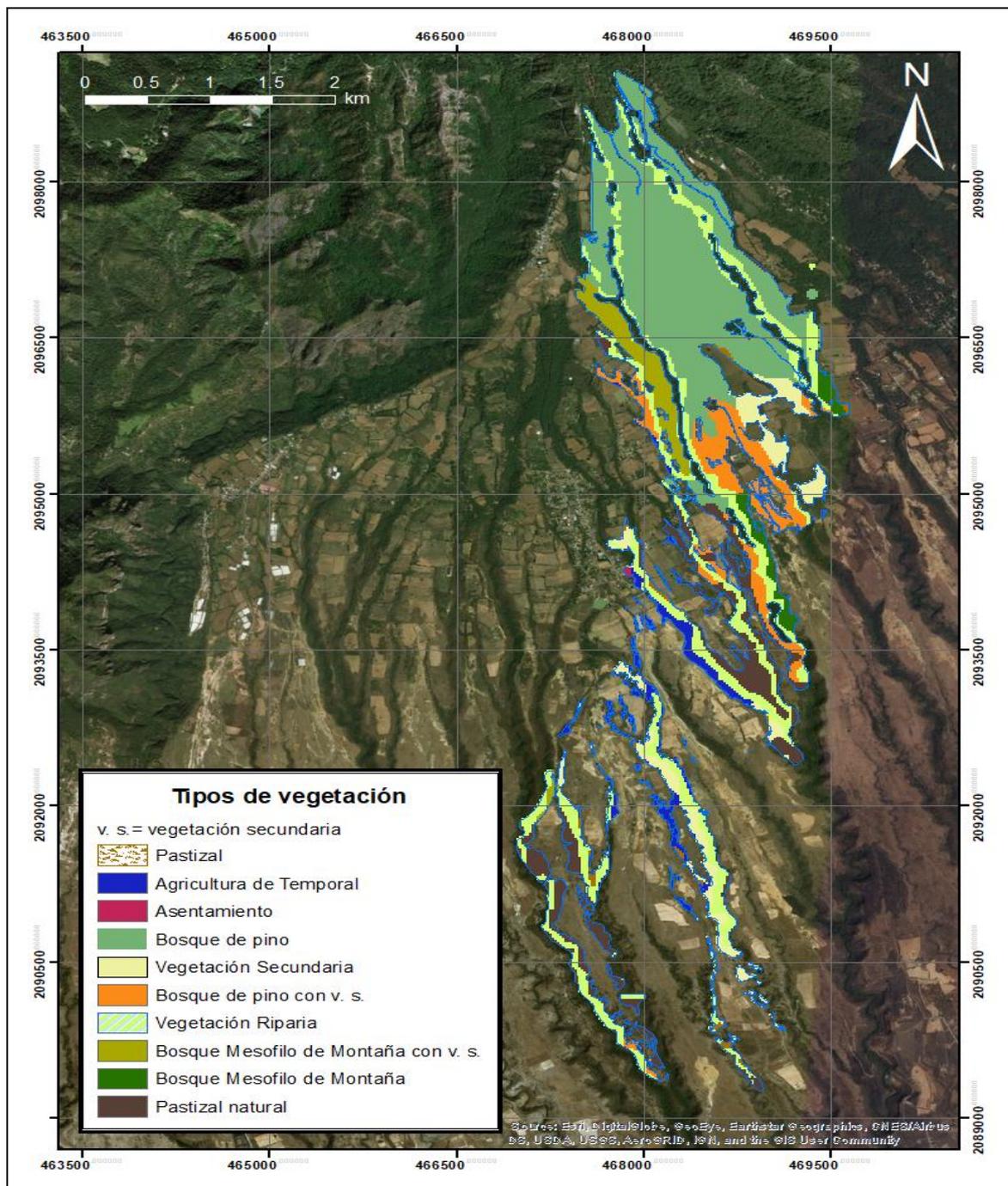
Para seleccionar el área de estudio se utilizaron los polígonos de los incendios del 2012 al 2016 elaborados por la CONAFOR, y los polígonos del año 2017 elaborados por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos (SEDESU). A partir de los polígonos de los incendios registrados durante ese periodo de 5 años, se realizó una sobreposición para seleccionar un área que sólo se hubiera incendiado una vez durante ese periodo (Juan-Baeza, 2020).

El incendio ocurrió en el mes de marzo de 2017 y afectó un total de 643.2 ha (SEDESU, 2017). Los tipos de vegetación más afectados fueron el bosque de Pino-Encino con 241.28 ha, seguido de la vegetación riparia con 144.1 ha y el pastizal con 75.3 ha (Figura 2) (Juan-Baeza, 2020). Después del incendio, la SEDESU llevó a cabo acciones de protección, conservación y restauración de suelo en algunas zonas afectadas por erosión hídrica. Las acciones fueron un esfuerzo conjunto de la SEDESU en coordinación con ejidatarios de Santa María Ahuacatlán y la sociedad civil, y consistieron en: 1) acomodo de material muerto (ramas) formando curvas de nivel para retener el suelo y 2) se llevó a cabo una plantación con brinzales de *Pinus* sp. (SEDESU, comunicación personal).

En el área del incendio las especies más abundantes en el año 2020, a dos años después del incendio eran *Quercus castanea* Née. (Fagaceae), *Quercus candicans* Née. (Fagaceae), *Arbutus xalapensis* Kunth. (Ericaceae), *Clethra mexicana* A. DC. (Clethraceae), *Pinus greggi* Englem (Pinaceae), *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. (Pinaceae), *Ternstroemia pringleii* (Rose) Standl. (Theaceae), *Phytolacca icosandra* L (Phytolaccaceae), *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae) y especies de la familia Asteraceae y Fabaceae (Juan-Baeza, 2020).



**Figura 1.** Mapa de localización del incendio ocurrido en el bosque de Pino del paraje El Fresno, Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, Morelos. Fuente: Juan-Baeza (2020). Tomado del reporte anual de incendios de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (2017).



**Figura 2.** Uso de suelo y vegetación del área afectada por el incendio ocurrido en el bosque de Pino del paraje El Fresno, Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca, Morelos. La línea externa azul indica los límites del área del incendio. Fuente: Juan-Baeza (2020). Elaborado a partir del polígono aislado del reporte anual de incendios de la SEDESU (2017) y la capa de uso de suelo y vegetación del estado, modificado en el Laboratorio de Investigación en Sistemas de Información Geográfica (LISIG), UAEM.

## Registro de datos

Las parcelas en donde se realizó el muestreo del banco de semillas fueron seleccionadas con la ayuda de un mapa elaborado por Juan-Baeza (2020). Con la finalidad de evaluar el efecto de la severidad del fuego sobre la vegetación, se incluyó un muestreo estratificado aleatorio. El área de estudio se dividió en condiciones o estratos con cierta homogeneidad (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Las condiciones fueron: bosque no quemado (Figura 3) y tres niveles de severidad de fuego baja, media y alta (Figura 4, 5 y 6). El mapa muestra la severidad de daño que causó el incendio sobre la vegetación y fue elaborado con base en la descarga de dos imágenes Sentinel-2, una del 28 de diciembre de 2016 (pre-incendio) y una del 23 de noviembre de 2017 (post-incendio) utilizando el visor de visualización global (GloVis) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Las imágenes fueron procesadas en el programa ArcMap versión 10.5 siguiendo la metodología de Key y Benson (2006). Para cada imagen se calculó el Área Quemada Normalizada (Normalized Burn Ratio; NBR), con el cual se resaltan las áreas que se han quemado y se indexa la severidad de un incendio usando imágenes satelitales. Las bandas que se usaron fueron la 8 (842 nm) y 12 (2190 nm) del Sentinel-2 equivalentes a las bandas 4 (760-900 nm) y 7 (2080-2350 nm) del LandSat TM utilizadas por Key y Benson (2006).

El Área Quemada Normalizada (NBR) se calculó con la fórmula:

$$NBR = \frac{B_8 - B_{12}}{B_8 + B_{12}}$$

Donde:

B8=Banda 8

B12=Banda 12

Como una primera aproximación, las categorías de severidad (Tabla 1) se determinaron a partir de los valores de la diferencia normalizada de área quemada (dNBR) resultantes de la diferencia de los NBR de las imágenes pre y post-incendio mediante la fórmula de Key y Benson (2006):

$$dNBR = NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio}$$

**Tabla 1.** Categorías de severidad de acuerdo a los valores de la diferencia normalizada de área quemada (dNBR) modificada de Kay y Benson (2004). Se muestra el color que fue asignado de acuerdo a la severidad.

<i>dNBR</i>	Severidad	Color
-0.1 a 0.10	No quemado	Verde
0.11 a 0.27	Baja	Amarillo
0.28 a 0.66	Media	Naranja
>0.66 a 1.3	Alta	Rojo

Las áreas con severidad baja, media y alta calculadas se evaluaron con esta metodología. Las áreas no quemadas se seleccionaron fuera del área del incendio para tener un mejor control.

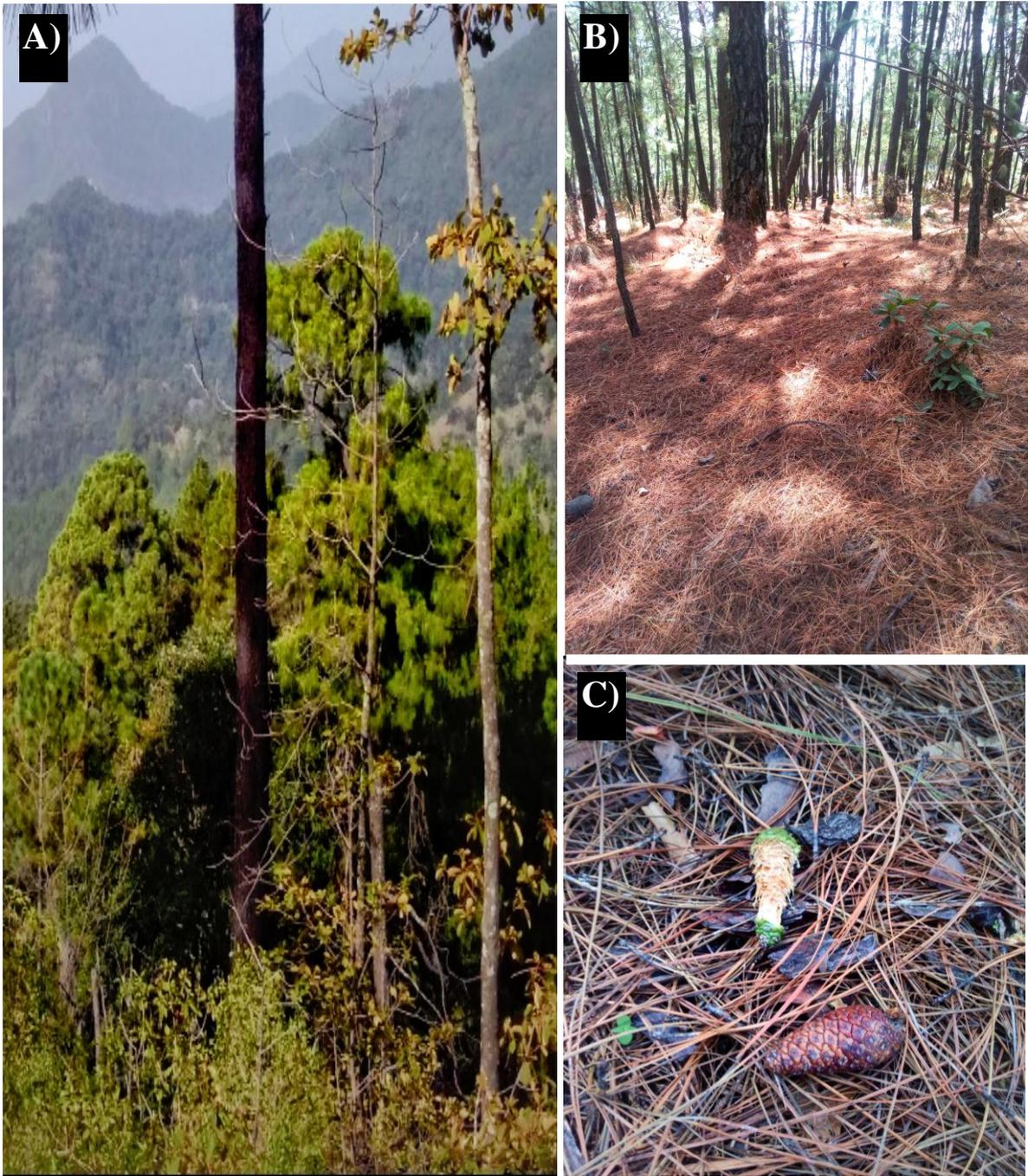
En marzo del 2018, Juan-Baeza (2020) realizó recorridos para verificar en campo los niveles de severidad. Los criterios utilizados para definir las clases de severidad en campo se hizo con base a Kay y Benson (2004) y fueron los siguientes:

**1. Severidad baja:** la mayor parte del arbolado adulto que conformaba el dosel estaba vivo, los árboles muertos mantenían las hojas, el sotobosque era denso con una alta proporción de plántulas, la capa de combustibles muertos superficiales (hojarasca) era gruesa y no se observó suelo expuesto.

**2. Severidad media:** el dosel estaba conformado por una mezcla de árboles adultos vivos y muertos. Los árboles muertos mantenían las hojas, el sotobosque era denso con una alta proporción de plántulas y herbáceas, la capa de combustibles muertos superficiales era menos gruesa que en la severidad baja y algunas partes del suelo estaban expuestas.

**3. Severidad alta:** la mayor parte del arbolado adulto estaba muerto, las copas estaban afectadas en su totalidad, y en el caso de los pinos sólo se mantenían los conos, algunos fustes estaban carbonizados y algunos árboles fueron consumidos hasta la raíz, el sotobosque era poco denso con una baja proporción de plántulas y una alta proporción del helecho *Pteridium aquilinum*. El suelo estaba expuesto y en algunas zonas se podía observar erosión hídrica.

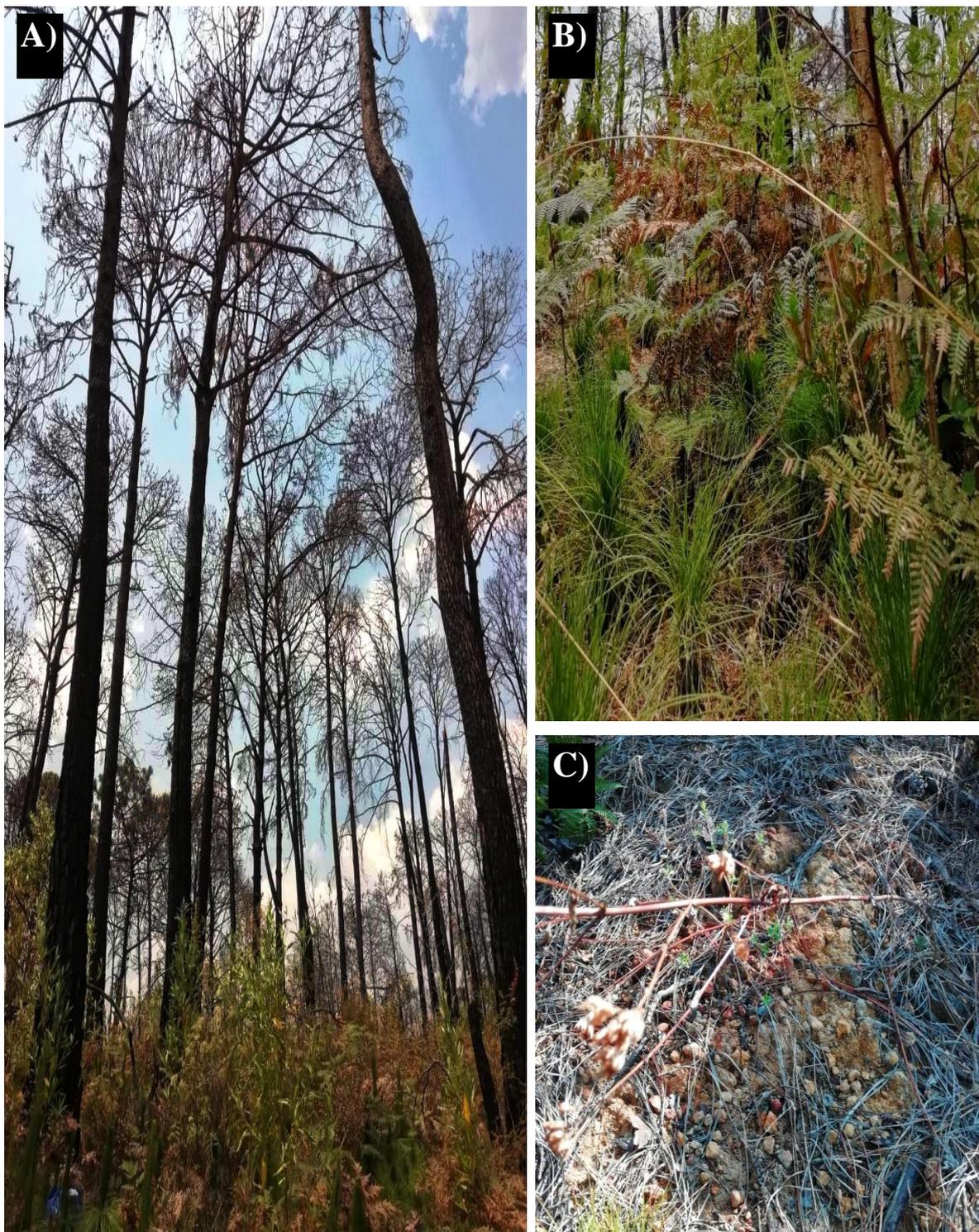
A partir de estas observaciones en campo, los valores de severidad media y alta fueron reajustados. Finalmente, las 241.2 ha de bosque de Pino afectadas por el incendio se categorizaron en no quemado (70.4 ha), severidad baja (111.9 ha), severidad media (52.1 ha) y severidad baja (6.8 ha).



**Figura 3.** Bosque no quemado en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosel; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).



**Figura 4.** Bosque con severidad de incendio baja en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Sotobosque; B) Dosel; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).



**Figura 5.** Bosque con severidad de incendio media en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosele; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).



**Figura 6.** Bosque con severidad de incendio alta en el bosque de Pino del paraje El Fresno. A) Dosel; B) Sotobosque; C) Suelo. Fuente: León-Carvajal (2021).

Para este estudio se eligieron 16 parcelas de un radio de 12.62 m (500 m<sup>2</sup> o 0.05 ha), cuatro por cada condición de severidad y cuatro parcelas en un área no quemada (Figura 7). Las 16 parcelas se eligieron de las establecidas previamente por Juan-Baeza (2020). Para minimizar el efecto de la pendiente y la orientación en el banco de semillas, se seleccionaron parcelas con pendiente moderada entre 12°-30° y con orientación similar (Anexo 1).

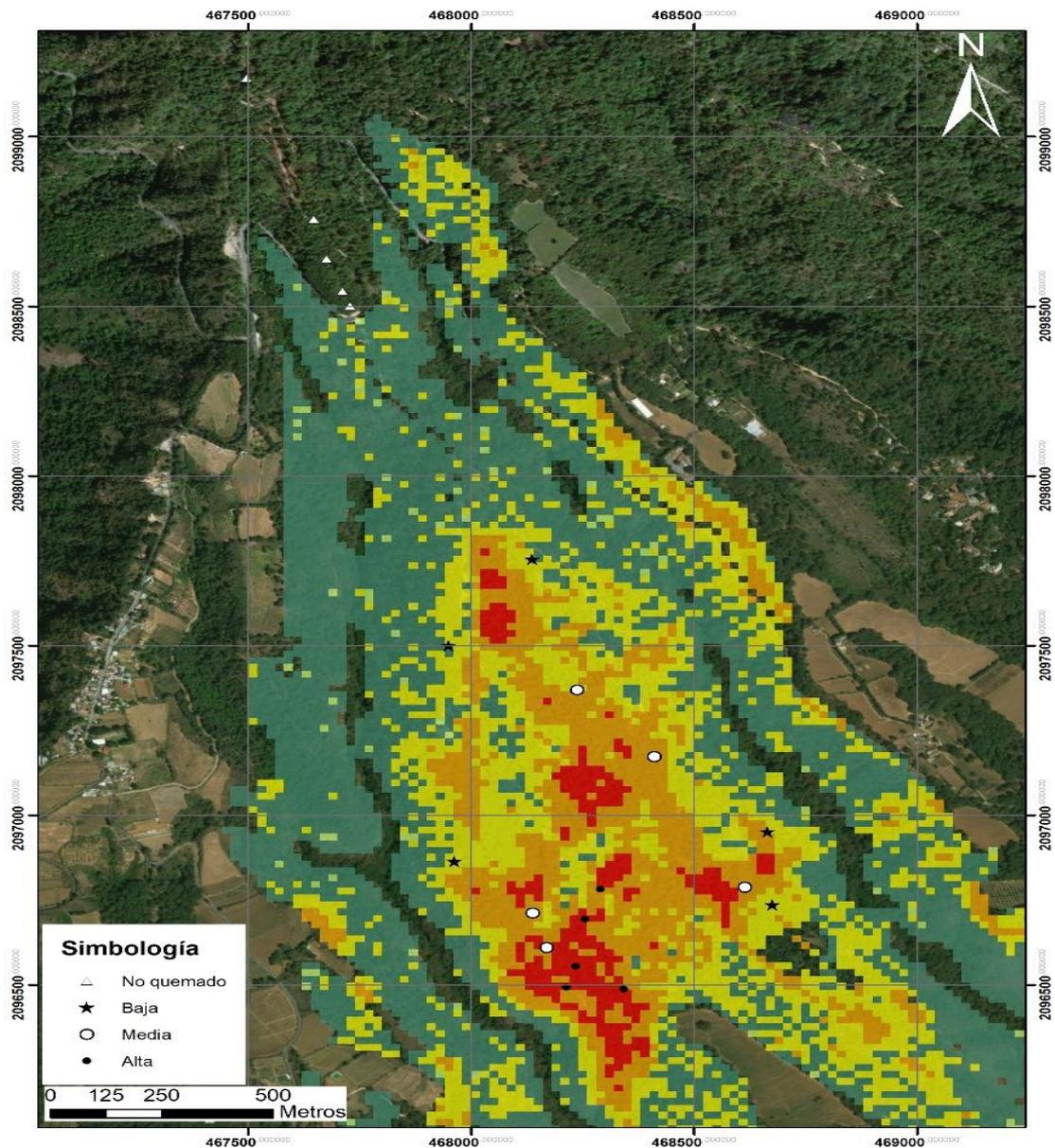
El muestreo se llevó a cabo en la época de secas, entre los meses de marzo y mayo del 2019. En el centro de cada parcela a partir de una estaca que fue clavada previamente, se extendieron dos cintas métricas una con orientación al norte y otra con orientación al sur. Una toma de muestra se hizo a un lado de la estaca, la otra a los 5 metros hacia el norte y otra a los 5 metros hacia el sur con referencia a la estaca. El número de muestras se seleccionó de acuerdo con estudios previos que indican que es preferible pocas muestras grandes, que muchas chicas debido a la cantidad de trabajo necesario para su procesamiento y la información que brindan (Forcella *et al.*, 2004).

Las muestras de suelo se tomaron de una superficie de 0.4 x 0.4 m a dos intervalos de profundidad (0-3 cm y 3-6 cm), cuyo volumen fue de 0.0046 m<sup>3</sup> por cada muestra, estas profundidades son las más utilizadas para el estudio de bancos de semillas, debido a que es poco probable encontrar semillas a profundidades mayores (McGee y Feller, 1993). El mantillo se colectó antes que las muestras de suelo, la superficie fue la misma pero la profundidad fue variable, porque el espesor difirió entre parcelas.

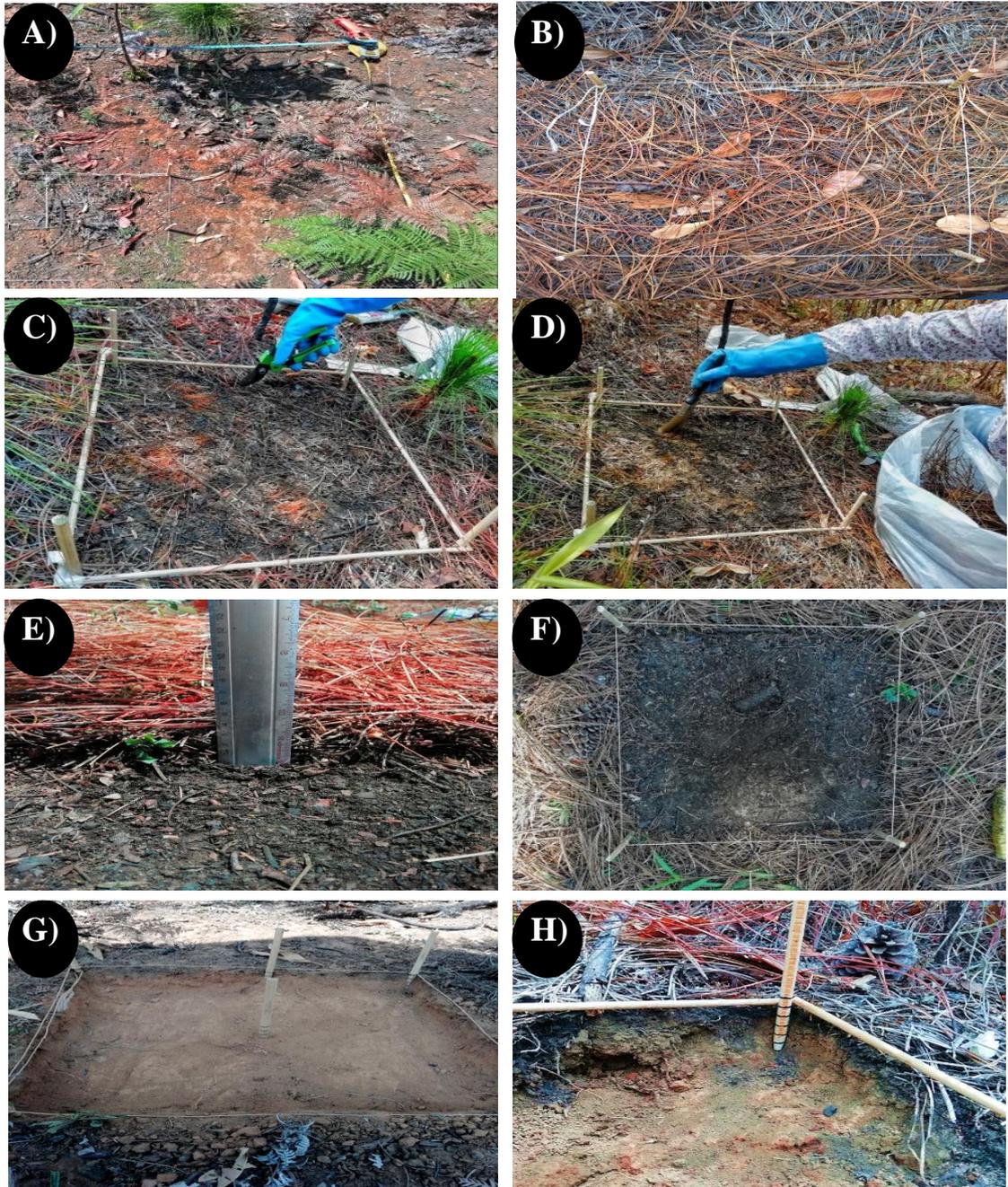
Para la toma de muestras se utilizó un marco de madera de 0.4 x 0.4 m y estacas de madera graduadas en cm que se clavaron en las esquinas, en medio y en el contorno del marco para tener mayor precisión de extracción; un hilo tipo cáñamo se utilizó como nivel. Una vez que el área fue delimitada, con una regla se midió el espesor del mantillo. La colecta del mantillo se realizó con ayuda de unas tijeras con la cual se recortó el contorno, y con un recogedor, una escoba y una brocha pequeña se depositó el mantillo en bolsas rotuladas (Figura 8). En los sitios de la condición no quemado y severidad baja, el mantillo estaba compuesto principalmente por hojas de Pino y Encino. En la condición de severidad de incendio media y alta, el mantillo estaba compuesto por hojas de Helechos, Pino y algunas herbáceas. Posteriormente, con una pala, un pico y un cincel de tamaño chico se cavaron las muestras de suelo con mucha

precisión. La muestra de suelo de 0-3 cm fue extraída primero y después la de 3-6 cm, ambas muestras se depositaron en bolsas separadas y rotuladas.

Posteriormente, por cada parcela y condición se formaron muestras compuestas con las tres muestras de hojarasca colectadas; así como con las muestras de suelo por cada profundidad. Posteriormente, las muestras compuestas fueron homogenizadas suavemente en un contenedor y divididas en dos partes iguales por su peso en seco; se utilizó una báscula digital (capacidad 8 kilos, sensibilidad 1 gramo; marca KitchenAid). Una mitad de la muestra se utilizó para evaluar el banco de semillas mediante el método de tamizaje de semillas, y la otra mitad de la muestra se utilizó para evaluar el banco de semillas por el método de emergencia de plántulas.



**Figura 7.** Distribución de todas las parcelas con la superposición de la capa de severidades en el polígono de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Parcelas de bosque no quemado representadas por triángulos blancos, parcelas de severidad baja con estrellas negras, parcelas con severidad media con círculos blancos y parcelas con severidad alta con círculos negros. Color verde: No Quemado. Amarillo: Severidad baja. Naranja: severidad media. Rojo: severidad alta. Cada pixel mide 20 x 20 m. Mapa elaborado por Juan-Baeza (2020).



**Figura 8.** Pasos en la toma de muestras del banco de semillas. A) Elección del punto; B) Delimitación del área; C y D) Recorte y colecta del mantillo; E) Medición del espesor del mantillo; F-H) Extracción de suelo a dos profundidades.

La densidad y riqueza de los bancos puede ser determinada por el método de tamizaje de semillas y por el método de emergencia de plántulas (Roberts, 1981). El método de tamizaje consiste en colar las muestras con tamices de diferente apertura y después realizar el conteo de semillas y su determinación (Thompson y Grime, 1979). El método de emergencia consiste en colocar las muestras de suelo sobre charolas en condiciones ambientales similares a las que experimentan las especies *in situ*. Después, conforme las plantas emergen se realiza su determinación y conteo (Thompson y Grime, 1979). El método de emergencia es más utilizado para muestras de suelo de gran volumen porque es fácil y útil, pero requiere de mucho espacio en un invernadero (Plue *et al.*, 2012). El método de tamizaje permite detectar semillas en latencia y con requerimientos ambientales específicos de germinación (Gross, 1990). Los dos métodos suelen usarse simultáneamente para incluir las semillas pequeñas que se pueden perder en los tamizados, así como las semillas en estado de latencia que no germinan en las condiciones de invernadero (Thompson y Grime, 1979).

En el método de tamizaje de semillas tanto para las muestras de suelo como para las de mantillo consistió en: el primer paso fue colar las muestras por un tamiz de 10 mm de apertura con el fin de separar el material de gran tamaño como piedras, cortezas, conos, plantas, hojas, entre otros. Posteriormente, las semillas fueron separadas con un tamiz de 2 mm y de 0,5 mm de apertura. Una vez que las semillas fueron separadas se continuó con el conteo y la determinación de las especies. Las semillas se fotografiaron y se guardaron en contenedores con su etiqueta de identificación (Anexo 2-4). A las semillas se les asignó una clave morfológica hasta su determinación.

Para el método de emergencia de plántulas, en el fondo de las bandejas se colocó una tela tipo cielo para evitar la pérdida de suelo o semillas. Las muestras de suelo se colocaron homogéneamente sobre bandejas de 30 x 70 x 8 cm sin adicionar otro sustrato y se colocaron en el invernadero del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC) (Anexo 5-7). El riego fue diariamente y automatizado, con un minuto de duración por la mañana y por la tarde. Las bandejas estuvieron bajo las condiciones ambientales existentes del invernadero. En cuanto las plántulas empezaron a emerger y tuvieron claras diferencias morfológicas, fueron contadas, fotografiadas y se les asignó una clave. Posteriormente, las plántulas fueron extraídas de la bandeja para evitar la competencia, favorecer la germinación del resto de semillas, evitar la liberación de nuevas semillas de las plantas maduras y evitar errores en el conteo (Ferrandis *et al.*,

1999, 2001). Las observaciones se realizaron cada tres días; la siembra de las muestras se realizó en julio de 2019 y permaneció hasta febrero del 2020; después de este tiempo se observó una disminución en la emergencia de plántulas. La literatura menciona que en el primer ciclo de germinación llegan a emerger hasta el 80% de las semillas del banco (Forcella *et al.*, 2004). Se realizaron muestreos de las plántulas que emergieron del banco, junto con su clave morfológica fueron prensadas. Estas muestras fueron determinadas con la ayuda del Biól. Gabriel Flores Franco, curador del herbario del CIByC, y la Dra. Rosa Cerros Tlatilpa especialista en pastos y hierbas de la Facultad de Ciencias Biológicas.

## **Análisis estadísticos**

### **Espesor del mantillo**

El efecto de la condición bosque no quemado y severidad de incendio sobre el espesor del mantillo se evaluó con el promedio de las tres mediciones dentro de cada parcela para evitar la pseudo-replicación. Los datos no cumplieron con los supuestos del ANOVA (normalidad y homogeneidad de varianza) por lo que se transformaron con el logaritmo natural+1. Se realizó una prueba de ANOVA de una vía donde el espesor del mantillo fue la variable dependiente y la condición como variable independiente con cuatro niveles (tres niveles de severidad de incendio y el bosque no quemado como control); con un total de réplicas cuatro por condición. Cuando el factor de variación fue significativo se usó la prueba post hoc de Tukey. Los promedios fueron convertidos a sus unidades originales para su presentación en los resultados mientras que las gráficas derivadas de los análisis estadísticos se presentan con los datos transformados. En los resultados se muestran promedios y errores estándar.

### **Riqueza y densidad de semillas en la hojarasca**

El efecto de las cuatro condiciones de severidad de incendio en la riqueza de las semillas en la hojarasca se documentó mediante el número de morfo-especies. Los datos de riqueza no cumplieron con los supuestos del ANOVA aun cuando se transformaron, por lo que se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La variable dependiente fue el número de morfo-especies y la variable independiente la condición de severidad de incendio con cuatro niveles (tres niveles de severidad y la condición no quemado). En los resultados se reportan las medianas y los valores máximos y mínimos; también se muestran los valores de los rangos medios.

La densidad de semillas en el mantillo se evaluó mediante la estimación del número de semillas por volumen, es decir el total de semillas por muestra compuesta entre el número (3) de muestras colectadas en la parcela; para evitar la pseudo-replicación, y se dividió entre el espesor según el caso. El volumen de la muestra se calculó multiplicando el área del muestreo por el espesor del mantillo [(0.4 m X 0.4 m X espesor en metros). Al final el volumen de la muestra se dividió entre dos para estimar la densidad por medio de dos técnicas: en la primera mitad de la muestra se

empleó el método de tamizaje de semillas, y en la otra mitad el método de emergencia de plantas (ver arriba).

La densidad de semillas en el mantillo no cumplió con los supuestos del ANOVA por lo que los datos se transformaron con el logaritmo natural +1. Se realizó una prueba de ANOVA de una vía en donde la variable dependiente fue la densidad de las semillas por parcela con cuatro réplicas por condición. La variable independiente fue la condición con cuatro niveles (tres niveles de severidad y un control).

En la emergencia de plántulas de las muestras del mantillo se registraron pocos individuos para realizar pruebas estadísticas (5 plántulas).

### **Riqueza y densidad del banco semillas. Método de tamizaje de semillas.**

Por este método, el efecto de la severidad de incendio en la riqueza del banco fue muy baja para realizar pruebas estadísticas (siete morfo-especies).

Los datos de la densidad de semillas del banco tomando en cuenta las dos profundidades analizadas (6 cm), no cumplieron con los supuestos del ANOVA aun cuando fueron transformados, por lo que fueron evaluados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La variable dependiente fue la densidad de semillas y la variable independiente la condición con cuatro niveles (tres niveles de severidad y sitio no quemado). En los resultados se reportan las medianas y los valores máximos y mínimos.

La diferencia en la densidad de semillas entre las dos profundidades de suelo (0-3cm y 3-6 cm), se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon par a par por condición.

### **Riqueza y densidad del banco de semillas. Método de emergencia de plántulas**

Por este método, el efecto de la severidad de incendio en la riqueza de plántulas se evaluó mediante un ANOVA de una vía pues los datos cumplieron con los supuestos. En el ANOVA, la variable dependiente fue la riqueza de plántulas por parcela con cuatro réplicas por condición. La variable independiente fue la condición con cuatro niveles (tres niveles de severidad y un sitio no quemado). Adicionalmente, se realizó una tabla con las familias, géneros y especies registradas.

Los datos de la densidad de plántulas se transformaron con el logaritmo natural + 1 para cumplir con los supuestos, por lo que se realizó una ANOVA de una vía con la densidad de semillas como variable dependiente, la variable independiente fue la condición con cuatro niveles (tres niveles de severidad y un sitio no quemado).

La diferencia entre la densidad de plántulas de las profundidades de suelo (0-3cm y 3-6 cm) se evaluó mediante una prueba pareada de t de Student, par a par por condición. Para este análisis las densidades fueron transformadas con el logaritmo natural +1.

Las densidades obtenidas por los dos métodos de estimación del banco de las dos profundidades del suelo (0-3 y 3-6cm) fueron comparados mediante la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney.

Todos los análisis estadísticos se realizaron el programa Statistica versión 7.0 (StatSoftInc., 2004).

## RESULTADOS

### Espesor del mantillo

El espesor del mantillo en el bosque no quemado ( $8.33 \pm 1.03$ ) fue 13 veces mayor que en la severidad de incendio alta ( $0.63 \pm 0.13$  cm) y 4 veces mayor que en la condición de severidad media ( $2.10 \pm 0.06$  cm) (Tabla 2). El ANOVA reveló que el espesor del mantillo difirió por efecto de la condición de severidad de incendio (Apéndice 1). La prueba post hoc de Tukey mostró que el espesor del mantillo fue significativamente menor en la condición de severidad alta en comparación con las otras condiciones; el espesor del mantillo fue estadísticamente similar en el bosque no quemado y en la severidad baja (Figura 9a).

### Riqueza y densidad de semillas del mantillo. Método de tamizaje

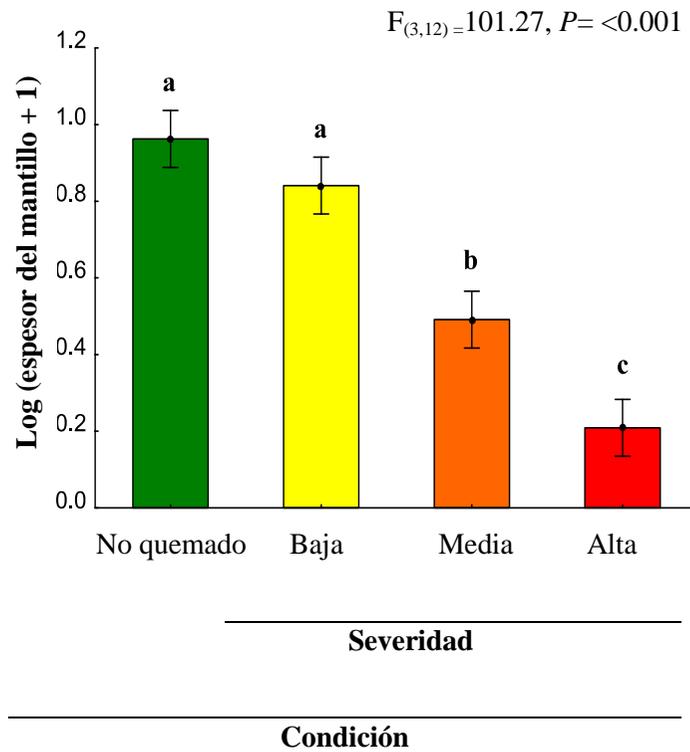
**Descripción general.-** En total se registraron 169 semillas en el mantillo por el método de tamizaje de semillas y se observaron 22 morfo-especies. Siete morfo-especies se determinaron a nivel de género o especie: *Phytolacca icosandra* (Phytolaccaceae), *Crotalaria rotundifolia* (Fabaceae), *Mimosa galeottii* (Fabaceae) y los géneros *Pinus* (Pinaceae), *Sonchus* (Asteraceae), *Desmodium* (Fabaceae) y *Quercus* (Fagaceae). La especie *Phytolacca icosandra* se encontró en las cuatro condiciones. En el mantillo del bosque no quemado y en la severidad de incendio media y baja se registró el género *Pinus*.

**Densidad.-** En el mantillo de la condición de severidad baja de incendio se registraron 109 semillas; en el mantillo de la severidad media se registraron 50 semillas, y en el mantillo de la severidad alta y el bosque no quemado se encontraron cinco semillas. El ANOVA de la densidad de semillas en el mantillo por el método de tamizaje reveló que la densidad de semillas del sitio no quemado fue significativamente menor ( $220 \pm 99$  semillas/m<sup>3</sup>) con respecto a la densidad de las semillas en el mantillo de los sitios con severidad de incendio baja, media y alta (Tabla 2; Apéndice 2). La densidad de semillas en los tres niveles de severidad de incendio fue estadísticamente similar (Figura 9b).

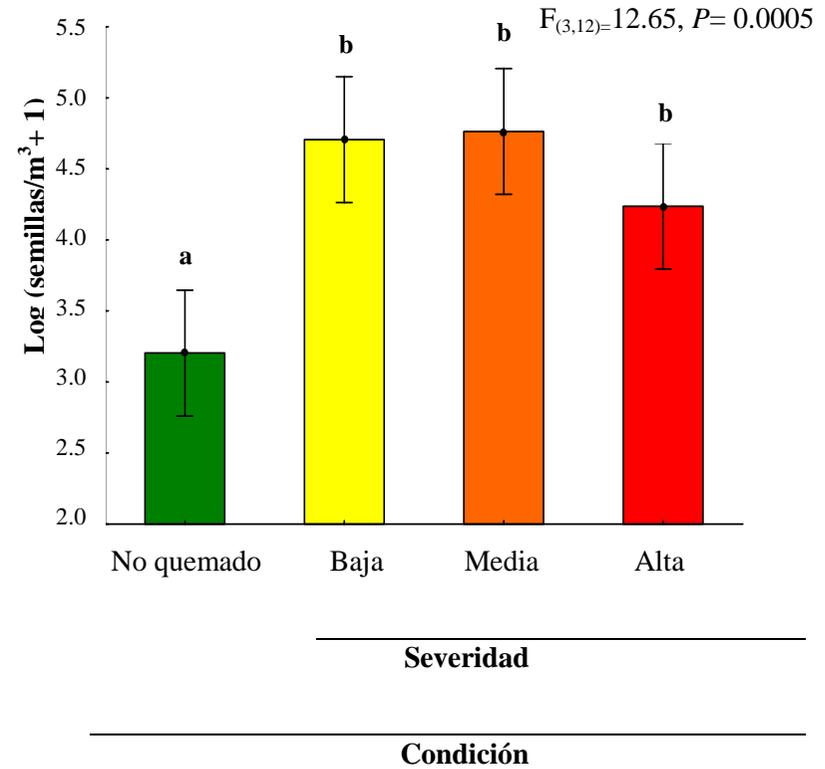
**Tabla 2.** Promedio  $\pm$  error estándar del espesor del mantillo (cm), semillas totales, densidad (semillas/ m<sup>3</sup>) y riqueza de especies, en las cuatro condiciones de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. La riqueza se expresa por medio del número total de morfo-especies.

Variable	Condición			
	No quemado	Baja	Media	Alta
<b>Espesor del mantillo</b>	8.33 $\pm$ 1.03	6.00 $\pm$ 0.56	2.10 $\pm$ 0.06	0.63 $\pm$ 0.13
<b>Semillas</b>	5	109	50	5
<b>Densidad</b>	220 $\pm$ 99	5632 $\pm$ 1507	7478 $\pm$ 2726	3515 $\pm$ 2579
<b>Riqueza</b>	3	16	10	4

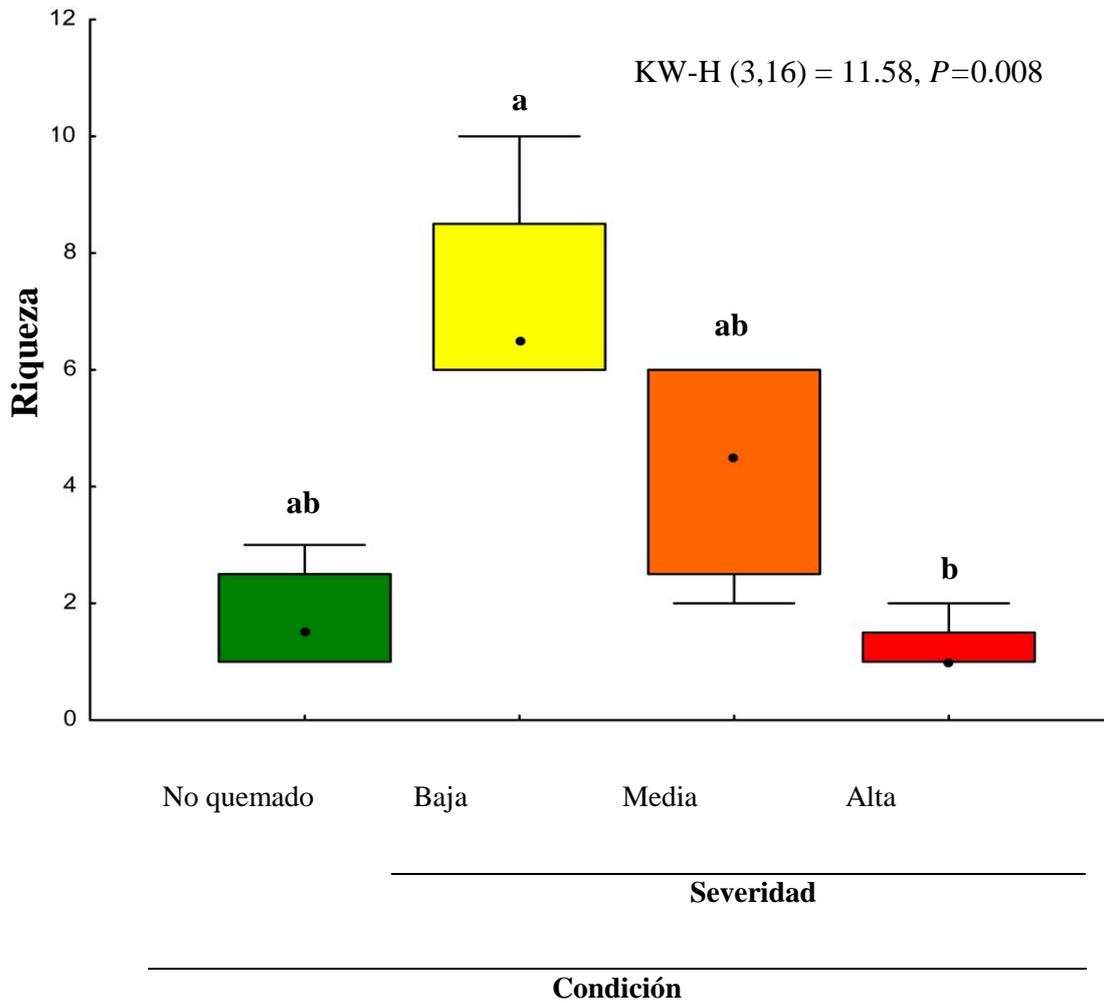
(a)



(b)



**Figura 9.** Efecto de la condición del fuego en (a) el espesor del mantillo y (b) densidad de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post hoc de Tukey.



**Figura 10.** Gráfica box plot del efecto de la condición del fuego en la riqueza de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Los límites de los rectángulos indican los percentiles 25 y 75, los puntos indican la mediana y las líneas verticales indican los límites de distribución superior e inferior. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) evaluadas con comparación rangos múltiples.

**Riqueza.-** En el mantillo se registraron 22 morfo-especies. En el mantillo de la condición no quemado se encontraron tres morfo-especies; en el mantillo de la severidad baja de incendio se encontraron 16 morfo-especies; en el mantillo de la severidad media de incendio se encontraron 10 morfo-especies y finalmente en el mantillo de la severidad alta se encontraron cuatro morfo-especies (Tabla 2). La comparación de rangos múltiples mostró diferencias significativas entre la riqueza de semillas en el mantillo de la severidad baja (mediana 6.5 morfo-especies; intervalo entre 6 y 10 morfo-especies) y la riqueza de semillas en el mantillo de la severidad alta (mediana 1 morfo-especie; intervalo entre 1 y 2 morfo-especies) (Figura 10, Tabla 3).

**Tabla 3.** Prueba de comparación de rangos múltiples de la riqueza de semillas del mantillo entre condiciones en el bosque de Pino del paraje El Fresno.

<b>Condiciones</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
No quemado <i>vs</i> severidad baja	2.48	0.07
No quemado <i>vs</i> severidad media	1.41	0.94
No quemado <i>vs</i> severidad alta	0.48	1
Severidad baja <i>vs</i> severidad media	1.07	1
Severidad baja <i>vs</i> severidad alta	2.97	0.01
Severidad media <i>vs</i> severidad alta	1.89	0.34

### **Riqueza y densidad de semillas en el mantillo. Emergencia de plántulas**

Por el método de emergencia de plántulas se registró un total de seis plántulas en el mantillo (Anexo 8). En la severidad media se encontraron dos plántulas de la familia Poaceae, una plántula de la especie *Phytolacca icosandra* (Phytolaccaceae) y una plántula de la especie *Pseudognaphalium* (Asteraceae). Por último, se registraron dos plántulas de *Pinus* (Pinaceae) en la severidad baja.

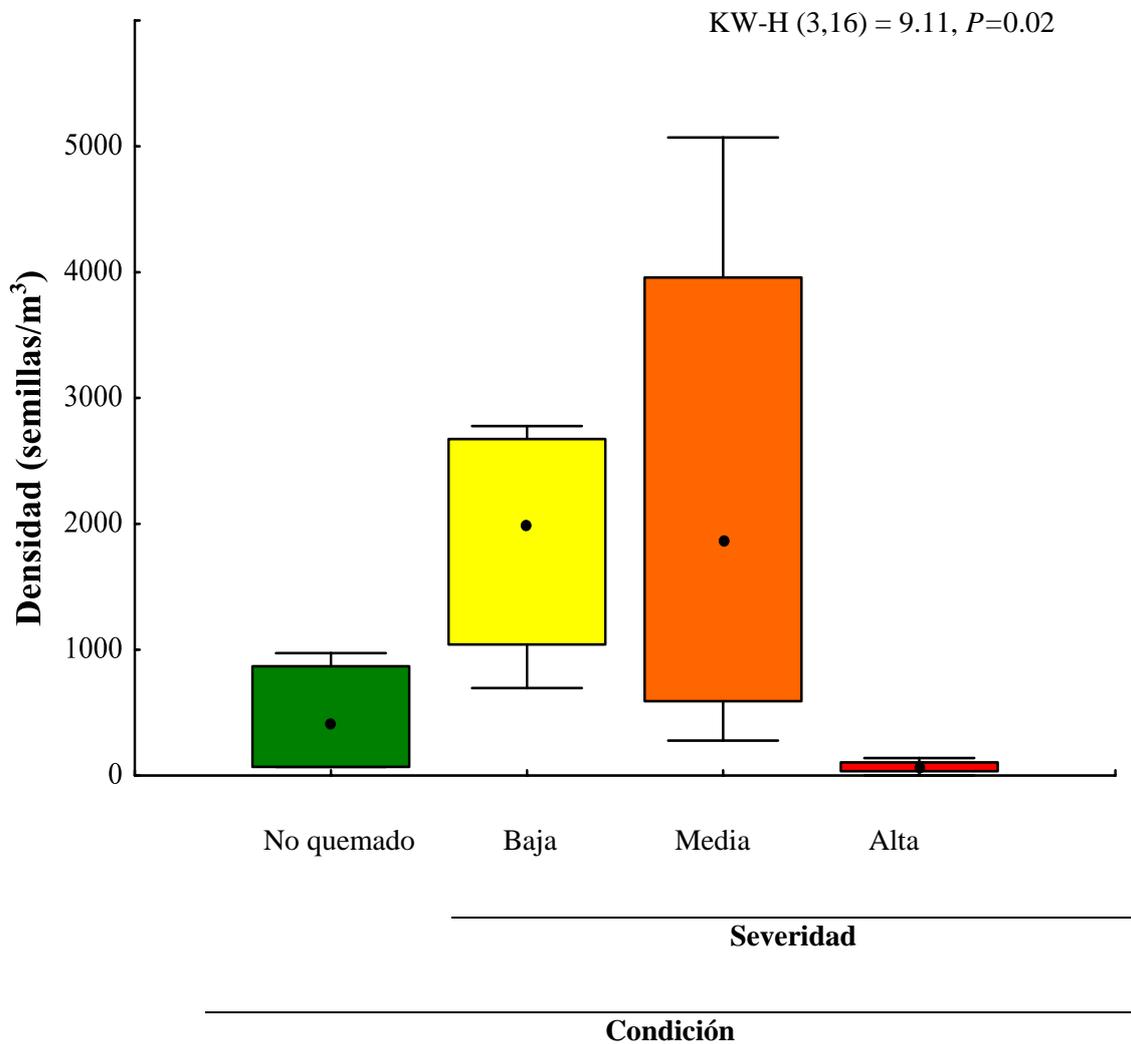
### **Riqueza y densidad de semillas del banco. Método de tamizaje de semillas**

**Descripción general.-** Un total de 90 semillas se registraron en las muestras de suelo incluyendo las dos profundidades. Siete morfo-especies fueron registradas, de las cuales cuatro se lograron determinar a nivel de género o especie: *Phytolacca icosandra* (Phytolaccaceae), *Crotalaria rotundifolia* (Fabaceae), *Mimosa galeotti* (Fabaceae) y *Pinus*. La especie más abundante fue *Phytolacca icosandra* (Phytolaccaceae) que estuvo presente en el bosque no quemado y en las tres severidades de incendio. El género *Pinus* (Pinaceae) fue más abundante en el bosque no quemado y en la severidad de incendio baja.

**Riqueza.-** En total se registraron siete morfo-especies. En la condición no quemado tres morfo-especies, en la severidad baja siete morfo-especies, en la severidad media cinco morfo-especies y dos morfo-especies en la severidad alta.

**Densidad.-** La densidad de semillas del suelo incluyendo las dos profundidades evaluadas difirió por condición (Figura 11). La mayor densidad de semillas se registró en la severidad baja (mediana 1979 semillas/m<sup>3</sup>; rango entre 694 y 2778 semillas) y severidad media (mediana 1875 semillas/m<sup>3</sup>; rango entre 278 y 5069). La menor densidad se registró en la severidad alta (mediana 70 semillas/m<sup>3</sup>; rango entre 0 y 139 semillas) y en el bosque no quemado (mediana 417 semillas/m<sup>3</sup>; rango entre 69 y 972). La comparación múltiple de rangos medios no mostró diferencias significativas entre condiciones (Tabla 4).

**Profundidad.-** La densidad de semillas del banco fue similar en las dos profundidades (0-3 cm *versus* 3-6 cm) evaluadas por la prueba pareada de Wilcoxon,  $P < 0,05$  (Tabla 5).



**Figura 11.** Gráfica box plot de la densidad de semillas por el método del tamizaje incluyendo las dos profundidades de suelo en cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Los límites de los rectángulos indican los percentiles 25 y 75, los puntos indican la mediana y las líneas verticales indican los límites de distribución superior e inferior.

**Tabla 4.** Prueba de comparación de rangos múltiples de la densidad de semillas incluyendo las dos profundidades del suelo entre condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno.

<b>Condiciones</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
No quemado vs severidad baja	1.49	0.82
No quemado vs severidad media	1.56	0.71
No quemado vs severidad alta	0.97	1
Severidad baja vs severidad media	0.07	1
Severidad baja vs severidad alta	2.45	0.08
Severidad media vs severidad alta	2.52	0.06

**Tabla 5.** Valores de la prueba pareada de Wilcoxon, comparación en la densidad de semillas de la profundidad 0-3 cm *versus* la profundidad 3-6 cm en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno.

<b>Condición</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
No quemado	1.82	0.06
Severidad baja	1.46	0.14
Severidad media	1.09	0.27
Severidad alta	1.60	0.10

## **Riqueza y densidad de semillas del banco. Método de emergencia de plántulas**

**Descripción general.-** Con el método de emergencia se registraron 532 plántulas distribuidas en 17 familias, 25 géneros y 41 especies (Tabla 6 y 7)(Anexo 9-14). Las familias que estuvieron presentes en las cuatro condiciones fueron Asteraceae, Fabaceae, Oxalidaceae, Phytolaccaceae y Rubiaceae. La hierba *Oxalis albicans* (Oxalidaceae) estuvo presente en las cuatro condiciones de incendio. En el bosque no quemado, el banco de semillas estuvo representado en un 80.7% por semillas de los géneros *Hypoxis* (Hipoxidaceae), *Juncus* (Juncaceae), *Pseudognaphalium* (Asteraceae), *Spermacoce* (Rubiaceae), *Oxalis* (Oxalidaceae) y la familia Poaceae. En la severidad de incendio baja, el banco estuvo representado en un 67.9% por los géneros *Commellina* (Commelinaceae), *Spermacoce* (Rubiaceae), *Oxalis* (Oxalidaceae), *Pseudognaphalium* (Asteraceae), más dos morfo-especies correspondientes a herbáceas indeterminadas. En la severidad media, el banco estuvo representado en un 86.7% por los géneros *Acmella* (Asteraceae), *Oxalis* (Oxalidaceae), *Phytolacca* (Phytolaccaceae), *Pseudognaphalium* (Asteraceae), *Spermacoce* (Rubiaceae) y una especie de la familia Caryophyllaceae. En la severidad alta, el banco estuvo representado en un 84.6% por los géneros *Pseudognaphalium* (Asteraceae), *Spermacoce* (Rubiaceae) y dos especies no determinadas. La mayoría de las especies registradas pertenecían a herbáceas, sólo el género *Pinus* y *Mimosa* a especies leñosas. Las cinco especies que no se lograron determinar eran herbáceas. Las semillas de la familia Poaceae tampoco se lograron determinar a nivel de especie. En las muestras de las cuatro condiciones se observó la presencia de Helechos. La fase gametofítica se observó desde el segundo mes, pero el desarrollo y abundancia aumentó cuando se empezaron a extraer las plántulas durante los conteos. Por lo tanto, debido al lento desarrollo no fueron tomados en cuenta.

**Riqueza.-** En total se registraron 41 especies. En la condición no quemado 21 especies en 10 familias y 12 géneros. En la severidad baja 28 especies en 12 familias y 15 géneros. En la severidad media 16 especies en 11 familias y 14 géneros. Por último, en la severidad alta 13 especies en 8 familias y 7 géneros. La prueba de ANOVA mostró que la riqueza de plántulas incluyendo las dos profundidades de suelo fue estadísticamente similar entre las cuatro condiciones de incendio (Figura 12; Apéndice 3).

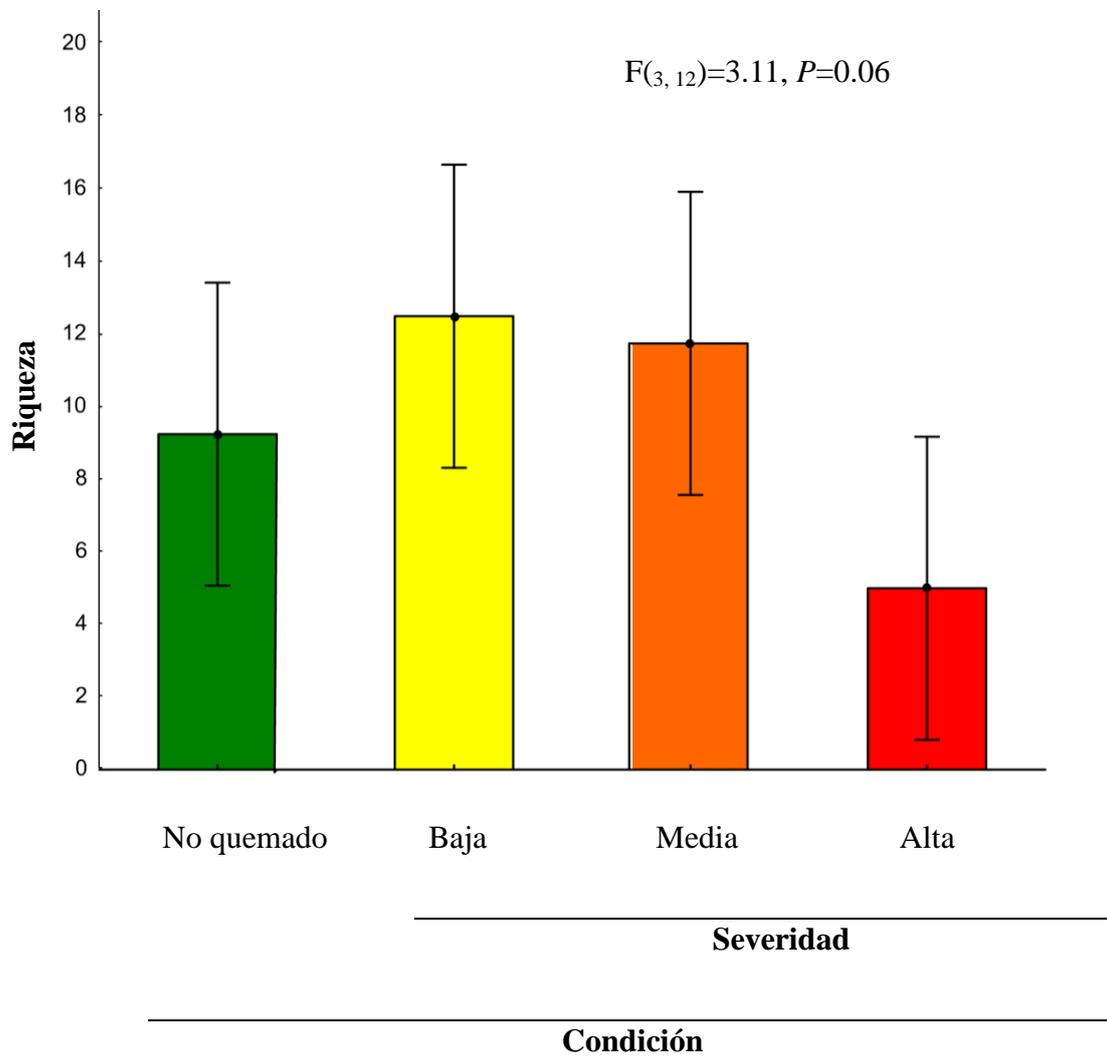
**Tabla 6.** Familias y géneros de plantas presentes en el banco de semillas por condición de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno

Espece	Género	Familia	
<b>No quemado</b>	<i>Pseudognaphalium</i>	Asteraceae	
	<i>Taraxacum</i>	Asteraceae	
	<i>Fimbristylis</i>	Cyperaceae	
	<i>Desmodium</i>	Fabaceae	
	<i>Crotalaria rotundifolia</i> J.F. Gmel.	<i>Crotalaria</i>	Fabaceae
		<i>Trifolium</i>	Fabaceae
		<i>Juncus</i>	Juncaceae
	<i>Hypoxis mexicana</i> Schult. & Schult. f.	<i>Hypoxis</i>	Hypoxidaceae
	<i>Oxalis albicans</i> Kunth	<i>Oxalis</i>	Oxalidaceae
	<i>Phytolacca icosandra</i> L	<i>Phytolacca</i>	Phytolaccaceae
			Poaceae
		<i>Pinus</i>	Pinaceae
<i>Spermacoce ocymoides</i> (Burm. f.) DC.	<i>Spermacoce</i>	Rubiaceae	
<b>Severidad baja</b>	<i>Pseudognaphalium</i>	Asteraceae	
	<i>Acmella</i>	Asteraceae	
	<i>Comellina</i>	Commelinaceae	
	<i>Euphorbia</i>	Euphorbiaceae	
	<i>Crotalaria rotundifolia</i> J.F. Gmel.	<i>Crotalaria</i>	Fabaceae
	<i>Hypoxis mexicana</i> Schult. & Schult. f.	<i>Hypoxis</i>	Hypoxidaceae
		<i>Salvia</i>	Lamiaceae
	<i>Habenaria crassicornis</i> Lindl.	<i>Habenaria</i>	Orchidaceae
	<i>Brachystele affinis</i>	<i>Brachystele</i>	Orchidaceae
	<i>Oxalis albicans</i> Kunth	<i>Oxalis</i>	Oxalidaceae
	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	<i>Phytolacca</i>	Phytolaccaceae
		<i>Paspalum</i> ,	Poaceae
		<i>Panicum</i>	Poaceae
	<i>Spermacoce ocymoides</i> (Burm. f.) DC.	<i>Spermacoce</i>	Rubiaceae

	<i>Solanum</i>	Solanaceae	
<b>Severidad media</b>	<i>Pseudognaphalium</i>	Asteraceae	
	<i>Acemella</i>	Asteraceae	
	<i>Taraxacum</i>	Asteraceae	
	<i>Sonchus</i>	Asteraceae	
	<i>Arenaria</i>	Caryophyllaceae	
	<i>Euphorbia</i>	Euphorbiaceae	
	<i>Mimosa</i>	Fabaceae	
	<i>Castilleja</i>	Orobanchaceae	
	<i>Oxalis</i>	Oxalidaceae	
	<i>Phytolacca</i>	Phytolaccaceae	
	<i>Setaria</i>	Poaceae	
	<i>Spermacoce</i>	Rubiaceae	
	<i>Solanum</i>	Solanaceae	
<i>Salvia</i>	Lamiaceae		
	<i>Pseudognaphalium</i>	Asteraceae	
<b>Severidad alta</b>	<i>Fimbristylis</i>	Cyperaceae	
	<i>Crotalaria</i>	Fabaceae	
	<i>Hypoxis</i>	Hypoxidaceae	
	<i>Juncus</i>	Juncaceae	
	<i>Oxalis</i>	Oxalidaceae	
		Poaceae	
		Rubiaceae	
	<i>Crotalaria rotundifolia</i> J.F. Gmel.		
	<i>Hypoxis mexicana</i> Schult. & Schult. f.		
	<i>Oxalis albicans</i> Kunth		
<i>Spermacoce ocymoides</i> (Burm. f.) DC.	<i>Spermacoce</i>		

**Tabla 7.** Familias y géneros de plantas en el banco de semillas, obtenidas por el método de emergencia de plántulas en el bosque de Pino del paraje El Fresno. En la tabla se muestran abundancias.

FAMILIA Género	CONDICIÓN				
	NQ	SB	SM	SA	
<b>Asteraceae</b>					
<i>Pseudognaphalium</i>	11	10	77	13	
<i>Acmella</i>		1	20		
<i>Taraxacum</i>	1		2		
<i>Sonchus</i>			1		
<b>Caryophyllaceae</b>					
<i>Arenaria</i>			16		
<b>Commelinaceae</b>					
<i>Comellina</i>		10			
<b>Cyperaceae</b>					
<i>Fimbristylis</i>	1			1	
<b>Euphorbiaceae</b>					
<i>Euphorbia</i>		1	5		
<b>Fabaceae</b>					
<i>Crotalaria</i>	1	2		1	
<i>Desmodium</i>	1				
<i>Mimosa</i>			1		
<i>Trifolium</i>	2				
<b>Hypoxidaceae</b>					
<i>Hypoxis</i>	3	2		1	
<b>Juncaceae</b>					
<i>Juncus</i>	9			1	
<b>Orchidaceae</b>					
<i>Habenaria</i>		3			
<i>Brachystele s</i>		1			
<b>Orobanchaceae</b>					
Castilleja			1		
<b>Oxalidaceae</b>					
<i>Oxalis</i>	8	11	14	3	
<b>Phytolaccaceae</b>					
<i>Phytolacca</i>	2	2	15		
<b>Pinaceae</b>					
<i>Pinus</i>	1				
<b>Poaceae</b>	6	10	7	5	
<b>Rubiaceae</b>					
<i>Spermacoce</i>	13	36	33	45	
<b>Solanaceae</b>					
<i>Solanaceae</i>		1	13		
<b>Lamiaceae</b>					
<i>Salvia</i>		1	1		
<b>No ID.</b>	2	41	40	22	
<b>Totales</b>	<b>62</b>	<b>132</b>	<b>246</b>	<b>92</b>	<b>=532</b>



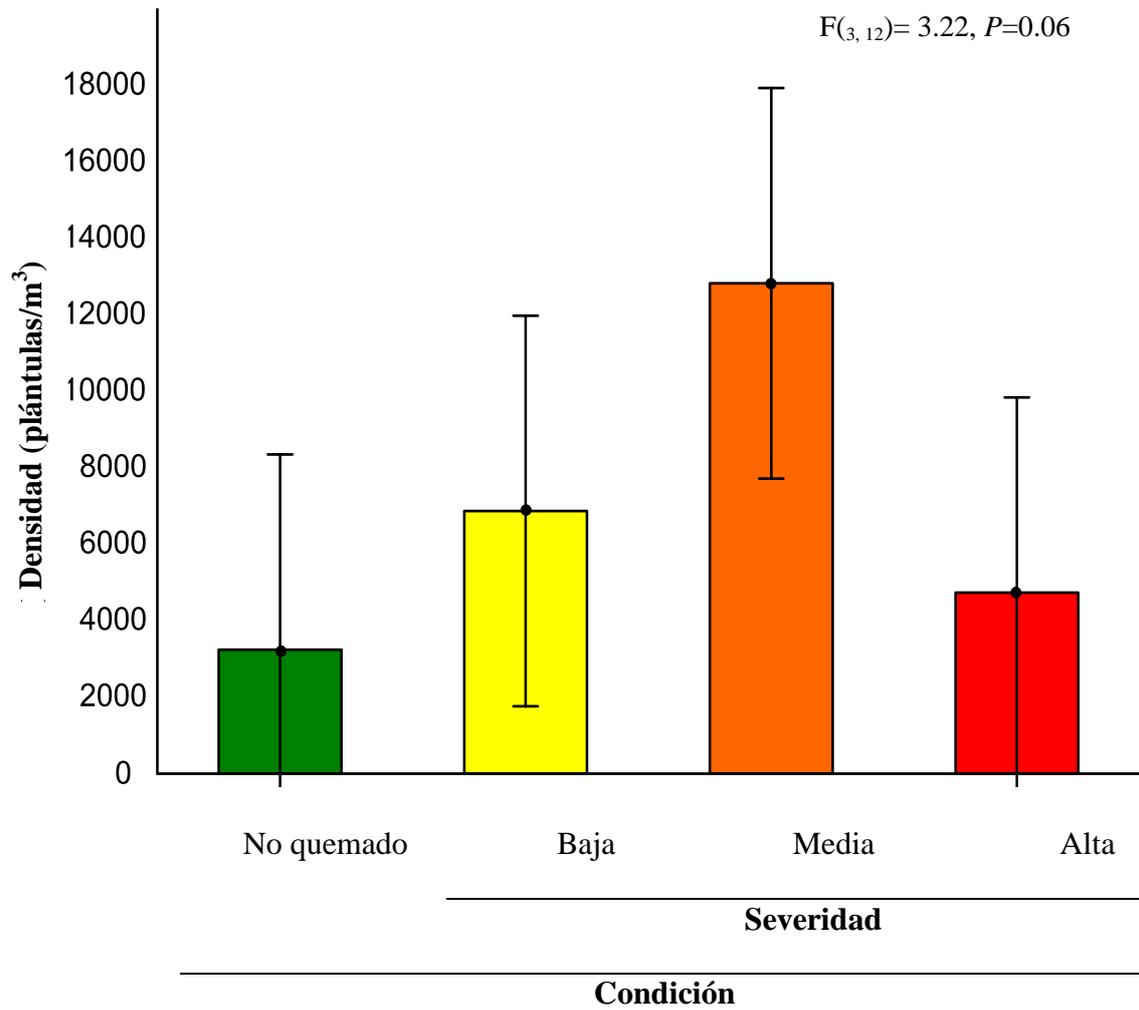
**Figura 12.** Riqueza de plántulas incluyendo las dos profundidades del suelo en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%.

**Densidad.-** La prueba de ANOVA mostró que la densidad de plántulas que emergieron de las muestras, incluyendo las dos profundidades, fue estadísticamente similar en las cuatro condiciones de incendio (Figura 13; Apéndice 4). Se observó una tendencia de que la densidad de plántulas en la severidad media fue mayor con respecto a la densidad de la severidad baja, alta y no quemado (Tabla 8).

**Tabla 8.** Densidad de plántulas/m<sup>3</sup> (promedio ± error) por condición incluyendo las dos profundidades de suelo en el bosque de Pino del paraje El Fresno.

	Severidad			
	No quemado	Baja	Media	Alta
	3247 ± 884	6875 ± 872	12830 ± 3066	4740 ± 3323

**Profundidad.-** La densidad de plántulas del banco fue similar en las dos profundidades (0-3 cm *versus* 3-6 cm) (t de Student,  $P > 0.05$ ; Tabla 9).



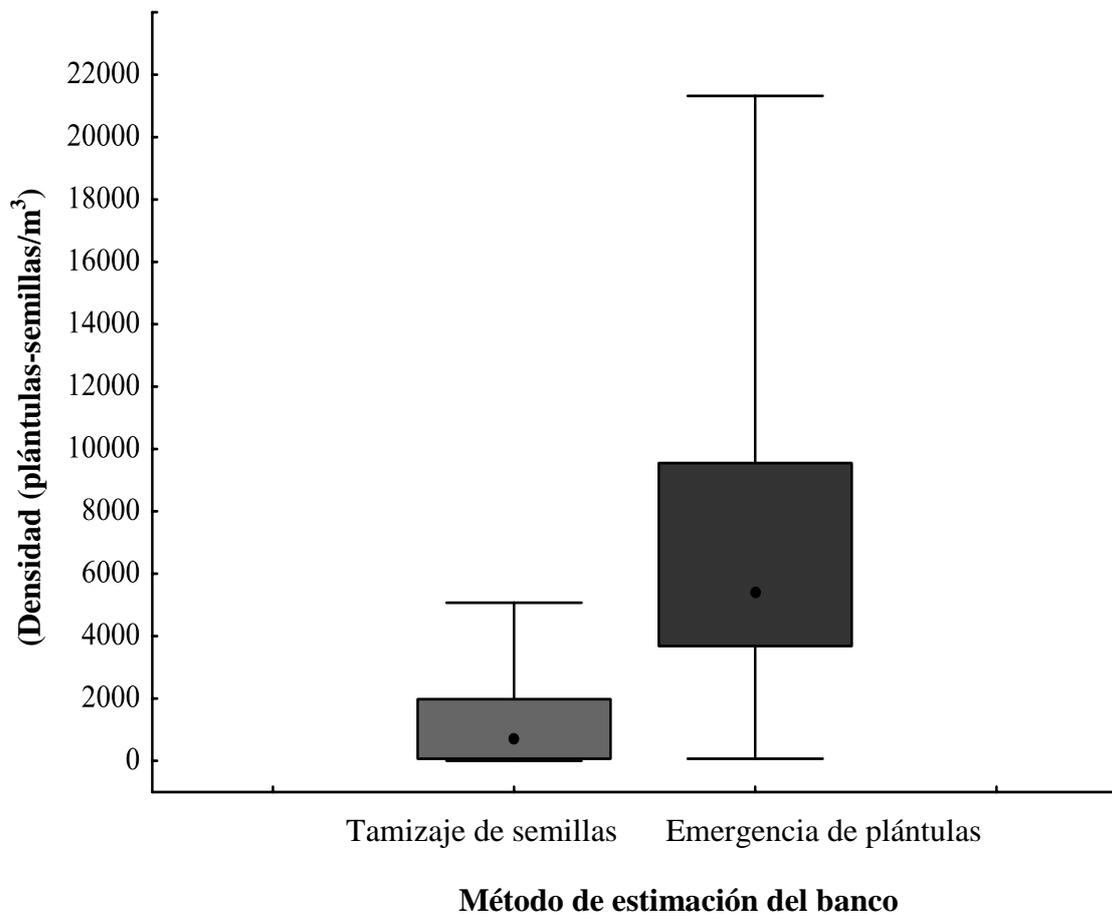
**Figura 13.** Densidad de plántulas, incluyendo las dos profundidades de suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Las líneas verticales representan un intervalo de confianza al 95%.

**Tabla 9.** Valores de la prueba pareada de t de Student, en la que se compara por condición, la densidad de plántulas de la profundidad 0-3 cm *versus* la profundidad 3-6 cm en el bosque de Pino del paraje El Fresno.

<b>Condición</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
No quemado	0.63	0.57
Severidad baja	0.38	0.72
Severidad media	1.56	0.21
Severidad alta	1.52	0.24

#### **Comparación de los métodos de estimación del banco**

La prueba de U de Mann-Whitney, mostró que por el método de emergencia de plántulas se obtuvieron más individuos (532 plántulas) y por el método de tamizaje de semillas (90 semillas) ( $Z = -3.58$ ,  $P = 0.0003$ ; Figura 14).



**Figura 14.** Comparación de los dos métodos de estimación del banco de semillas en el bosque de Pino del paraje El Fresno, incluyendo las dos profundidades del suelo (6 cm). Los métodos a comparar fueron el tamizaje de semillas y la emergencia de plántulas.

## DISCUSIÓN

Este estudio buscó evaluar el efecto que tienen diferentes niveles de severidad de un incendio sobre el espesor del mantillo, así como la riqueza y la densidad de semillas en el mantillo y en el banco de un bosque de Pino en Morelos. El espesor del mantillo disminuyó conforme aumentó la severidad de incendio, como se esperaba. La densidad de semillas del mantillo fue similar entre severidades, pero estas fueron diferentes a la densidad de la condición no quemado, contrario a lo esperado. La riqueza de semillas del mantillo fue diferente en la condición de severidad baja respecto a la severidad alta; la riqueza de semillas disminuyó con el espesor del mantillo. La densidad de semillas y plántulas en el suelo fue similar en las cuatro condiciones, evaluadas por el método de tamizaje y el método de emergencia de plántulas. Además, la densidad de semillas y plántulas del banco entre la capa de suelo de 0-3cm y 3-6 cm fue similar. La composición del banco evaluada por la emergencia de plántulas fue similar entre condiciones. La riqueza del banco de semillas estuvo dominada por especies herbáceas mientras que, las arbustivas y arbóreas fueron escasas. Finalmente, se registró una mayor densidad de individuos por el método de emergencia de plántulas que por el de tamizaje de semillas.

### **Efecto del fuego en el espesor del mantillo**

El espesor del mantillo disminuyó conforme aumentó la severidad de incendio, de acuerdo con nuestra hipótesis. El espesor de mantillo que registramos en el bosque no quemado (8.3 cm), fue similar al registrado en otros trabajos: Por ejemplo, en un bosque mixto conservado de Pino-Encino en Puebla México, se encontró que el espesor de la capa de mantillo era de 8.66 a 13.33 cm (Carrillo-Anzures *et al.*, 2009). También, en un bosque mixto en California, Estados Unidos, se reportó un espesor de mantillo de 9.1 cm antes de una quema controlada (Knapp *et al.*, 2012). Por otra parte, en un bosque de Pino-Encino no quemado en Colombia se reportó un espesor promedio mucho más grande, de 18 cm; la diferencia se explica por la presencia de plantaciones de Pinos, que generaban más biomasa (Moscoso y Diez, 2005). En un bosque mixto conservado en Carolina, Estados Unidos, la pérdida del espesor del mantillo tras una quema de severidad baja fue de casi el 50%: de 5.1 cm a 2.7 cm (Keyser *et al.*, 2012). En nuestro estudio, el espesor de la hojarasca en las parcelas con severidad baja de incendio disminuyó un 28%. Los incendios forestales provocan la combustión total o

parcial del sustrato en el suelo (Ferran *et al.*, 1991). Esta quema del mantillo, temporalmente puede contribuir al aumento y ciclaje de algunos nutrientes en el suelo (De Bano *et al.*, 1998), no obstante la calidad del suelo se reduce con incendios de alta severidad (Johnstone y Kasischke, 2005). Cuando las resinas y ceras de la hojarasca de algunas coníferas se queman, producen compuestos que impermeabilizan la superficie del suelo, lo que aumenta la escorrentía (Cerdá y Robichaud, 2009). Además, cuando el suelo queda expuesto a la intemperie, este puede perderse debido a la erosión (Hewelke *et al.*, 2018). El espesor del mantillo en los bosques no quemados va desde 8.3 hasta 13 cm y puede alcanzar hasta 18 cm en plantaciones forestales; las quemadas controladas o naturales de baja severidad pueden disminuir este espesor entre un 28 y un 50 %, mientras que este estudio mostró que la severidad media y alta pueden disminuir este espesor entre un 75 y un 92%, respectivamente. Esta disminución en el espesor del mantillo tiene consecuencias importantes en la calidad y permanencia del suelo, y en los servicios ecosistémicos que el suelo provee.

### **Efecto del fuego en las semillas del mantillo**

Contrario a nuestra hipótesis, la densidad de semillas fue similar en el mantillo de los sitios con severidad baja, media y alta de incendio; además, el mantillo del sitio no quemado presentó una baja densidad de las semillas. La evaluación de la vegetación en estos sitios, reveló que el sotobosque en los sitios que experimentaron alguna severidad de incendio era más denso que el sotobosque del bosque no quemado (Juan-Baeza, 2020). Los incendios severos ocasionan la muerte de los árboles y crean la apertura de claros en el dosel que permiten la entrada de luz al sotobosque; cuando la luz alcanza el suelo, promueven el establecimiento de plantas colonizadoras; estas plantas requieren de altos niveles de luz para su crecimiento y reproducción rápida (Pausas, 2012). Por el contrario, en las zonas de bosque no quemado, en donde la capa de mantillo es gruesa y hay mucha sombra debido a la alta densidad de Pinos, hay menos arbustos y herbáceas establecidas en el sotobosque y por ende menos diversidad de semillas (Abella y Springer, 2008). En un bosque de Pino-Encino en Arizona, Estados Unidos, se registró que las semillas del banco eran más diversas y abundantes en sitios con una capa de mantillo delgada y con alta apertura del dosel; estas condiciones promueven el desarrollo de vegetación que se reproduce rápidamente (Abella y Springer, 2008). En las parcelas estudiadas, la cobertura del dosel fue mayor en la condición no quemado (93.6 %), con respecto a la condición de severidad baja (64.6 %), media (50.3 %) y alta

(34.2 %) (Juan-Baeza, 2020). Después de dos años del evento de incendio, la densidad de semillas en el mantillo aumentó debido a la inmediata colonización del sotobosque por especies de rápido crecimiento.

Por el método de emergencia, registramos sólo seis plántulas en el mantillo. Un estudio en un humedal de Japón (ecosistema conocido como turbera), reveló que el mantillo puede favorecer el desarrollo de bancos densos de semillas, debido a que actúan como una trampa (Egawa *et al.*, 2009). Por otra parte, revisiones sobre el tema han revelado que los lixiviados de la hojarasca pueden reducir la germinación o el crecimiento de las plántulas (Rice, 1979; Xiong y Nilsson, 1999). También, en experimentos de germinación de la hierba *Carduus nutans* L. (Asteraceae), se encontró una mayor mortalidad de las plántulas que germinaron bajo una capa gruesa de mantillo y que tenían hipocótilos grandes; las plántulas murieron debido al gasto energético requerido para traspasar el mantillo (Hamrick y Lee, 1987). Además, en un bosque de Encino en Nueva Jersey, Estados Unidos, se encontró que la hojarasca inhibió la germinación de semillas y el establecimiento de las plántulas de dos especies de hierbas; las plántulas no tuvieron niveles de luz suficientes debido al espesor del mantillo (Facelli y Pickett, 1991). Finalmente, en experimentos de invernadero con muestras de un bosque semidecídulo en Brasil, la emergencia de plántulas de muestras de mantillo fue más alta al colocar debajo una capa de suelo nutritivo (De Souza *et al.*, 2006). Para favorecer la germinación de las semillas en el mantillo se podría utilizar un sustrato adicional o sembrar sólo las muestras tamizadas, pues el método de tamizaje puede subestimar el número de semillas pequeñas (Roberts, 1981). El mantillo brinda condiciones bióticas (i.e., compuestos secundarios; sustrato pobre) y abióticas (i.e., cantidad de luz) que pueden inhibir la germinación de las semillas ahí presentes.

El método de tamizaje reveló que la riqueza de semillas fue más alta en el mantillo de la severidad baja de incendio en comparación con el resto de las condiciones, lo que concuerda parcialmente con nuestra hipótesis. Al parecer, las condiciones micro-ambientales después de un incendio de severidad media y alta no fueron favorables para el establecimiento de una gran diversidad de plantas (Juan Baeza, 2020). Las condiciones micro-ambientales en la severidad baja favorecen el establecimiento de unas pocas especies de rápido crecimiento que producen muchas semillas (e.g., Abella y Springer, 2008). Las especies tolerantes a la sombra, con requerimientos altos de humedad, no pueden establecerse en esas condiciones por lo

que la riqueza disminuye (Bonnet *et al.*, 2005). En conclusión, la densidad y la riqueza de semillas en el mantillo depende de la vegetación que se pudo establecer rápidamente en el sitio después del evento de fuego.

## **Efecto del fuego en el banco de semillas**

### **Riqueza y densidad del banco**

La riqueza y densidad de semillas en el banco no disminuyeron conforme aumentaba la severidad de incendio, contrario a nuestra hipótesis. Los estudios disponibles sobre el efecto de la severidad de incendio en el banco de semillas de ecosistemas templados muestran resultados contrastantes (Apéndice 5). En un bosque de Pino en España, la riqueza y densidad de semillas evaluadas en los primeros 10 cm de suelo por medio del método de tamizaje, no disminuyeron después de un incendio experimental con severidad baja de fuego (Ferrandis *et al.*, 2001); los resultados son similares a nuestros hallazgos por el método de tamizaje. También, de acuerdo con nuestros resultados, en un estudio del banco de semillas de un bosque de Pino en la India a una profundidad de 9 cm, evaluado por el método de emergencia de plántulas, se encontró que la riqueza y la abundancia de semillas fue similar en las zonas no quemadas y quemadas (Konsam y Phartyal, 2020). En un bosque de Encino en Estados Unidos el banco a una profundidad de 10 cm evaluado por el método de emergencia de plántulas, la densidad de plántulas antes y después de un incendio de severidad baja fue similar, mientras que la riqueza disminuyó después del paso del fuego (Keyser, 2012). En otro estudio del banco en un bosque de Pino en Portugal evaluado por el método de emergencia de plántulas a una profundidad de 6 cm, la densidad de plántulas en la severidad alta de incendio disminuyó un 30% en comparación con la densidad en sitios no quemados (Maia *et al.*, 2012). Además, en un bosque de Encino en Virginia, Estados Unidos, después de un incendio experimental con severidad baja se detectó una disminución en la densidad y riqueza de las semillas del banco (Schuler *et al.*, 2010). También, existen estudios en donde evalúan el efecto del fuego en el banco de semillas de otros ecosistemas; como es el de un pastizal en Irán, a una profundidad de 5 cm y evaluado por el método de emergencia de plántulas, los resultados muestran que la riqueza fue similar en las parcelas no quemadas respecto a las quemadas, en cambio la densidad de plántulas fue mayor en las no quemadas (Naghypour *et al.*, 2015). Con estos estudios se observa que

un incendio de severidad baja puede no perjudicar al banco y favorece la germinación de algunas semillas si no afecta su integridad, mientras que otros incendios más severos y con mayor durabilidad pueden provocar la disminución del banco de semillas.

### **Profundidad del Suelo**

La densidad de plántulas no difirió entre profundidades de suelo, por lo cual rechazamos nuestra hipótesis. En bancos de semillas de otros bosques templados se han encontrado resultados contrastantes después de eventos de fuego. De acuerdo con nuestra hipótesis original, en un bosque de Pino-Encino en España, la densidad de semillas del banco superficial (2cm) fue mayor que la densidad de semillas del banco profundo (2-5 cm) (Buhk y Hensen, 2005). Otro estudio del banco de un bosque de Pino en Portugal, mostró una mayor densidad de plántulas en la capa superficial (0-3 cm) que en la profunda (3-6 cm) (Maia *et al.*, 2012). En un estudio en la India, hubo una mayor densidad de plántulas en la capa superficial del suelo (0-3 cm) en comparación con las capas más profundas (3-6 y 6-9 cm) en zonas quemadas, en las zonas no quemadas la densidad fue similar (Konsam y Phartyal, 2020). Por otra parte, en un bosque de Encino en Estados Unidos, la densidad de plántulas fue similar en el banco superficial (0-5 cm) con respecto al profundo (5-10 cm) (Keyser, 2012), lo que concuerda con nuestros resultados. En este estudio aunque no fue diferente la densidad entre las capas, sí se observó una tendencia de disminución de la densidad conforme la profundidad aumentó. Los estudios del banco de semillas disponibles anteriormente citados presentaron variaciones en el tamaño de la muestra y el régimen de disturbio. En especial, el factor que consideramos que es clave es el tiempo en el que se tomaron las muestras después de que ocurrió el incendio (ver Apéndice 5), en estos estudios las muestras fueron tomadas de unas horas a unos meses después del incendio, mientras que en el presente estudio el banco de semillas fue evaluado después de dos años, quizás la disminución del banco se vea inmediatamente después de un incendio, pero después de dos años en donde se ha comenzado un proceso de regeneración natural como en nuestros sitios (Juan-Baeza, 2020), la densidad total o por profundidad presenta cambios. Nosotros inferimos que para El Fresno, la capa superficial del banco de semillas que existía previo al incendio se quemó al paso de este, y el banco que observamos en este estudio y la vegetación existente, es proveniente del banco que quedó viable después del incendio, además del banco que han formado algunas plantas

durante estos dos años . Por observación consideramos que a una profundidad mayor a 6 cm de suelo es poco posible encontrar semillas en El Fresno.

### **Composición del banco**

En este estudio, el banco de semillas estuvo dominado por herbáceas que pertenecían principalmente a las familias Asteraceae, Fabaceae, Oxalidaceae, Phytolaccaceae y Rubiaceae (ver Tabla 7). Existen estudios de bancos de semillas con resultados similares respecto a nuestro estudio, por ejemplo, en el banco de semillas de un bosque de Pino-Encino conservado en la Ciudad de México, se encontró que las especies pertenecían en su mayoría a herbáceas y en segundo lugar a arbustos, las familias representativas fueron Asteraceae, Lamiaceae y Cyperaceae (Martínez-Orea, 2013). También, en el banco de un bosque de Pino-Encino en Baja California Sur, se encontró que las especies pertenecían en su mayoría a herbáceas de las familias Fabaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae y Lamiaceae (Arriaga y Mercado, 2004). Además, en el banco de un bosque de Pino-Encino en Puebla, se encontró que las especies pertenecían en su mayoría a herbáceas de las familias Asteraceae, Caryophyllaceae, Solanaceae, Fabaceae y Phytolaccaceae (Carrillo-Anzures *et al.*, 2009). También, en el banco de un bosque templado de Pino-Encino en Chiapas, se encontró que las especies pertenecían en su mayoría a herbáceas de las familias Solanaceae, Euphorbiaceae, Commelinaceae y Oxalidaceae (Ramírez *et al.*, 1992). En los estudios mencionados al igual que en este estudio, en el banco no se encontraron especies arbóreas abundantes del sitio. Nosotros observamos una plántula de *Pinus* emerger en el experimento, que es el género arbóreo dominante en el sitio, los resultados sugieren que el género *Pinus* no está formando banco de semillas o se agotó en los primeros dos años después del evento de fuego. Un estudio previo en el mismo sitio de este estudio mostró la presencia de 2228 plántulas de *Pinus* establecidas en la vegetación, que representó el 98% (Juan Baeza, 2020), lo que sugiere que se formó un banco de plántulas por la apertura de conos serótinos durante el incendio (Pausas, 2012). También, es importante mencionar que otra especie arbustiva dominante (*Dodonaea viscosa*, Sapindaceae) con comportamiento invasor (Juan, 2013), no estuvo presente en el banco de semillas. El banco de este estudio presentó una composición similar de familias respecto a otros estudios, estuvo dominado por hierbas y además con la ausencia de especies arbóreas dominantes de la vegetación establecida, resultados similares a lo reportado para otros bosques de Pino-Encino en México.

## Métodos de estimación del banco de semillas

En este estudio también comparamos dos métodos de evaluación del banco de semillas; el método de emergencia que es más utilizado para muestras de suelo de gran volumen y que detecta plántulas provenientes de semillas diminutas (Plue *et al.*, 2012), y el método de tamizaje que permite detectar semillas en latencia y con requerimientos ambientales específicos de germinación (Gross, 1990). En este estudio en todas las condiciones y profundidades, por el método de emergencia se obtuvieron más individuos (532 plántulas), que por el método de tamizaje (90 semillas). Acorde con nuestros resultados, en un estudio del banco de semillas antes y después de un incendio en un matorral en España, se registraron un mayor número de especies por el método de emergencia que por el método de tamizaje (Ferrandis *et al.*, 1999). En contraste, en un estudio en un bosque de Encino en España se registraron menos plántulas por el método de emergencia, que semillas por el método de tamizaje (Piudo y Caveró, 2005). En este estudio por el método de tamizaje, observamos semillas que no logramos identificar en los frutos de las plántulas por el método de emergencia, también observamos en los frutos de las plantas que emergieron semillas que no localizamos por el método del tamizaje. Además, por ambos métodos se observó la poca abundancia o ausencia de semillas y plántulas de géneros dominantes arbóreos (i.e., *Arbutus*, *Quercus*, *Clethra*, en especial *Pinus*), arbustivas (i.e., *Mimosa galeottii*) y de especies invasoras del sitio (i.e., *Pteridium aquilinum* y *Dodonaea viscosa*) (Juan-Baeza, 2020). En conclusión, ambos métodos son útiles y complementarios como mencionan Gross 1990 y Plue *et al.*, 2012, para muestras de gran tamaño como fue el caso de este estudio sugerimos el método de emergencia de plántulas, pues el tamizaje requiere de mucho tiempo de trabajo manual y de observación, además manejar una gran cantidad de suelo es dificultoso, aunque el de emergencia requiere más insumos y espacio es más fácil obtener datos, sin embargo una combinación de ambos métodos con muestras de superficie reducida sería ideal.

## **Implicaciones para la restauración**

Para el bosque templado en Morelos, este es el primer trabajo del efecto de la severidad del incendio en el banco de semillas. Los incendios forestales en el estado se presentan anualmente, estos cada vez son más extensos y más severos (Juan-Baeza, 2020). A pesar de que la densidad y la riqueza de semillas en el banco fue similar en las tres severidades de fuego a dos años del incendio, es necesario analizar la composición de semillas con respecto a la vegetación actual, para medir el potencial de que la vegetación del sitio regrese a la composición original. Este análisis también permitirá conocer que especies forman banco de semillas, cuáles podrían formar banco de plántulas y cuáles han sido eliminadas debido al evento de fuego. Esta información permitirá tomar decisiones sobre las especies que podrían introducirse mediante acciones de restauración ecológica, como la siembra directa o la plantación. Así mismo, una vez que las semillas caen al suelo ocurren otros eventos en la dinámica del banco de semillas, pues la vida de las semillas depende de factores intrínsecos (i.e., latencia, germinación) y de extrínsecos (i.e., depredación, eventos de dispersión) (Harper, 1977), tales factores también deben ser evaluados. Algo que es primordial en la zona afectada, es realizar la intervención en el suelo de zonas de alta severidad, lo cual se puede lograr aumentando la cobertura de herbáceas y arbustos, pues estos forman un banco. Las plantas protegen al suelo, sus raíces compactan el suelo y evitan su erosión; lo cual conserva el banco. En el banco de esta severidad hubo menos plántulas y en situ el reclutamiento fue bajo respecto a otras severidades (Juan-Baeza, 2020), el aumento en la cobertura se puede hacer mediante siembras de especies o el trasplante de la capa superficial de suelo desde otras zonas no perturbadas para crear condiciones microambientales que promuevan la germinación de semillas con altos requerimientos de humedad. Además es necesaria la siembra de *Pinus* y géneros como *Quercus* en las zonas dañadas, ya que hay presencia de plagas que están afectando al arbolado sobreviviente; para estos géneros se ha reportado que la formación de bancos es limitada. Principalmente, es importante la colaboración de los ejidatarios de El Fresno y autoridades competentes en la planeación y ejecución de la recuperación de la zona, pues se ha notado que hacen la extracción de mantillo de las zonas no quemadas para la formación de tierra ornamental, lo cual representa una desprotección del suelo y pérdida de las semillas, así como hacer conciencia del impacto del cambio de uso del suelo en la zona, pues en la zona no quemada se está llevando a cabo la construcción de cabañas.

## CONCLUSIONES

1. El espesor del mantillo disminuyó conforme aumentó la severidad de incendio.
2. La densidad de semillas en el mantillo en la condición de bosque no quemado fue diferente respecto a la densidad de semillas en la severidad de incendio baja, media y alta.
3. La riqueza de semillas en el mantillo de la severidad baja fue mayor con respecto a la severidad alta
4. Los resultados sugieren que el espesor de la hojarasca y su composición química pudieron haber inhibido la germinación de semillas.
5. La densidad y riqueza del banco de semillas fue similar entre condiciones de incendio.
6. El banco de semillas por condición fue similar entre las profundidades exploradas.
7. El banco de semillas estuvo dominado por especies de hábito herbáceo. Las formas arbustivas y arbóreas fueron muy escasas.
8. Se obtuvieron más individuos por el método de emergencia de plántulas que por el de tamizaje de semillas.

## **PERSPECTIVAS**

-Hacer estudios de similitud del banco de semillas con la vegetación establecida para determinar el potencial de regeneración natural del bosque.

-Evaluar la composición inmediatamente después del evento de incendio.

-Evaluar la severidad de incendio en la densidad y la composición de los Helechos; algunas especies de helechos (i.e., *Pteridium aquilinum*) tienen un comportamiento invasor en lugares incendiados y presentan compuestos alelopáticos que inhiben el crecimiento de otras plantas.

-Hacer estudios sobre la lluvia de semillas para compararlo con el banco de semillas.

-Evaluar el efecto del fuego en las características físicas y químicas del suelo en las cuatro condiciones, para conocer la pérdida de nutrientes y cambios en las propiedades físicas como es la porosidad y compactación.

-Llevar a cabo estudios de recuperación del suelo en las áreas de severidad alta y media mediante acciones de restauración como (1) la de siembra directa de herbáceas nativas con capacidad de retención del suelo (2) el uso de acolchados naturales o plásticos y, (3) retención del suelo mediante barricadas para evitar la erosión y la pérdida del banco.

-Evaluar la termo-tolerancia de las semillas de especies que componen la flora nativa del sitio para saber su respuesta contra las fluctuantes temperaturas que se generan en un incendio.

-Realizar quemas controladas para evaluar fluctuaciones de temperatura, cambios en la densidad y composición del banco pre y post fuego.

-Evaluar el uso de micorrizas en las raíces arbóreas para un mejor desempeño en la tasa de crecimiento de estos.

## LITERATURA CITADA:

- Abella, S. R., J. D. Springer y W. W. Covington.** 2007. Seed banks of an Arizona *Pinus ponderosa* landscape: responses to environmental gradients and fire cues. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 552-567.
- Abella, S. R y J. D. Springer.** 2008. Estimating soil seed bank characteristics in ponderosa pine forests using vegetation and forest-floor data. USDA Forest Service Research Note RMRS-RN-35 1-8.
- Acosta, L y R. Agüero.** 2002. Combate de *Panicum zizanooides* H.B.K. y *Paspalum conjugatum* Beg. en banano (*Musa* AA) en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 13: 117-121.
- Anaya, L. A. L.** 2003. *Ecología química*. Plaza y Valdés Editores, Ciudad de México.
- Archibold, O. W.** 1989. Seed banks and vegetation processes in coniferous forests. En: Leck, M. A., Parker, V. T. and R. L. Simpson (Eds.). *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego, California 107–122 pp.
- Arriaga, L. M. C.** 2004. Seed bank dynamics and tree fall gaps in a northwestern Mexican *Quercus-Pinus* forest. *Journal of Vegetation Science* 15: 661-688.
- Azcon, B. J y M. Talon.** 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Mc Graw Hill. Interamericana, Madrid.
- Baker, H.** 1989. Some aspects of the natural history of seed Banks. En: Allesio, M., V. Parker y R. Simpson. (Eds.). *Ecology of soil seed banks*. Berkeley, California: Academic Press, INC. 9-21 pp.
- Bakker, J. P., P. Poschlod, R. J. Strykstra, R. M. Bekker y K. Thompson.** 1996. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Botanica Neerlandica* 45: 461–490.
- Baskin, C. C y J. Baskin.** 1998. *Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego, USA.
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper.** 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. Blackwell Science Ltd. fourth edition, Blackwell Science, Oxford.

- Bonnet, V. H., A. W. Schoettle, y W. D. Shepperd.** 2005. Postfire environmental conditions influence the spatial pattern of regeneration for *Pinus ponderosa*. Canadian Journal of Forest Research 35: 37-47.
- Buhk, C y I. Hensen.** 2005. Lack of hard-seeded species in pre-fire and post-fire seed banks in the region of Murcia (south-eastern Spain). Anuales de Biología 27: 29-37.
- Camacho, F., V. González y Á. Mancera.** 1993. Guía tecnológica para el cultivo del chapulixtle *Dodonaea viscosa* L. Jacq. Arbusto útil para producción de tutores hortícolas, control de erosión y setos urbanos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México.
- Cano, A., J. Zabala, A. Orozco, M. Valverde y P. Pérez.** 2012. Composición y abundancia del banco de semillas en una región semiárida del trópico mexicano: patrones de variación espacial y temporal. Revista mexicana de biodiversidad 83: 437-446.
- Carrillo-Anzures F, C. G. Vera, T. S Magaña, J. Guldin y R. Guries.** 2009. Seeds Stored in the Forest Floor in a Natural Stand of *Pinus montezumae* Lamb. Revista Ciencia Forestal en México 34: 41-60.
- Castillo-Argüero, S.** 2013. Lluvia y banco de semillas como facilitadores de la regeneración natural en un bosque templado de la Ciudad de México. Interciencia 38: 400-409.
- Cerdá, A y P. R. Robichaud.** 2009. Fire effects on soils and restoration strategies. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
- DeBano, L. F., D. G. Neary y P. F. Ffolliott.** 1998. Fire's effects on ecosystems. John Wiley & Sons, New York, NY.
- De Souza, P. A., N. Venturin, J. J. Griffith, y S. V. Martins.** 2006. Evaluación de un banco de semillas contenido en la hojarasca de un bosque fragmentado para prevenir la recuperación de áreas degradadas. Cerne Lavras 12: 56-67.
- Egawa, C., A. Koyama y S. Tsuyuzaki.** 2009. Relationships between the developments of seedbank, standing vegetation and litter in a post-mined peatland. Plant Ecology 203: 217-22.
- Enright, N. J y A. Kintrup.** 2001. Effects of smoke, heat and charred wood on the germination of dormant soil-stored seeds from a *Eucalyptus baxteri* heathy-woodland in Victoria, SE Australia. Austral Ecology 26: 132-141.

- Facelli, J. M y S. T. A. Pickett.** 1991. Plant litter: Light interception and effects on an old-field plant community. *Ecology* 72: 1024-1031.
- Ferran, A., I. Serrasolsas, y V. R. Vallejo.** 1991. Soil evolution after fire in *Quercus. ilex* and *Pinus. halepensis* forests. En: Teller, A., P. Mathí, y J. Jessers. (Eds). Responses of forest ecosystems to environmental changes. Commission of the European Communities. Bruselas. 397-405 pp.
- Ferrandis, P., J. M. Herranz, y J. J. Martínez-Sánchez.** 1999. Effect of fire on hard-coated Cistaceae seed banks and its influence on techniques for quantifying seed banks. *Plant Ecology* 144: 103–114.
- Ferrandis, P., J. De Las Heras, J. J. Martínez-Sánchez y J. M. Herranz.** 2001. Influence of a low-intensity fire on a *Pinus halepensis Mill.* forest seed bank and its consequences on the early stages of plant sucesion. *Israel Journal of Plant Sciences* 49: 105-114.
- Forcella, F., T. Webster y Y. Cardina.** 2004. Protocolos para la determinación de bancos de semillas de malezas en los agrosistemas. Estudio FAO. Producción y protección vegetal 120 Add. 1.
- Fule, P. Z. y W. Covington.** 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 41: 43-79.
- Ghermandi, L., S. Gonzalez, M. N. Lescano y F. Oddi.** 2013. Effects of fire severity on early recovery of Patagonian steppes. *International Journal of Wildland Fire* 22: 1055–1062.
- González-Salvatierra, C., E. I. Badano, J. Flores y J. P. Rodas.** 2013. Germinación, infestación y viabilidad de bellotas de *Quercus polymorpha* (Schltdl. & Charm.) tras un año de almacenamiento. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19: 351-362.
- González-Tagle, M. A., L. Schwendenmann, J. Jiménez-Pérez y W. Himmelsbach.** 2007. Reconstrucción del historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 13: 51-63.
- Graham, D. J y M. J. Hutchings.** 1988. Estimation of the seed bank of a chalk grassland ley established on former arable land. *Journal of Applied Ecology* 25: 241-252.
- Granados-Sánchez, D y G. F. López-Ríos.** 1996. Ecología del fuego. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4: 193-206.

- Gross, L. K.** 1990. A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology*. 78: 1079-1093.
- Habrouk, A., J. Retana y J. M. Espelta.** 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant ecology* 145: 91-99.
- Hamrick, J. L y J. M. Lee.** 1987. Effects of soil surface topography and litter cover on the germination, survival and growth of musk thistle (*Carduus nutans*). *American Journal of Botany* 74: 451–457.
- Hardesty, J., R. Myers y W. Fulks.** 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *The George Wright Forum* 22: 78-87.
- Harper, J. L.** 1977. *The Population Biology of Plants*. London: Academic Press.
- Hewelke, E., L. Oktaba, D. Gozdowski, M. Kondras, I. Olejniczak, y E. B. Górska,** 2018. Intensity and persistence of soil water repellency in pine forest soil in a temperate continental climate under drought conditions. *Water*, 10: 1-17.
- Holmgren, M., M. Scheffer y M. A. Huston.** 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78: 1966–1975.
- Howe, H. F y J. Smallwood.** 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 201–228.
- INAFED. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.** 2018. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Morelos. En: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/mediofisico.html> [2018].
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.** 2005. Cuaderno estadístico Municipal de Cuernavaca, Morelos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Janzen, D. H.** 1971. Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2: 465-492.
- Jardel-Peláez, E. J.** 1991. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia* 22: 9-26.
- Johnstone, J. F y E. S. Kasischke.** 2005. Stand-level effects of soil burn severity on postfire regeneration in a recently burned black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 2151-2163.

- Juan, P. J. I.** 2013. Funciones e importancia económica del recurso chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en un ejido del subtrópico mexicano. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social* 7(14).
- Juan-Baeza, I. B.** 2020. Análisis espacial y ecológico de áreas afectadas por incendios forestales en Morelos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 148 pp.
- Keeley, J. E.** 2006. Fire management impacts on invasive plant species in the western United States. *Conservation Biology* 20: 375–384.
- Key, C., y N. Benson.** 2004. The Normalized Burn Ratio (NBR). En: [https://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4\\_BR\\_CheatSheet.pdf](https://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4_BR_CheatSheet.pdf).
- Key, C., y N. Benson.** 2006. Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. USDA Forest Service General Technical Report. RMS-GTR-164-CD 1-55.
- Keyser, T. L., T. Roof, J. L. Adams, D. Simon y G. Warburton.** 2012. Effects of prescribed fire on the buried seed bank in mixed-hardwood forests of the southern Appalachian Mountains. *Southeastern Naturalist* 11: 669–688.
- Kimura, H y S. Tsuyuzak.** 2011. Fire severity affects vegetation and seed bank in awetland. *Applied Vegetation Science* 14: 350–357.
- Knaap, E. E., C. P. Weatherspoon, y C. N. Skinner.** 2012. Shrub seed banks in mixed conifer forests of northern California and the role of fire in regulating abundance. *Fire Ecology* 8: 32-48.
- Konsam, B, y Phartyal.** 2020. Impact of forest fire on soil seed bank composition in Himalayan Chir pine forest. *Journal of Plant Ecology* 13: 177-184.
- Kremer, R. J.** 1993. Management of weed seed banks with microorganisms. *Ecological Applications* 3: 24-52.
- Maia, P., J. G. Pausas, V. Arcenegui, C. Guerrero, A. Pérez-Bejarano, J. Mataix-Solera, y J. J. Keizer.** 2012. Wildfire effects on the soil seed bank of a maritime pine stand, the importance of fire severity. *Geoderma* 191: 80-88.
- Manders, P. T.** 1990. Soil seed banks and post-fire seed deposition across a forest fynbos ecotone in the Cape Province. *Journal of Vegetation Science* 1: 491-498.

- Martínez, O., Y. M., S. Castillo-Argüero, J. Álvarez-Sánchez, M. Collazo-Ortega, y A. Zavala.** 2013. Lluvia y banco de semillas como facilitadores de la regeneración natural en un bosque templado de la ciudad de México. *Interciencia* 38: 400-409.
- Mayer, A. M y A. Poljakoff-Mayber.** 1989. *The Germination of Seeds*. 4th Edition, Pergamon Press plc, Headington Hill Hall, Oxford, England.
- McGee, A y M. C. Feller.** 1993. Seed banks of forested and disturbed soils in southwestern British Columbia. *Canadian Journal of Botany* 71: 1574-1583.
- Meadows, J. S., F. T. Bonner y J. D. Haywood.** 2006. Soil seed-bank survival in forests of the southern United States. *New Forests* 32: 335-345.
- Moscoso, M. L. V. y M. C. Diez G.** 2005. Banco de semillas en un bosque de roble de la cordillera central colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 58(2): 2931–2944.
- Mostacedo, B y T. Fredericksen.** 2000. *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*, Santa Cruz, Bolivia. 87 pp.
- Naghipour, A. A., S. J. Khajeddin, H. Bashari, M. Iravani, y P. Tahmasebi.** 2015. The effects of fire on density, diversity and richness of soil seed bank in semi-arid rangelands of central Zagros region, Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 6: 311-318.
- Palmer, H. D., A. J. Denham y M. K. J. Ooi.** 2018. Fire severity drives variation in post-fire recruitment and residual seed bank size of *Acacia* species. *Plant Ecology* 219: 527-537.
- Patterson, M. W., y S. R. Yool.** 1998. Mapping fire-induced vegetation mortality using landsat thematic mapper data: A comparison of linear transformation techniques. *Remote Sensing of Environment* 65: 132-142.
- Pausas, G. J.** 2012. *Incendios forestales*. Editorial Catarata y Csic, Madrid, España.
- Piudo, M. J y R. Y. Caveró.** 2005. Banco de semillas: comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. *Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, Serie Botánica* 16: 71-85.
- Plue, J., K. Thompson, K. Verheyen y M. Hermy.** 2012. Seed banking in ancient forest species: why total sampled area really matters. *Seed Science Research* 22: 123-133.

- Pratt, D. W., R. A. Black y B. A. Zamora.** 1984. Buried viable seed in a ponderosa pine community. *Canadian Journal of Botany* 62: 44–52.
- Ramírez, M. N., M. González, y P. F. Quintana.** 1992. Banco y lluvia de semillas en comunidades sucesionales de bosques de Pino-Encino de los altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 20:59-75.
- Raven, P. H., R. Y. Evert y S. E. Eichhorn.** 1992. *Biología de las Plantas*. Editorial Reverté, Barcelona.
- Reiné-Viñales, R. J.** 2002. Composición del banco de semillas del suelo en prados pirenaicos y alpinos. *Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*. 258 pp.
- Rice, E. L.** 1979. Allelopathy. *The Botanical Review* 45: 15-109.
- Roberts, E. H.** 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology* 1: 499–514.
- Roberts, H. A.** 1981. Seed banks in the soil. *Advances in Applied Biology* 6: 1-55.
- Robbins, A. J.** 1983. *Pinus caribea* Morelet (mimeo). Seed Leaflet no2. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek.
- Rodrigues, B. D., S. V. Martins., y H. G. Leite.** 2010. Evaluación del potencial de la caída de basura y la transposición del banco de semillas del suelo para la restauración forestal en áreas degradadas. *Árvore* 34: 65-73.
- Rodríguez-Trejo, D. A.** 2012. Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18 (3) 357-373.
- Rowe, J. S.** 1983. Concepts of fire effects on plant individuals and species. En: Wein RW, MacLean DA (Eds). *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*. Wiley, New York. 135–154 pp.
- Ruprecht, E., M. Z. Enyedi, R. L. Eckstein y T. W. Donath.** 2010. Restorative removal of plant litter and vegetation 40 years after abandonment enhances re-emergence of steppe grassland vegetation. *Biological Conservation*, 143: 449–456.
- Ryan, K y N. Noste.** 1985. Evaluating prescribed fires. En: Lotan J. E., M. Kilgore-Bruce., C. Fisher-William y W. Mutch (Tech. coor). *Proceedings-Symposium and Workshop on Wilderness Fire*. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182: 230-238.

- Santos, J. M., K. A. Silva, E. N. Lima, D. M. Santos, R. M. M. Pimentel y E. L. Araújo.** 2009. Dinámica de duas populações herbáceas de uma área de caatinga, Pernambuco, Brasil. *Revista de Geografia* 26: 142-160.
- SEDESU.** Secretaría de Desarrollo Sustentable. Incendios. 2017. En: [http://www.obum.zmCuernavaca.morelos.gob.mx/Morelos/bos/oes\\_forestal.htm](http://www.obum.zmCuernavaca.morelos.gob.mx/Morelos/bos/oes_forestal.htm) [2017]. Cuernavaca, Morelos.
- Schuler T. M., G. M. Thomas-Van, M. B. Adams y W. M. Ford.** 2010. Seed bank response to prescribed fire in the central Appalachians. Research Paper NRS-9, US Department of Agriculture, Forest Service Northern Research Station 1–9 pp.
- Shlisky, A., J. Waugh, P. Gonzalez, M. Gonzalez, M. Manta, H. Santoso, E. Alvarado, A. Ainuddin, D. A. Nuruddin y R. Rodríguez-Trejo.** 2007. Fire, ecosystems and People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation. GFI Technical Report 2007-2. The Nature Conservancy. Arlington, VA.
- Teketay, D.** 2005. Seed and Regeneration Ecology in Dry Afromontane Forests of Ethiopia: I. Seed Production-Population Structures. *Tropical Ecology* 46: 29-44.
- Thompson, K y J. P. Grime.** 1979. Seasonal Variation in the Seed Banks of Herbaceous Species in Ten Contrasting Habitats. *Journal of Ecology* 67: 893-921.
- Thompson, K.** 1992. The functional ecology of seed banks. *Seeds: the Ecology of Regeneration*. En: M. Fenner (Ed). *Plant Communities*. CAB International, Wallingford, UK. 231-258 pp.
- Thompson, K., J. P. Bakker y R. M. Bekker.** 1997. *The soil seed banks of north west Europe: Methodology, density and longevity*. Cambridge University Press.
- Valbuena, L y L. Trabaud.** 1995. Comparison between the soil seed banks of a burnt and an unburnt *Quercus pyrenaica* Willd. *Forest. Vegetation* 119: 81-90.
- Vélez, M. R.** 2000. *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. McGraw-Hill, Madrid.
- Warr, S. J., K. Thompson y M. Kent.** 2004. Seed bank composition and variability in five woodlands in South West England. *Journal of Biogeography* 21: 151-168.
- White, P. S y S. T. A. Pickett.** 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, EE.UU.

- Xiong, S y C. Nilsson.** 1999. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology* 87: 984-994.
- Zepeda-Gómez, C., A. Lot, X. A. Nemiga, y J. Manjarrez.** 2015. Evaluación del banco de semillas y su importancia en la rehabilitación de la vegetación de humedales del centro México. *Botanical Sciences* 93(4): 695-707.
- Zuloaga-Aguilar S., O. Briones y A. Orozco-Segovia.** 2010. Effect of heat shock on germination of 23 plant species in pine-oak and montane cloud forests in western Mexico. *International Journal of Wildland Fire* 19: 759-773.

# Apéndices

**Apéndice 1.** ANOVA de una vía del espesor del mantillo en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).

<b>Factor de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Intercepto	1	1353.95	0.0000
Condición de severidad	3	101.27	0.0000
Error	12		

**Apéndice 2.** ANOVA de una vía de la densidad de semillas en el mantillo evaluado por el método del tamizaje en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).

<b>Factor de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Intercepto	1	1734.72	0.0000
Condición de severidad	3	12.65	0.0005
Error	12		

**Apéndice 3.** ANOVA de una vía de la riqueza de plántulas, incluyendo las dos profundidades del suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).

<b>Factor de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Intercepto	1	100.77	0.0000
Condición de severidad	3	3.11	0.066
Error	12		

**Apéndice 4.** ANOVA de una vía de la densidad de plántulas, incluyendo las dos profundidades de suelo, en las cuatro condiciones de severidad de incendio en el bosque de Pino del paraje El Fresno. Se incluye el factor de variación con los valores de los grados de libertad, el estadístico F y la probabilidad (P).

<b>Factor de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Intercepto	1	34.87	0.0000
Condición de severidad	3	3.22	0.0610
Error	12		

**Apéndice 5.** Estudios sobre banco de semillas por métodos de emergencia de plántulas y/o tamizado de semillas a diferentes profundidades. En gris claro se muestran los datos de este estudio. En gris medio se muestran los estudios son para bosques templados estudiados bajo diferentes severidades de incendio. En gris oscuro se muestran los estudios del banco de semillas de otros ecosistemas que sufrieron un evento de fuego.

Estudio	Ecosistema	Profundidad	Método	Hábitats	Severidad	Resultados	Evaluación del banco después del incendio
Esta tesis	Bosque de Pino en Morelos, México	6 cm	Emergencia Y tamizado	No quemado y quemados	Severidad baja, media y alta	Riqueza y densidad similar (más alta variabilidad en severidad media)	Dos años después
Ferrandis <i>et al.</i> , 2001	Bosque de Pino en España	10 cm	Tamizaje	Antes y después del fuego	Fuego experimental de baja severidad	Riqueza y densidad de semillas no disminuyeron después de un incendio	Inmediatamente después
Konsam y Phartyal, 2020	Bosque de Pino en la India	9 cm	Emergencia de plántulas	Sitios quemados contra no quemados	No menciona	Riqueza y abundancia no disminuyó	Inmediatamente después (48 horas)
Keyser, 2012	Bosque de Encino en Estados Unidos	10 cm	Emergencia de plántulas	Antes y después del fuego	Severidad baja	La riqueza sí disminuyó La densidad total y a profundidad fue similar	Inmediatamente después
Maia <i>et al.</i> , 2012	Bosque de Pino en Portugal	6 cm	Emergencia de plántulas	No quemado, bajo consumo de copa (severidad baja-media) y alto consumo de copa (Severidad alta)	Severidad del fuego baja-media y alta	La densidad de plántulas en severidad alta sí disminuyó un 30% con respecto a los sitios no quemados (no hicieron estadística)	Dos semanas después

<b>Estudio</b>	<b>Ecosistema</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Método</b>	<b>Hábitats</b>	<b>Severidad</b>	<b>Resultados</b>	<b>Evaluación del banco después del incendio</b>
Schuler <i>et al.</i> , 2010	Bosque de Encino en Estados Unidos	10 cm	Emergencia de plántulas	Quemados y no quemados	Severidad baja	La riqueza y densidad de plántulas disminuyó	7 años antes de dos incendios experimentales y después de estos.
Ferrandis <i>et al.</i> , 1999	Matorral en España	5cm	Emergencia de plántulas	Antes y después del fuego	Incendio severo	La densidad de plántulas en la capa superior de suelo (0-2 cm), pero no en la capa profunda (2-5 cm)	Dos días después, un año y dos años después.
Naghipour <i>et al.</i> , 2015	Pastizal en Irán	5 cm	Emergencia de plántulas	Quemados y no quemados	Fuego severo	La Riqueza fue igual La Densidad fue mayor en zonas quemadas respecto a no quemadas	1 y 5 años después

# Anexos

**Anexo 1.** Coordenada, altitud, orientación y pendiente de cada parcela de muestreo en el bosque de Pino del paraje El Fresno. La letra A corresponde a las parcelas de severidad alta, B a las de baja, M a las de media y NQ a no quemadas

<b>PARCELA</b>	<b>COORDENADAS</b>	<b>ALTITUD</b>	<b>ORIENTACIÓN</b>	<b>PENDIENTE</b>
		<b>m s. n. m</b>		
<b>A1</b>	18°57'44.6" N 99°18'05.6" O	2101	SO	22°
<b>A2</b>	18°57'47.5" N 99°18'4.4" O	2076	E	23°
<b>A3</b>	18°57'37.9" N 99°18'2.6" O	2037	SO	23°
<b>A4</b>	18°57'40.1" N 99°18'06.3" O	2052	E	23°
<b>A5</b>	18°57'38.1" N 99°18'7" O	2045	SE	27°
<b>M1</b>	18°57'47.7" N 99°17'53.3" O	2065	SO	15°
<b>M2</b>	18°57'45.2" N 99°18'09.6" O	2105	SE	25°
<b>M3</b>	18°57'41.9" N 99°18'08.5" O	1680	E	30°
<b>M4</b>	18°58'00.2" N 99°18'00.3" O	2100	SO	19.4°
<b>M5</b>	18°58'06.6" N 99°18'06.2" O	2132	S	27.5°
<b>B1</b>	18°58'19.1" N 99°18'9.7" O	2234	SO	13°
<b>B2</b>	18°57'50.1" N 99°18'15.6" O	2088	O	23°
<b>B3</b>	18°57'46" N 99°17'51.2" O	1696	SE	14.5°
<b>B4</b>	18°57'53" N 99°17'51.6" O	2072	E	25°

<b>B5</b>	18°58'10.8" N 99°18'16.1" O	2173	SO	13°
<b>NQ1</b>	18°58'44.8" N 99°18'24.3" O	2290	SE	13°
<b>NQ2</b>	18°58'51.7" N 99°18'26.5" O	2299	SE	13°
<b>NQ3</b>	18°59'5.2" N 99°18'31.7" O	2364	SE	22.5°
<b>NQ4</b>	18°58'47.9" N 99°18'25.5" O	2302	S	13°
<b>NQ5</b>	18°58'43.4"N 99°18'23.7" O	2281	SE	18°



**Anexo 2.** Almacenamiento de las semillas resultantes del método de tamizaje en el estudio.

A)



B)



C)



D)



**Anexo 3.** Semillas encontradas en el estudio. A) Semillas de *Phytolacca icosandra*. B) Semillas no identificadas. C) Semillas de *Desmodium* sp. D) Semillas de *Crotalaria rotundifolia*.

**A)**



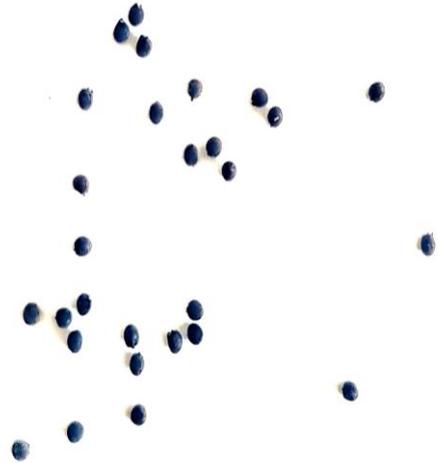
**B)**



**C)**



**D)**



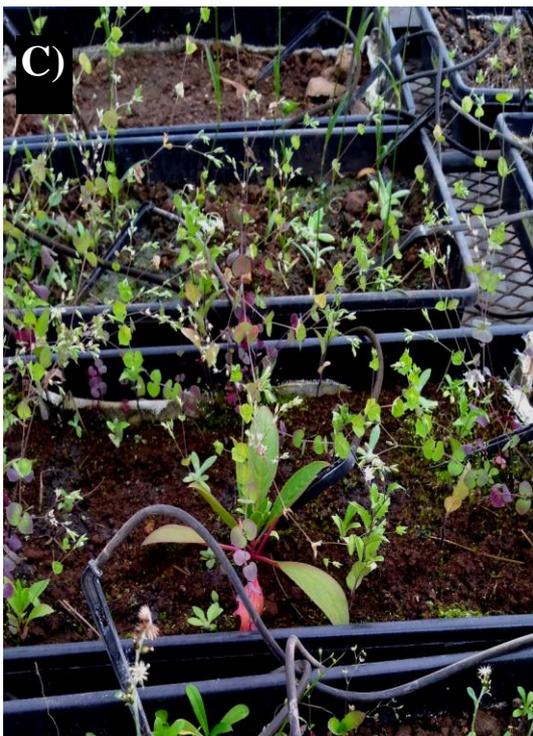
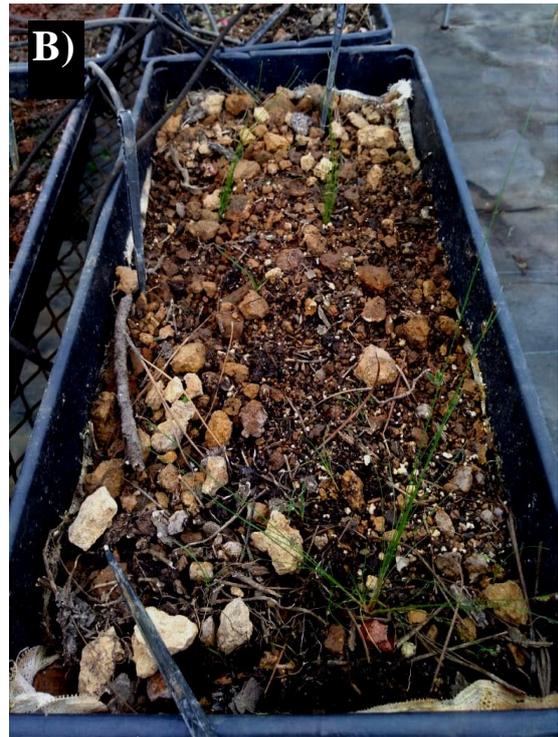
**Anexo 4.** Semillas encontradas en el estudio. A) Semillas no identificadas. B) Semillas de *Mimosa galeottii*. C) Semillas de *Pinus* sp. D) Semillas de *Arenaria* sp.



**Anexo 5.** Muestras de suelo dentro del invernadero. Primer mes del experimento del método de emergencia de plántulas.



**Anexo 6.** Muestras de suelo dentro del invernadero. Tercer mes del experimento del método de emergencia de plántulas.



Anexo 7. A), B), C) Y D) Crecimiento de plántulas en las muestras de suelo.



**Anexos 8.** *Phytolacca icosandra* en las muestras de mantillo dentro del invernadero. Sexto mes del experimento.



Anexo 9. Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Solanum* sp. B) *Phytolacca icosandra*. C) *Borreria ocymoides*. D) *Pinus* sp.



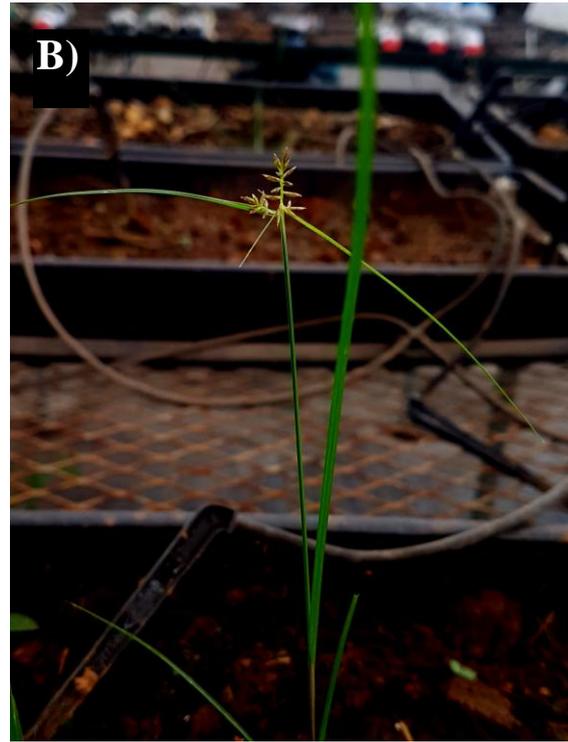
Anexo 10. Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Juncus* sp., B) *Ipomea* sp., C) *Crotalaria rotundifolia*, D) *Castilleja gracilis*.



**Anexo 11.** Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Sonchus* sp., B) *Salvia* sp., C) *Pseudognaphalium* sp., D) *Phytolacca icosandra*.



**Anexo 12.** Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Desmodium* sp., B) *Paspalum* sp., C) *Setaria* sp., D) Poaceae.



**Anexo 13.** Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Pennisetum* sp., B) Poaceae, C) *Oxalis* sp., D) *Mimosa galeotti*.



**Anexo 14.** Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A) *Habenaria crassicornis*, B) *Comellina* sp., C) *Trifolium* sp., D) *Brachystele affinis*.



**Anexo 15.** Plantas observadas en el método de emergencia de plántulas. A,B,C y D especies de Helechos no identificados creciendo en las muestras de suelo..

