



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

ÁREA DE BIOLOGÍA DE SUELOS

**Efecto del fuego sobre la diversidad de Hongos
Ectomicorrízicos y el micelio externo del Bosque de
Pinus hartwegii Lindl. en el Parque Nacional Izta-Popo**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

MARÍA DEL ROSARIO CARDOSO VILLANUEVA

Directora de Tesis: M. en C. María de Jesús Sánchez Colín

Noviembre 2011





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos

Gracias, a mis Sinodales: M. en C. Armando Cervantes Sandoval, M. en C. María de Jesús Sánchez Colín, Biól. Elvia García Santos, M. en C. Bárbara Susana Luna Rosales y Dr. Gerardo Cruz Flores, por el tiempo otorgado para la revisión de este trabajo.

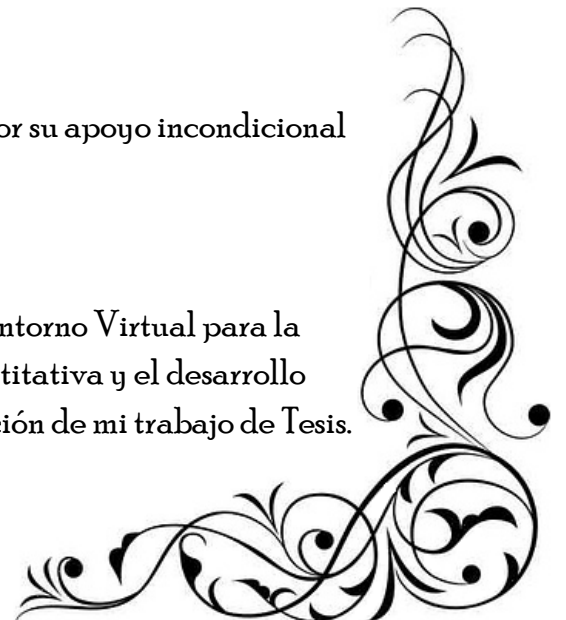
Gracias, a la Maestra María de Jesús, por permitirme realizar este trabajo bajo su dirección, por compartir gran parte de sus conocimientos conmigo y por formar parte importante de mi vida académica.

Gracias, al Maestro Armando, por todos los conocimientos otorgados y por su apoyo e interés en que lograra cosas importantes durante la Carrera.

Gracias, a los compañeros del Laboratorio de Biología de Suelos, por su ayuda para la realización de mi trabajo y por todos los momentos divertidos.

Gracias a mi familia, amigos y seres queridos, por su apoyo incondicional durante toda mi vida.

Gracias, al proyecto PAPIME PE200810, Entorno Virtual para la enseñanza-aprendizaje de la Ecología Cuantitativa y el desarrollo sostenible, por la beca otorgada para la realización de mi trabajo de Tesis.



Dedicatoria

A mis papás, Roberta y Froylán, por todo el esfuerzo que han hecho, por todos sus sacrificios para que pudiera llegar hasta donde estoy ahora, Muchas Gracias, me siento muy orgullosa de ustedes.

A mis hermanos, Bibi, Bety, Froy y Eri, por apoyarme en cada momento de mi vida, y por ser tan pacientes conmigo.

A mis niños, Arantxa, Lalito, Gabriel y Paquito, los quiero mucho mis latositos, por ustedes y para ustedes quiero hacer muchas cosas más.

A mis amigos, Violeta, Kari, Tania, Natalie, Pau, Clau, Rocío, Carlos y Omar, por estar conmigo en cada momento especial que viví durante mi estancia en la Carrera, gracias por formar parte de mis logros, locuras y aventuras, sin su apoyo me hubiera resultado imposible realizar este sueño.

A Jahir, por ser desde hace tiempo mi inspiración para todas las cosas que hago y quiero hacer, muchas gracias por estar conmigo, por ayudarme e impulsarme a lograr lo que me propongo.

A la Maestra Chuy, por apoyarme y ayudarme a concluir este trabajo, gracias por ser parte de la etapa más bonita de mi Carrera.



ÍNDICE GENERAL

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Justificación	5
4. Marco Teórico	6
4.1. Incendios Forestales	6
4.2. Efecto del fuego en el ecosistema	7
4.3. Degradación del suelo	8
4.3.1. Efecto en las propiedades físicas	9
4.3.2. Efecto en las propiedades químicas	10
4.3.3. Efecto en las propiedades biológicas	11
4.4. Hongos ectomicorrízicos	12
4.4.1. Importancia	15
4.4.2. Beneficios para la planta	15
4.4.3. Beneficios para el suelo	16
4.4.3.1. Micelio y estructura del suelo	16
4.4.4. Importancia ecológica	17
4.4.5. Importancia económica	18
4.4.6. Alimentación	18
4.4.7. Medicina	19
4.5. Aplicaciones biotecnológicas	20
4.6. Efecto del fuego sobre las comunidades ectomicorrízicas	24

5. Zona de Estudio	27
5.1. Características del suelo	28
5.2. Clima	29
5.3. Problemática	29
6. Hipótesis	30
7. Objetivos	30
7.1. General	30
7.2. Particulares	30
8. Métodos	31
8.1. Fase de campo	31
8.1.1. Recolección del suelo	32
8.1.2. Recolección de hongos	33
8.1.3. Estabilidad de agregados	34
8.1.4. Micelio externo (primera parte)	35
8.1.5. Muestreo para cuantificación de hifas	36
8.2. Fase de laboratorio	37
8.2.1. Análisis de suelo	37
8.2.2. Micelio externo (segunda parte)	37
8.2.3. Cuantificación de biomasa de micelio externo	39
8.3. Fase de gabinete	40
8.3.1. Diversidad de especies	40
8.3.2. Análisis estadístico	40

9. Resultados y discusión	41
9.1. Características del suelo	41
9.1.1. Propiedades físicas	41
9.1.2. Propiedades químicas	44
9.2. Diversidad de hongos	47
9.3. Índice de diversidad	55
9.4. Longitud de micelio externo	57
9.5. Cuantificación de biomasa de micelio externo	59
9.6. Estabilidad de agregados	63
9.7. Análisis de correspondencias canónicas	65
10. Conclusiones	67
11. Referencias	68
12. Apéndice 1. Análisis estadístico	75
13. Apéndice 2. Descripción de las especies recolectadas	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del Parque Nacional Izta-Popo.	27
Figura 2.	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> .	28
Figura 3.	Vista de ambas zonas de estudio dentro del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> .	31
Figura 4.	Recolección de muestras compuestas de suelo.	32
Figura 5.	Recolección de esporomas dentro del Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> .	33
Figura 6.	Evaluación de la estabilidad de agregados.	34
Figura 7.	Introducción de las placas de vidrio dentro del suelo para la evaluación de la extensión de hifas.	35
Figura 8.	Muestreo de suelo para la evaluación de la biomasa de micelio a diferentes profundidades.	36
Figura 9.	Evaluación de las placas de vidrio para la extensión de hifas.	38
Figura 10.	Hifas desarrollándose sobre la placa de vidrio.	57
Figura 11.	Observación de hifas participando en la agregación mineral del suelo.	58
Figura 12.	Agregación de partículas minerales por las hifas.	64
Figura 13.	Correspondencias canónicas de los hongos ectomicorrízicos en el estudio	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Especies presentes en la zona de incendio en el mes de agosto	47
Gráfica 2.	Especies presentes en la zona sin incendio en el mes de agosto.	48
Gráfica 3.	Especies presentes en la zona de incendio en el mes de septiembre.	49
Gráfica 4.	Especies presentes en la zona sin incendio en el mes de septiembre.	50
Gráfica 5.	Especies presentes en la zona de incendio en el mes de Octubre.	51
Gráfica 6.	Especies presentes en la zona sin incendio en el mes de Octubre.	51
Gráfica 7.	Número total de especies encontradas en ambas zonas.	52
Gráfica 8.	Especies acumuladas durante el muestreo.	53
Gráfica 9.	Especies nuevas registradas durante el muestreo.	53
Gráfica 10	Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de lluvias.	59
Gráfica 11.	Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de invierno	60
Gráfica 12.	Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de secas.	61
Gráfica 13.	Evaluación del micelio dentro del suelo durante las tres épocas.	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Géneros típicos de Micobiontes y Fitobiontes de zonas templadas y boreales involucradas en simbiosis ectomicorrízicas.	13
Cuadro 2.	Evaluación de los agregados del suelo al saturarlos con agua.	34
Cuadro 3.	Metodologías de evaluación de las características físicas y químicas del suelo.	37
Cuadro 4.	Resultados de las determinaciones físicas realizadas a los suelos de las zonas de muestreo.	43
Cuadro 5.	Resultados de las determinaciones químicas realizadas a los suelos de las zonas de muestreo.	46
Cuadro 6.	Especies registradas en el estudio.	54
Cuadro 7.	Valores utilizados para calcular el Índice de Shannon-Weaver.	55
Cuadro 8.	Valores obtenidos para cada zona de acuerdo al índice de diversidad.	56
Cuadro 9.	Valores promedio de la longitud de micelio externo durante las tres épocas de muestreo.	58
Cuadro 10.	Estabilidad de agregados registrada en ambas zonas durante el muestreo.	63
Cuadro 11.	Valores obtenidos en la correlación canónica para las especies presentes en el muestreo.	65

1. RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis en una zona del Bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Nacional Izta-Popo durante los años 2009 y 2010. Se trazaron dos cuadrantes permanentes de 100 m², el primero en un área afectada por un incendio ocurrido en el año 2003 y el otro en una zona sin afectación, lo anterior con el fin de comparar el efecto del fuego sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo de este bosque. En cuanto a las propiedades físicas y químicas del suelo, se registraron características típicas de un suelo Andisol, como son: una textura arenosa, un pH ácido y un alto contenido de materia orgánica. Para las propiedades biológicas, al evaluar la riqueza de especies, se registraron un total de 30 especies: 24 en la zona sin incendio y 8 presentes en la zona incendiada, de las cuales se comparten dos: *Amanita caesarea* y *Laccaria laccata*.

Se llevó a cabo un análisis de la biomasa y la extensión del micelio externo durante tres épocas de muestreo: lluvias, invierno y secas. Para los resultados de la biomasa presente de micelio externo en cada zona, se aplicó un análisis estadístico que en primera instancia señala que el micelio externo se distribuye de manera homogénea dentro de los primeros 15 cm del suelo. Se observó una diferencia estadística significativa en cuanto a la cantidad de biomasa de la zona sin incendio de la época de lluvias con respecto a la biomasa de la zona incendiada durante la época de secas, siendo más abundante la de la zona sin incendio. En cuanto a la extensión de hifas se cuantificó una mayor área cubierta con micelio en la zona sin incendio, durante las tres épocas de muestreo. Para la estabilidad de agregados, se registró una agregación alta para ambas zonas de estudio, lo cual es debido al contenido de materia orgánica presente en los Andisoles. Con lo anterior se concluye que el incendio aunque no reflejó cambios importantes en las propiedades físicas y químicas del suelo, si produjo cambios en las características biológicas, ya que se presentó una menor riqueza de especies ectomicorrízicas en la zona afectada y un menor contenido de micelio externo.

2. INTRODUCCIÓN

Los incendios constituyen uno de los factores perturbadores más importantes y activos en los ecosistemas forestales que afectan los bosques del mundo, teniendo mayor magnitud en países en vías de desarrollo como México (Pérez *et al.*, 2009). Estos eventos traen consigo efectos negativos para los ecosistemas tales como: pérdida de biodiversidad, modificación del paisaje, reducción del área de captación de agua de lluvia, migración o muerte de fauna silvestre, contaminación del aire, y degradación de los suelos, afectando algunas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, estos eventos también pueden producir efectos positivos beneficiando a algunos ecosistemas para su regeneración y también se propicia la inmediata disponibilidad de algunos nutrientes contenidos en las cenizas de los residuos orgánicos (Capulín *et al.*, 2010).

Después de un incendio existe una desprotección del suelo a causa de la desaparición de la vegetación, y un cambio de textura que puede tener consecuencias directas en la estabilidad estructural del suelo (Ubeda y Sala, 1996). El fuego, también, disminuye la formación de macroagregados, debido a que se produce la pérdida de materiales agregantes de origen orgánico, por la combustión. Por otra parte, los incendios contribuyen en la formación de suelos hidrófobos, puesto que las sustancias hidrofóbicas no humificables procedentes de la descomposición de la materia orgánica se volatilizan, condensándose sobre las partículas del suelo, propiciando una unión no estable, ya que no permite la entrada de agua (Pérez *et al.*, 2009).

En el ecosistema forestal, los hongos intervienen en la renovación de la biomasa y los ciclos de nutrientes, así como en las relaciones de competencia o cooperación

que se establecen entre las plantas. Estas relaciones se llaman micorrizas y resultan de la asociación mutualista entre las raíces de las plantas y hongos del suelo, en la que ambos participantes obtienen beneficios. En esta relación las células del hongo forman una red alrededor de la raíz, lo que facilita a la planta la captación de nutrimentos del suelo como fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y azufre. A su vez la planta le proporciona al hongo los productos de la fotosíntesis y un medio que lo protege de las comunidades de microorganismos patógenos del suelo como algunas bacterias, hongos y actinomicetos que rodean a la raíz. Debido a esto, las plantas son más competitivas, capaces de tolerar más el estrés ambiental, tienen mayor eficiencia de absorber nutrimentos del suelo y mayor capacidad de retener la humedad en condiciones de sequía, por lo que se determina en gran medida el mantenimiento ecológico de las comunidades forestales. Las micorrizas que se forman en latifoliadas se llaman endomicorrizas, y las que se asocian con coníferas se denominan ectomicorrizas (Cruz, 1999; Quiñonez, 2007). Para las especies arbóreas de interés forestal el tipo de micorriza más importante es el conocido como ectomicorriza, ésta se desarrolla en las raíces cortas y absorbentes del sistema radical de unas 450 especies vegetales. Muchos de los factores físicos o químicos que afectan a la productividad y sanidad de los bosques, afecta también a los hongos ectomicorrízicos (HECM) y al establecimiento de la simbiosis con los árboles. La reintroducción o restablecimiento de los hongos ectomicorrízicos debe tenerse especialmente en cuenta al abordar la reforestación o revegetación de una zona afectada por algún proceso de erosión o degradación del suelo (Pera y Parladé, 2005), ya que, los hongos micorrízicos ayudan a mejorar la estructura y fertilidad del suelo, al unir las partículas con sus hifas fomentando su agregación y en consecuencia la adecuada proporción de microporos y macroporos, la cual optimiza la circulación de oxígeno, del agua y de los nutrimentos, así como la penetración de las raíces de las plantas. Actualmente, es mucho el interés de incorporar a los hongos micorrízicos como un elemento biotecnológico, capaz de

mejorar el funcionamiento de los sistemas de producción agrícola, forestal, hortícola, frutícola y ornamental, debido al incremento en la cantidad y en la calidad de las cosechas obtenidas, así como a la reversión del impacto ambiental negativo que ocurre tras la incesante contaminación de los suelos, del aire o de los cuerpos de agua derivada del uso excesivo de los fertilizantes y plaguicidas (Zulueta *et al.*, 2007).

Un criterio recomendado al seleccionar las especies a emplearse como fuente de inóculo ectomicorrízico, es la comestibilidad de las mismas. En México, se conocen más de 200 especies de hongos comestibles silvestres. Más de 100 de estas especies son objeto de autoconsumo, principalmente en la población rural del país; y más de 10 de ellas, tienen un alto valor en los mercados internacionales en Estados Unidos, Canadá y diversos países europeos y del sureste asiático (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). Estos hongos además de presentar importancia económica elevada debido a su recolecta, también pueden superar a los beneficios económicos obtenidos de la madera (Fernández *et al.*, 2007).

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de este trabajo permitirá conocer datos actuales sobre la diversidad de HECM presentes en el Parque Nacional Izta-Popo, ya que hasta el momento existen trabajos que reflejan la diversidad de ectomicorrizas presentes en el bosque de *Pinus hartwegii* Lindl., sin embargo no se han realizado estudios que establezcan las diferencias entre diversidad de especies que existen entre una zona con incendio y una sin incendio. En cuanto a la evaluación de la biomasa del micelio externo, el estudio permitirá relacionar esta evaluación con el grado de estabilidad de agregados del suelo, ya que el micelio externo juega un papel importante en la agregación de las partículas minerales del suelo, lo que confiere mejores condiciones de aireación y drenaje, que son necesarias para el desarrollo de la biota edáfica y las plantas. Otro punto importante es conocer las especies de HECM dominantes en esta zona del Parque Nacional Izta-Popo, ya que como se encuentra deforestada por el incendio, al conocer las especies de ectomicorrizas, se puede trabajar en un futuro en la elaboración de inóculos nativos, para lograr el establecimiento de las plantas de *Pinus hartwegii*, y así reforestar esta zona del Parque.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. INCENDIOS FORESTALES

Los incendios constituyen uno de los factores perturbadores más importantes y activos en los ecosistemas forestales que afectan los bosques del mundo, teniendo mayor magnitud en países en vías de desarrollo como México, donde este fenómeno ocupa el tercer lugar como causal de los procesos de deforestación (Pérez *et al.*, 2009).

En México, los incendios forestales son disturbios frecuentes, estos aumentan la disponibilidad de algunos elementos en suelo y provocan la pérdida de otros, alterando la dinámica normal de la vegetación. Más del 90% de los incendios son de tipo superficial y alcanzan temperaturas entre los 200 y 300°C; su extensión e intensidad dependen de las condiciones ambientales, topografía, cantidad y características de combustibles presentes en el sitio (Capulín *et al.*, 2010).

En México ocurren un promedio anual de 8,877 incendios registrados sobre una superficie media de 330,384 ha, muchos de estos incendios se presentan en bosques de pino. Uno de estos es el de *Pinus hartwegii* Lindl., especie adaptada al fuego pero que entre otros disturbios humanos, ha sido sometida tanto a un exceso de fuego, relacionado con actividades agropecuarias, como a la falta de este factor ecológico por las actividades de prevención y combate de incendios (Rodríguez *et al.*, 2004).

4.2. Efecto del fuego en el ecosistema

Los incendios forestales son eventos que traen consigo efectos negativos para los ecosistemas tales como: pérdida de biodiversidad, modificación del paisaje, reducción del área de captación de agua de lluvia, migración o muerte de fauna silvestre, contaminación del aire por humo, y degradación de los suelos por efecto del aumento de escorrentía y el alto potencial erosivo del agua. Sin embargo, estos eventos también pueden producir efectos positivos beneficiando a algunos ecosistemas para su regeneración, ya que ayudan a la apertura de conos de los pinos serófitos, también favorecen la penetración de luz en el bosque, por lo que se aumenta la fotosíntesis, y también se propicia la inmediata disponibilidad de algunos nutrientes contenidos en las cenizas de los residuos orgánicos (Capulín *et al.*, 2010).

La magnitud de estos efectos depende del comportamiento del fuego, es decir su intensidad lineal, la velocidad de propagación y el calor liberado por unidad de área. Las magnitudes de estas variables dependen a su vez de factores como el combustible, la topografía y el tiempo atmosférico por lo que las quemaduras prescritas en bosques naturales pueden disminuir el riesgo de incendios por la disminución de la carga de material combustible y también facilitar su regeneración natural (Martínez *et al.*, 2004).

Las quemaduras prescritas o quemaduras controladas se definen como: "Fuego aplicado en forma experta, bajo condiciones específicas de clima, en un lugar definido y para lograr objetivos claramente definidos. Las quemaduras controladas juegan un papel importante para la reducción del peligro de incendios forestales y agrícolas y es el método más económico para el manejo de los mismos (Ladrach, 2009).

En un escenario global de incendios más frecuentes y extensos, debido al cambio climático global y la pobreza en las zonas rurales, la integración de la prevención y el combate de incendios con el manejo comunitario del fuego, con su uso ecológico y silvícola en ecosistemas mantenidos por incendios, buscando la maximización de impactos positivos del fuego (regeneración, crecimiento del arbolado, reducción de combustibles y de peligro de incendio de mayor magnitud) y la minimización de los negativos (mortalidad de árboles, contaminación, erosión, deforestación), conforman el moderno manejo o el manejo integral del fuego (Espinoza-Martínez *et al.*, 2008).

4.3. Degradación del suelo

Como se ha mencionado, el fuego es un factor que modifica algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, durante e inmediatamente después de haber ocurrido éste (Capulín *et al.*, 2010). El efecto del fuego en los suelos depende de la temperatura que éste alcance en la superficie, de las dimensiones individuales de los combustibles, del contenido de humedad y de las condiciones del clima, antes y después del incendio (Pérez *et al.*, 2009). Estos cambios pueden afectar la calidad del suelo, la cual se define como la capacidad de este para funcionar como un ser vivo y vital, dentro de los límites del ecosistema y del uso de suelo (Sáenz, 2006).

En la evaluación de efectos del fuego sobre los parámetros del suelo, es preciso discriminar la intensidad de la quema y condiciones del ambiente en los que se quema, pues el efecto final es el resultado de la concurrencia de múltiples factores y por tanto debe tomarse al fuego como una herramienta cuyos resultados serán benéficos o positivos, así como negativos (González, 2002).

4.3.1. Efecto en las propiedades físicas.

Las propiedades físicas que resultan afectadas son el color, la humedad, la estructura y la textura del suelo (Capulín *et al.*, 2010). Los cambios en las propiedades físicas del suelo después de un incendio forestal, determinan una menor capacidad de infiltración y son responsables del incremento de escorrentía y erosión. Los cambios físicos, en su mayoría, son atribuidos a cambios químicos producidos por el incremento de la temperatura, así como, a la pérdida de materia orgánica (Ubeda y Sala, 1996). La textura del suelo también determina la influencia del fuego sobre la erosión. Los suelos arenosos son vulnerables a la erosión durante lluvias fuertes, aún en pendientes leves, después de haber sido descubiertos por el arado o por quemas. En sitios planos o casi planos las quemas no producen daños cuando las lluvias no son fuertes porque las arenas permiten la penetración rápida del agua (Ladrach, 2009).

Las variaciones producidas en la textura, porosidad y estabilidad estructural tienen repercusiones en la circulación y el estado del agua en el suelo, lo que ocasiona el incremento en la escorrentía. Un cambio en la estructura del suelo puede ser debido a la calcinación de hierro y aluminosilicatos, que ayudan a la agregación de partículas de arcillas, hasta formar partículas de arena. Después de un incendio existe una desprotección del suelo a causa de la desaparición de la vegetación, y un cambio de textura que puede tener consecuencias directas en la estabilidad estructural del suelo. En el suelo de un bosque quemado se observa una disminución de la infiltración cuanto mayor es la intensidad del fuego. La disminución de la capacidad de infiltración podría ser la responsable del incremento de la escorrentía. La causa más importante para la disminución de la infiltración es la hidrofobia de los primeros centímetros del suelo, la cual se establece cuando la temperatura está alrededor de los 300°C (Ubeda y Sala, 1996).

Los incendios juegan un papel importante en la formación de suelos hidrófobos, puesto que las sustancias hidrofóbicas no humificables procedentes de la descomposición de la materia orgánica se volatilizan y pueden difundirse hacia abajo, donde la temperatura es menor, condensándose sobre las partículas del suelo, propiciando una unión no estable, ya que no permite la entrada de agua (Pérez *et al.*, 2009).

También se observa un cambio en la hidrología superficial a causa de la disminución de la capacidad de infiltración de los primeros centímetros del suelo, lo cual provoca un aumento en la escorrentía. Una mayor escorrentía está relacionada con la hidrofobicidad del suelo, menor infiltración y formación de costras en la superficie del suelo. La intensidad del fuego es un factor determinante en las tasas de escorrentía y erosión, en zonas de baja intensidad, la hojarasca juega un papel determinante, ya que evita la escorrentía y el impacto directo de la lluvia contra el suelo. Cuando la intensidad es media, la escorrentía y la erosión decrecen gradualmente con el tiempo, mientras que cuando la intensidad es alta, aparecen picos de erosión, incluso ocho meses después del incendio (Ubeda y Sala, 1996).

4.3.2. Efecto en las propiedades químicas.

Los incendios también alteran propiedades químicas, como el pH, ya que la incorporación de la ceniza al suelo produce un aumento de esta propiedad (Pérez *et al.*, 2009). La cantidad de Materia orgánica y Nitrógeno total, se reduce en más de un 50%, sin embargo esto depende de la intensidad del incendio (Capulín *et al.*, 2010). Por otra parte la materia orgánica es fuente importante de Fósforo y Azufre y la única fuente de Nitrógeno en el suelo, por lo que su pérdida es de gran importancia. Aunque el contenido de materia orgánica en el suelo es pequeño (3-5%), su influencia sobre las propiedades del suelo es muy grande (Buckman y Brady, 1991).

La combustión de la materia orgánica (necromasa o biomasa), produce asociado al efecto de cama de cenizas, sustancias orgánicas hidrofóbicas que pueden producir capas de acumulación a modo de horizontes los cuales disminuyen la infiltración (González, 2002). La movilización térmica de lípidos, unida a la descarboxilación y condensación de los polímeros del humus pueden conducir a la aparición de los procesos de repelencia al agua y disminución de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por el fuego (Almendros *et al.*, 1989). Generalmente después de un incendio se registra un incremento en nutrientes asimilables como el Calcio, Magnesio y Fósforo (Pérez *et al.*, 2009).

4.3.3. Efecto en las propiedades biológicas.

Los microorganismos juegan un papel fundamental en la sustentabilidad de los diferentes ecosistemas, desarrollando funciones esenciales como el ciclado de nutrientes para el crecimiento de las plantas, formación de humus del suelo, mejora de las propiedades físicas del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad de los ecosistemas (Alvear *et al.*, 2007). Debido a que la biomasa microbiana (hongos, bacterias y algas) es parte de la materia orgánica del suelo y depende en gran medida de ella, también resulta afectada cuando ocurre un incendio, observándose una reducción de su tamaño, un empobrecimiento de especies y una reducción en sus capacidades catalíticas (Durán *et al.*, 2004). La materia orgánica es la principal fuente de energía para los microorganismos del suelo y sin esta la actividad bioquímica sería prácticamente nula (Buckman y Brady, 1991). Los hongos parecen ser la población más afectada por el fuego probablemente por su mayor sensibilidad a la temperatura y pH altos, sin embargo estos daños generalmente se producen en estructuras miceliales, ya que las estructuras de resistencia (propágulos, esporas) no se ven drásticamente afectados (Sáenz, 2006).

4.4. HONGOS ECTOMICORRÍZICOS

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se desarrollan entre la mayoría de las plantas vasculares y algunos tipos de hongos. Se piensa que las micorrizas desempeñaron un papel muy importante en la colonización de las primeras plantas a los hábitats terrestres (Pérez-Moreno y Read, 2004). Los hongos micorrízicos no pueden crecer y reproducirse en el suelo a menos que estén asociados simbióticamente con las raíces de las plantas, aunque pueden sobrevivir en estado latente sin el hospedero (Cruz, 1999).

Existen dos tipos principales de micorrizas, las denominadas endomicorrizas, y las ectomicorrizas. Las endomicorrizas establecen sus hifas dentro de las células vivas de las raíces de las plantas. Por otra parte, las ectomicorrizas desarrollan sus hifas como un manto alrededor de los tejidos superficiales de las raíces, con hifas intercelulares, que forman la Red de Hartig (Futai *et al.*, 2008). Para las especies arbóreas de interés forestal el tipo de micorriza más importante es el conocido como ectomicorriza, ésta se desarrolla en las raíces cortas y absorbentes del sistema radical de unas 450 especies vegetales. Desde el punto de vista ecológico las ectomicorrizas son las que tienen mayor importancia. Debido a la variedad de vegetación, los hongos ectomicorrízicos (HECM), colonizan un gran número de Familias de plantas (Fitobiontes), generalmente las Familias de *Pinacea*, *Fagacea*, *Betulacea*, *Rosacea*, *Mimosacea*, *Salicacea*, que se localizan principalmente en climas fríos y templados. Los hongos formadores de ectomicorrizas (Micobiontes) pertenecen a los Basidiomycotina, Ascomycotina, Zygomycotina, y Deuteromycotina e incluyen muchas de las especies (Cuadro1), tanto epigeas como hipogeas, comunes en los bosques (Pérez-Moreno y Read, 2004; Pera y Parladé, 2005).

Cuadro 1. Géneros típicos de Micobiontes y Fitobiontes de zonas templadas y boreales involucradas en simbiosis ectomicorrízicas (Pérez-Moreno y Read, 2004).

Micobiontes	Fitobiontes
Basidiomycotina	
<i>Alpova, Amanita, Astraeus, Boletus, Cantharellus, Cortinarius, Entoloma, Gastroboletus, Gaeuteria, Gomphidius, Hebeloma, Hygrophorus, Hymenogaster, Hysterangium, Inocybe, Laccaria, Lactarius, Leccinum, Martellia, paxillus, Pisolithus, Rhizopogon, Rozites, Russula, Scleroderma, Suillus, Tylopilus, Tricholoma, Xerocumus</i>	<i>Abies, Alnus, Betula, Corylus, Eucalyptus, Fagus, Larix, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Tsuga</i>
Ascomycotina	
<i>Balsamia, Elaphomyces, Genea, Geopora, Helvella, Hydnotria, Sphaerosporella, Tuber</i>	<i>Abies, Betula, Corylus, Eucalyptus, Fagus, Larix, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Tsuga</i>
Zygomycotina	
<i>Endogone</i>	<i>Eucalyptus, Pinus, Pseudotsuga</i>
Deuteromycotina	
<i>Cenococcum</i>	<i>Abies, Larix, Pinus, Polygonum, Pseudotsuga</i>

De manera general, el Phylum Ascomycota, incluye tanto especies parásitas, como especies importantes en la medicina y la agricultura. Los Ascomicetos se caracterizan por tener un micelio haploide que produce esporas asexuales, y por la formación de esporas sexuales dentro de una estructura llamada asca (Deshmukh, 2005). Algunos géneros de Ascomicetos que forman ectomicorrizas son *Balsamia*, *Cenococcum*, *Tuber*, entre otros (Sánchez-Colín, 2005).

El Phylum Basidiomycota es un grupo extremadamente diverso, tanto en taxonomía, morfología y ecología. Este grupo se caracteriza por la formación de esporas sexuales dentro de una estructura denominada basidio (Deshmukh, 2005). Los géneros de hongos basidiomicetes que generalmente forman Ectomicorrizas son: *Amanita*, *Boletus*, *Leccinium*, *Suillus*, *Hebeloma*, *Gomphidius*, *Thelepora*, *Paxillus*, *Lactarius*, *Russula*, *Laccaria*, *Pisolithus*, *Scleroderma*, entre otros (Sánchez-Colín, 2005).

El Phylum Zygomycota presenta una extremada diversidad ecológica, ya que las especies pertenecientes a este desempeñan un gran número de papeles en el ecosistema. Esto debido a que el Phylum incluye especies saprobias, entomopatógenas, microparásitas obligadas, simbioses de larvas de insectos y simbioses endo y ectomicorrízicos de plantas vasculares (Deshmukh, 2005).

Las estructuras diagnósticas de la ectomicorriza son: el manto fúngico, la Red de Hartig y el micelio externo. El micelio externo es una de las estructuras biológicas más interesantes, porque constituye una relación vital entre las raíces de las plantas y el suelo. Sin embargo no se han realizado estudios suficientes que destaquen su importancia, lo cual puede ser debido a que esta estructura es la parte más difícil de examinar y manipular experimentalmente (Pérez-Moreno y Read, 2004).

4.4.1. Importancia

Los hongos parásitos, saprófitos y micorrízicos juegan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas y son, en ocasiones, un elevado baluarte del recurso forestal (Fernández *et al.*, 2007). Las ectomicorrizas son importantes en diferentes aspectos, ya que son muy útiles para las plantas, para el ecosistema del suelo y también tienen un valor socioeconómico (Sánchez-Colín, 2005).

4.4.2. Beneficios para la planta

Los beneficios que la ectomicorriza proporciona a la planta son múltiples, algunos ejemplos de estos son: La adquisición de nutrimentos en formas químicas que la planta no puede absorber, especialmente Nitrógeno y Fósforo. Permite que las raíces colonizadas tengan mayor capacidad de resistir los patógenos del suelo como parásitos, hongos y nemátodos (Odum, 2006). Por otra parte, las hifas pueden ayudar a la germinación de las semillas de los árboles dominantes y también participan en la conexión entre arboles de la misma o de diferentes especies (Sánchez-Colín, 2005).

En los ecosistemas naturales sin perturbar, la presencia de una asociación micorrízica no sólo influye sobre la habilidad de la planta hospedera para utilizar con mayor eficacia el agua y los nutrimentos almacenados en el suelo, sino que los especímenes vegetales que forman micorrizas (especies micotrófas) tienden a ser más competitivas, y por lo tanto, aseguran su permanencia dentro del ecosistema, en comparación con otras especies donde no se entabla este tipo de asociación (Zulueta *et al.*, 2007).

4.4.3. Beneficios para el suelo

La ectomicorriza también desempeña algunas funciones importantes dentro del suelo, entre las cuales están: Ayudar a impedir la pérdida de nutrimentos en el medio, especialmente cuando las raíces están inactivas. También, desempeñan un papel importante para mejorar la estructura del suelo y son considerados como el agente biológico más importante para la agregación de la mayoría de los suelos (Odum, 2006). Esto porque las hifas contribuyen a la agregación de las partículas minerales. Por otra parte, contribuyen al almacenaje de carbono en el suelo, alterando la cantidad y características de la materia orgánica. (Sánchez-Colín, 2005). Como degradadores, los hongos son los principales agentes de la descomposición de restos orgánicos y del reciclaje de nutrimentos en los bosques. Se estima que el 95% del metabolismo heterotrófico es generado por los organismos degradadores dentro de los cuales los hongos contribuyen con el 90% del total (Villareal-Ruíz, 1996).

4.4.3.1. Micelio y estructura del suelo

El micelio externo mejora las condiciones físicas del suelo favoreciendo la agregación, al generar redes indispensables para la formación de macroagregados (Paz, 2007). La formación de agregados estructurales en los suelos tiene una enorme importancia en muchas de sus propiedades y en las relaciones suelo-planta. La resistencia a la erosión, la aireación, la permeabilidad, la facilidad de penetración de las raíces, son algunas de las más importantes características, en donde la estructura del suelo manifiesta su incidencia (Ford, 1984).

La estructura del suelo hace referencia a los arreglos tridimensionales de los complejos orgánicos y minerales para la formación de agregados y espacios porosos. Los agregados del suelo se pueden dividir de acuerdo a su tamaño en los siguientes: Microagregados ($< 250 \mu\text{m}$) y Macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$). Las micorrizas favorecen la agregación del suelo a diferentes niveles, a nivel de comunidad de plantas, a nivel individual tomando en cuenta las raíces y a nivel del micelio en el suelo. La influencia del micelio para la agregación del suelo se puede dividir en procesos biofísicos, bioquímicos y biológicos. En cuanto a los procesos biofísicos se observa una agregación más favorable entre las partículas del suelo. Para los procesos bioquímicos se puede presentar la secreción de sustancias, por ejemplo la glomalina, en el caso de Micorriza arbuscular; la cual permite que las partículas del suelo se adhieran. En referencia a los biológicos, se observa que el micelio de los hongos influye en las comunidades microbianas (Rillig & Mummey, 2006).

4.4.4. Importancia ecológica

En el ecosistema forestal, los hongos intervienen en la renovación de la biomasa y los ciclos de nutrientes, así como en las relaciones de competencia o cooperación que se establecen entre las plantas por la captación de agua y nutrientes (Pera y Parladé, 2005).

Debido a que se establece una relación muy estrecha entre los simbiositos, las plantas asociadas desarrollan una dependencia, ocasionando que la ectomicorriza sea una relación obligada. Géneros completos de árboles, que cubren áreas muy extensas en el planeta, no sobrevivirían en condiciones naturales en ausencia de la simbiosis ectomicorrízica. (Pérez-Moreno y Read, 2004).

La importancia ecológica de la asociación ectomicorrízica, se fundamenta en que mejora la capacidad de la planta para la adquisición de nutrimentos minerales y agua del suelo, en la reducción de la toxicidad de metales pesados y otros contaminantes, en el aumento de la resistencia de las plantas a patógenos, y en el incremento en el crecimiento de las plantas (Carrera y López, 2004). También al favorecer la estructura del suelo, permite que las raíces de las plantas penetren fácilmente y que el agua se filtre de una mejor forma (Odum, 2006).

El impacto de los grupos de hongos que se desarrollan en los ecosistemas forestales sobre los procesos biogeoquímicos, depende de las características biológicas tan peculiares que les permiten ser eficientes catalizadores ya que aceleran o restringen los ciclos de los nutrimentos. Los procesos bioquímicos donde los hongos actúan como catalizadores son diversos, tales como: a) mineralización-inmovilización; b) óxido-reducción; c) volatilización- fijación; y d) precipitación-solubilización. Dichas actividades incluyen diversos ciclos entre los que destaca el del carbono, además de otros elementos minerales como: el nitrógeno, fósforo, azufre y boro (no metálicos); potasio, calcio y manganeso (metales ligeros) y los metales pesados: hierro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno (Villarreal-Ruíz, 1996).

4.4.5. Importancia económica

4.4.6. Alimentación

Los hongos ectomicorrízicos comestibles comprenden un grupo específico de especies que forman asociaciones simbióticas con sus plantas hospedantes, éstos presentan una importancia económica elevada debido a su recolecta, que en

ocasiones puede superar a los beneficios de la madera (Fernández *et al.*, 2007). En lo que respecta a México, el uso y comercialización de los hongos silvestres comestibles forma parte de un patrón de subsistencia ancestral que está principalmente arraigado en el centro y sureste del país. A pesar de que actualmente se desconoce con exactitud el número de especies de hongos comestibles silvestres de México, se sabe que al menos 204 especies son consumidas en el país. De ellas al menos 50% son comercializadas en mercados tradicionales. Los hongos silvestres comestibles constituyen actualmente, un importante recurso forestal no maderable de enorme importancia ecológica en los ecosistemas en los cuales prosperan y de gran importancia social para las comunidades aledañas a dichas áreas (Pérez-Moreno, *et al.*, 2010).

4.4.7. Medicina

A nivel mundial se conocen más de 500 especies de hongos silvestres a los cuales se les han atribuido propiedades medicinales, debido a la producción de algunos metabolitos. Dentro de dichas especies se incluyen diversos hongos comestibles tales como *Lentinula edodes* ("shiitake"), *Tremella fueiformis* (oreja plateada), *Grifola frondosa* ("maitake") y *Schizophyllum commune* (presente en regiones tropicales de México). Los efectos atribuidos a dichos hongos, han sido principalmente anti-inflamatorios, antihipertensivos, cardiotónicos, antivirales (incluso contra el VIH) y estimulantes del sistema inmunológico. El país en donde existe una mayor acumulación de conocimiento tradicional relacionado con las propiedades terapéuticas de los hongos silvestres comestibles es China. A pesar de que el conocimiento tradicional vinculado con los hongos silvestres medicinales en México ha sido escasamente explorado, existen diversas especies (más de 70) que son utilizadas en el país de manera tradicional por sus propiedades terapéuticas, algunas de las especies de hongos silvestres utilizadas en México son las

siguientes: *Calvatia cyatiformis*, *Pyanoporus cinnabarinus*, *P. sanguineus*, *Psilocybe aztecorum* var. *aztecorum*, *Schizophyllum commune* y *Ustilago maydis*. Existe un profundo interés en el estudio de los hongos medicinales. El estudio de los hongos medicinales en México, constituye una de las áreas de investigación más atractivas en el país (Pérez-Moreno *et al.*, 2010).

4.5. Aplicaciones biotecnológicas

En la actualidad es mucho el interés de incorporar a los hongos micorrízicos como un elemento biotecnológico, capaz de mejorar el funcionamiento de los sistemas de producción agrícola, forestal, hortícola, frutícola y ornamental, debido al incremento en la cantidad y en la calidad de las cosechas obtenidas, así como a la revisión del impacto ambiental negativo que ocurre tras la incesante contaminación de los suelos, del aire o de los cuerpos de agua derivada del uso excesivo de los fertilizantes y plaguicidas (Zulueta *et al.*, 2007).

La producción de inoculantes con base en hongos ectomicorrízicos, ha cobrado una enorme importancia a nivel mundial por diversas razones, dentro de las que se incluyen de manera importante las siguientes: 1) Existe una búsqueda de tecnologías que originan un menor deterioro ambiental, y se ha intentado buscar alternativas biológicas, al utilizar microorganismos benéficos importantes para la nutrición vegetal y evitar así la utilización excesiva de fertilizantes químicos. 2) Se ha demostrado que los hongos ectomicorrízicos juegan un papel importante tanto en la nutrición de las plantas como en su protección contra patógenos. 3) Estudios básicos en el último siglo permiten cultivar algunos hongos ectomicorrízicos en medios sintéticos, lo que facilita su manipulación. Así, a la fecha, la producción de inoculantes basados en hongos ectomicorrízicos ha cobrado una enorme

importancia en los países con tradición forestal, como Suecia, Finlandia, Canadá y Estados Unidos. En países como México, este tipo de acercamiento se encuentra en desarrollo y posee un enorme potencial (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). En muchos viveros es necesaria la introducción de hongos ectomicorrízicos ya que no cuentan con una población natural de hongos adecuada (Pera y Parladé, 2005). La micorrización controlada en viveros es una operación hoy en día necesaria para obtener buenos resultados, y para que un programa sea eficaz se necesita utilizar hongos que sean competitivos tanto en vivero, como en el campo. Se ha demostrado la efectividad de la inoculación con micorrizas en numerosos cultivos y regiones. El factor a tener en cuenta es definir las cepas micorrícicas nativas para las inoculaciones de cada especie o cepa, donde se tiene limitaciones ecológicas en las que el comportamiento es el más efectivo, en términos de crecimiento de su hospedante. Si esto no se tiene en cuenta es posible que el hongo inoculado en el vivero sea desplazado en el campo por otros hongos más adaptados al medio (Molina *et al.*, 2005).

La reintroducción o restablecimiento de los hongos ectomicorrízicos debe tenerse especialmente en cuenta al abordar la reforestación o revegetación de una zona afectada por algún proceso de erosión o degradación del suelo. El objetivo principal de la aplicación de técnicas de inoculación con hongos ectomicorrízicos en viveros forestales, es la mejora de la calidad de la planta destinada a la repoblación forestal. Las plantas micorrizadas se desarrollan mejor que las no micorrizadas y además contienen mayores cantidades de los principales nutrientes por unidad de masa. La utilización de planta micorrizada con hongos seleccionados mejora la supervivencia y el crecimiento tras su trasplante en campo (Pera y Parladé, 2005).

Dentro de los hongos ectomicorrízicos se incluyen una gran cantidad de los hongos silvestres comestibles. De las especies de hongos comestibles de México reportadas, alrededor de un 50% son ectomicorrízicas. Las fuentes principales de inóculo ectomicorrízico que han sido utilizadas, se constituían en un inicio, por las esporas o carpóforos ectomicorrízicos molidos, frescos o secos y después por cultivos miceliales (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). Debido al carácter obligatorio de la simbiosis ectomicorrízica con la mayoría de las plantas con las que se establece, desde principios de siglo se ha intentado su inoculación controlada. Para inducir la micorrización en especies de importancia forestal, se han utilizado principalmente tres tipos de inóculo, que a continuación se describen:

1) Tierra de monte: Las capas superficiales del suelo forestal (primeros 10 cm) se han utilizado por mucho tiempo como fuente de inóculo ectomicorrízico, y esta es la que tradicionalmente es utilizada en México (Pérez-Moreno *et al.*, 2010).

2) Esporas de hongos ectomicorrízicos: La esporas de hongos ectomicorrízicos se han usado ampliamente en la producción de las plantas, para lo que se utilizan los cuerpos fructíferos. La abundancia de esporomas de algunas especies fúngicas, y la capacidad colonizadora de sus esporas a concentraciones relativamente manejables, permiten usarlos como inóculo ectomicorrízico a gran escala para la micorrización controlada en vivero. La aplicación de preparados de esporas fúngicas, obtenidas a partir de cuerpos fructíferos recolectados en bosques o plantaciones, no precisa de una fase de crecimiento miceliar en cultivo puro y su aplicación en viveros resulta sencilla (Chávez *et al.*, 2009).

3) Micelio de hongos ectomicorrízicos: Esta es una de las fuentes de inóculo que han recibido mayor atención en las últimas décadas. El micelio fúngico producido en condiciones de cultivo estériles puede utilizarse directamente como inóculo o puede mezclarse con diversos “acarreadores” inertes como granos de cereales, mezclas de turba o vermiculita o arcillas. Sin embargo, esta técnica es de alto costo (Chávez *et al.* 2009, Pérez-Moreno *et al.*, 2010).

Una correcta dosificación del inóculo no sólo es necesaria para que la aplicación comercial de la micorrización controlada en vivero sea económicamente viable, si no que puede permitir la combinación de más de una especie fúngica para obtener plantas asociadas simbióticamente con distintos hongos al mismo tiempo (Pera y Parladé, 2005).

Independientemente de las limitaciones que pudiera tener la producción de inoculantes basados en micelio o esporas de hongos ectomicorrízicos, las ventajas que presentan, originan que esta biotecnología tenga un gran potencial de aplicación en México. La utilización de planta micorrizada puede jugar un importante papel en la reforestación de otras zonas frecuentemente alteradas, por ejemplo zonas afectadas por incendios forestales en las que la regeneración natural es muy baja o nula (Pera y Parladé, 2005). Un criterio recomendado al seleccionar las especies a emplearse como fuente de inóculo ectomicorrízico, es la comestibilidad de las mismas. Según señala Fernández y colaboradores (2007), la producción de especies comestibles se ve beneficiada por el fuego, por lo que si se desarrollara un programa de inoculación con especies de hongos comestibles en las especies de árboles utilizadas en plantaciones forestales o reforestaciones, se podría tener, previo a los aprovechamientos forestales, un producto forestal no maderable de alto valor como alimento (Pérez-Moreno *et al.*, 2010).

4.6. Efecto del fuego sobre las comunidades ectomicorrízicas

El fuego en forma de quemadas prescritas o incendios, representa una fuente importante de disturbio en ecosistemas forestales y puede influir de gran forma en el ambiente de la biota del suelo (Anderson *et al.*, 2007). Los hongos ectomicorrízicos (HECM) son componentes esenciales de las comunidades forestales. Las poblaciones de hongos micorrízicos se ven adversamente afectadas por procesos o actividades que perturban y degradan los suelos, tales como los incendios forestales (Pera y Parladé, 2005). El fuego tiene un impacto importante en la dinámica y sucesión de las comunidades de HECM. Fuegos de baja intensidad, que no provocan el quemado completo de la capa de hojarasca no afectan significativamente a la riqueza de las comunidades de HECM. Sin embargo los fuegos de alta intensidad que provocan una gran mortalidad de especies arbóreas, pueden eliminar la mayoría de HECM del ecosistema afectado (Buscardo *et al.*, 2009). Una alta diversidad de HECM es muy necesaria para mantener la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas forestales y también hace más eficiente la captura de fuentes limitadas de nutrimentos, por lo que se mejora el crecimiento de las plantas (De Bellis *et al.*, 2006).

Las consecuencias de un incendio forestal sobre la población de hongos micorrízicos es difícil de predecir, ya que dependen de numerosos factores. Algunos de estos factores serían: i) la elevación del pH, origina una inhibición de la germinación de esporas antiguas de ectomicorrizas, debido a la adaptación de los hongos a suelos más ácidos, ii) la elevación excesiva de la temperatura del mantillo durante el incendio provoca la inhibición y muerte de las esporas que allí se encuentren, iii) el tipo de terreno en el que se produce el fuego, la composición física y química del suelo, condiciona el efecto del suelo sobre los hongos

micorrízicos, iv) la muerte de los hospedantes a causa del fuego, que conlleva la muerte de los hongos ectomicorrízicos asociados (Martínez de Aragón *et al.*, 2001). La perturbación introducida por el fuego modifica las interacciones competitivas entre las distintas especies de hongos y provoca la colonización de las raíces afectadas por nuevas especies. Cuando la frecuencia de incendios es muy alta, se intensifica la erosión, la pérdida de cobertura vegetal y el empobrecimiento de nutrientes, lo que puede acompañarse de la pérdida de hongos esenciales para el restablecimiento de las comunidades vegetales. La desaparición de la cubierta vegetal, ya sea por causas naturales o debidas a la actividad humana, provoca la desaparición de las poblaciones naturales de hongos micorrízicos (Pera y Parladé, 2005). En situaciones de Fuegos de alta intensidad, la capa de Materia orgánica desaparece, los suelos son parcialmente esterilizados por el calor, y la deposición de ceniza altera el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo cual tiene consecuencias para la estructura y funcionamiento de las comunidades de HECM. En trabajos realizados en bosque de *Pinus ponderosa* afectados por el fuego, se ha observado que la biomasa de hongos ECM disminuye significativamente en los horizontes superiores, que contenían el 73% de la biomasa de hongos micorrízicos antes del fuego, esto debido al impacto que causa este sobre el micelio externo. También, que el fuego tiene un efecto negativo en la diversidad y productividad de la comunidad fúngica y provoca la aparición de esporomas de nuevas especies (Buscardo *et al.*, 2009).

En cuanto a la influencia del fuego en la comunidad fúngica, se ha observado que la riqueza de especies es significativamente mayor en las parcelas quemadas, registrándose un mayor porcentaje de especies saprófitas sobre las ectomicorrízicas (Fernández *et al.*, 2007), los hongos saprófitos pueden verse beneficiados debido a que el incendio les proporciona mucha materia en descomposición de la cual se alimentan (Martínez de Aragón *et al.*, 2001).

Después de un incendio la comunidad de hongos se ve drásticamente reducida y se produce una primera sucesión en las especies que aparecen. El calor originado por el paso del fuego afecta intensamente a los hongos tanto micorrízicos que se encuentran colonizando las raíces más finas del sistema radical de los árboles, como a los saprófitos, ya que ambos tipos de hongos tienden a estar en el estrato superior del suelo. La germinación de ciertas especies saprófitas se ve termoinducida por el fuego, de manera que las esporas de estas especies se activan y comienzan a germinar tras una “conmoción térmica” producida por la elevación de la temperatura debida al fuego. A medida que transcurre el tiempo tras el incendio, se incrementa la complejidad del dinamismo poblacional de los hongos micorrízicos presentes. En los momentos inmediatamente posteriores al incendio, la poblaciones fúngicas micorrízicas son muy limitadas en diversidad y cantidad de propágulos. Ambos factores se incrementan a medida que lo hace la propia vegetación a lo largo del tiempo (Fernández *et al.*, 2007).

El fuego es una de las perturbaciones más frecuentes en el bosque por lo que es importante realizar estudios de impacto sobre el suelo, la vegetación y la diversidad de especies ectomicorrízicas en estos ambientes (Capulín *et al.*, 2010).

5. ZONA DE ESTUDIO

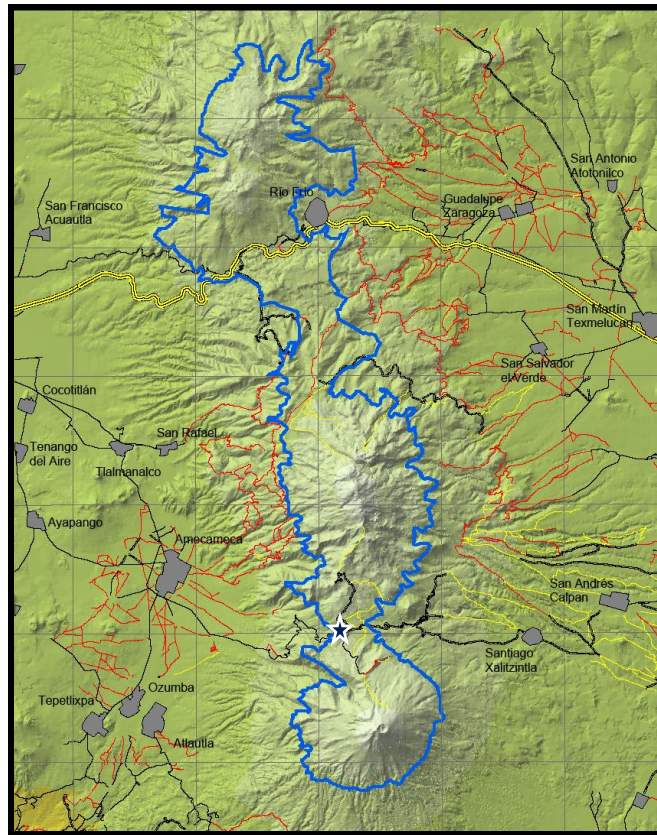


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Izta-Popo, marcando con una estrella el sitio de muestreo

El Parque Nacional Izta-Popo, se encuentra en la parte centro-oriental del Eje Volcánico Transversal (Figura 1). Ocupa parte de la Sierra Nevada en su porción sur y de la Sierra de Río Frío en su porción norte. Se localiza entre las siguientes coordenadas geográficas: límite extremo norte $98^{\circ} 40' 18''$ y $19^{\circ} 28' 2''$; límite extremo oeste $98^{\circ} 46' 40''$ y $19^{\circ} 20' 29''$; límite extremo este $98^{\circ} 37' 28''$ y $19^{\circ} 16' 16''$; límite extremo sur $98^{\circ} 40' 27''$ y $19^{\circ} 14' 36''$. Abarca una superficie de 40,008 hectáreas dividida entre los estados de México, con 28,461 ha (71.14%); Puebla con 11,047 ha (27.61%); y Morelos con 499 ha (1.25%). En él se encuentran la segunda y tercera cumbres más altas de México: el Popocatepetl (5,452 msnm) y la Iztaccíhuatl (5,280 msnm) que dan nombre al Parque Nacional. (Hernández y Granados, 2006).

El estudio se realizó dentro del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Nacional Izta -Popo (Figura 2). Este bosque se establece hacia los 3,600 msnm, el *Pinus hartwegii* es tolerante a las temperaturas bajas, a frecuentes nevadas y probablemente uno de los pinos más adaptados a los incendios superficiales. En las partes bajas a su área de distribución forma rodales abiertos con árboles entre 15 y 20 m de altura, asociados con zacatonal denso y leguminosas como *Lupinus spp.*, pero hacia las partes más elevadas (4,000 msnm), con frecuencia constituye un bosque achaparrado (de 5 a 8 m de alto) y más bien abierto, aunque algunos individuos aislados pueden encontrarse en los 4,200 msnm, que es el límite altitudinal arbóreo en México. (SEMARNAT, 2009).



Figura 2. Bosque de *Pinus hartwegii*

5.1. Características del suelo

Dentro de la zona de estudio se presenta un tipo de suelo Andisol el cual, se deriva de cenizas volcánicas recientes, por lo que es un suelo ligero con alta retención de humedad y buen contenido de nutrientes, sin embargo el nivel de Fósforo disponible es bajo, debido a que estos suelos al presentar complejos de tipo alofánico, tienden a fijar este mineral (Pérez *et al.*, 2009), por lo que el papel que juegan las ectomicorrizas para la absorción de este mineral es muy importante.

También se presenta un alto contenido de materia orgánica; por su contenido de materia orgánica y la proporción de vidrios volcánicos puede formar andisoles húmicos que se presentan en áreas forestales poco alteradas; también puede formar andisoles vítricos en zonas con vegetación de coníferas cuando presenta más del 60% de vidrios, ceniza volcánica y texturas gruesas. (SEMARNAT, 2009)

5.2. Clima

Debido a su topografía y ubicación, el parque tiene una variedad de climas que van del templado húmedo a los climas frío y muy frío; la temperatura disminuye con la altura a razón de 0.68° C por cada 100 m. (SEMARNAT, 2009).

5.3. Problemática

Este Parque Nacional sufre, como todas las áreas protegidas de nuestro país, amenazas de diverso tipo que atentan contra su conservación, tales como: tenencia de la tierra, tala clandestina, ganadería, extracción de recursos silvícolas, crecimiento urbano, cambio de uso de suelo e incendios forestales. La regeneración natural del bosque frecuentemente se ve afectada por los incendios forestales. Desgraciadamente éstos son causados por la poca cultura forestal de la sociedad en general, y en particular de los vecinos agricultores y ganaderos. Los primeros emplean la ancestral práctica de roza, tumba y quema que suele salirse de control; mientras que los segundos muchas veces provocan quemas para ganarle terreno al bosque y poder seguir desarrollando la ganadería extensiva. Estas dos prácticas, aunadas al ocasional descuido de paseantes irresponsables, provocan los siempre destructivos y peligrosos incendios del bosque (SEMARNAT, 2009).

6. HIPÓTESIS:

Los incendios forestales son eventos que producen efectos en el suelo, afectando sus propiedades físicas, químicas y particularmente las biológicas, por lo que al comparar dos zonas del bosque de *Pinus hartwegii*, en el Parque Nacional Izta-Popo: una sin incendio y otra incendiada, se observará menor diversidad de Hongos ectomicorrízicos y menor contenido de micelio externo dentro del suelo de la zona incendiada.

7. OBJETIVOS

7.1. General:

° Evaluar el efecto del fuego sobre la diversidad de los Hongos ectomicorrízicos (HECM) en bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional Izta-Popo, así como la biomasa del micelio externo a diferentes profundidades y algunas propiedades del suelo.

7.2. Particulares:

° Evaluar las características físicas y químicas del suelo donde crecen los HECM, como pH, porcentaje de Materia Orgánica, % de N y P total, Densidad aparente, Densidad Real, % de humedad, Textura y nivel de agregación.

° Determinar la diversidad de especies de los HECM en una zona incendiada y otra sin incendio.

° Comparar la biomasa del micelio externo de hongos HECM a diferentes profundidades y durante tres épocas del año.

° Relacionar la biomasa del micelio externo con la estabilidad de agregados.

° Establecer la relación que presentan las propiedades del suelo sobre la diversidad de Hongos ectomicorrízicos.

8. MÉTODOS

8.1. Fase de campo

El estudio se realizó durante el intervalo de la época de lluvias del año 2009 y la época de secas del 2010. Para este, se seleccionaron dos zonas dentro del bosque de *Pinus hartwegii*, una afectada por un incendio ocurrido en el año 2003 y la otra sin afectación del mismo. En cada una se trazó un cuadrante permanente con un área de 100 m² (Figura 3).

El sitio afectado se localiza entre las coordenadas geográficas 19°5.24' latitud Norte y 98° 40.133' longitud Oeste a una altitud de 3463 msnm. En este sitio se observaron 14 ejemplares de *Pinus hartwegii*

El sitio no incendiado se encuentra entre las coordenadas geográficas 19° 5.14' latitud Norte y 98° 39.545' longitud Oeste a una altitud de 3609 msnm. En este sitio, en comparación con el incendiado, se observaron más ejemplares de *Pinus hartwegii*, contabilizándose 36.

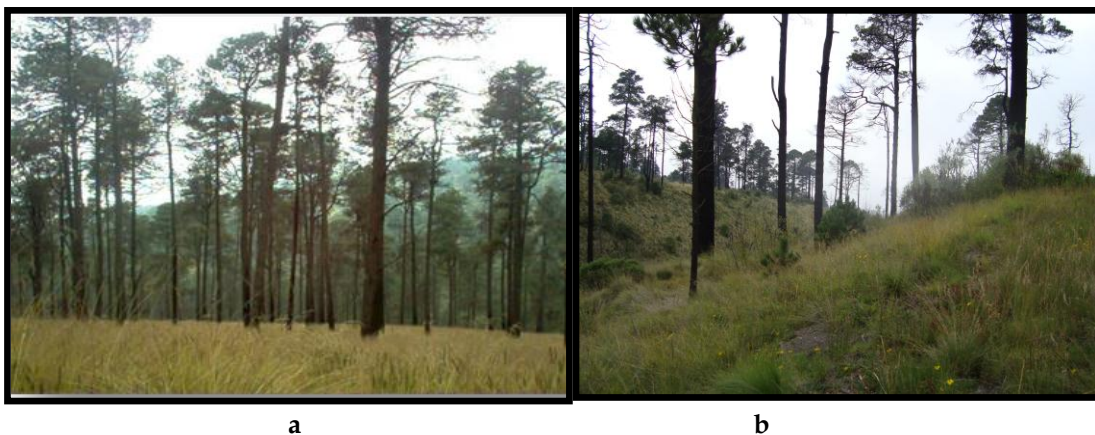


Figura 3. Vista de ambas zonas de estudio dentro del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl.: a) zona sin incendio y b) zona incendiada

8.1.1. Recolección de suelo para evaluación de características físicas y químicas.

Para la evaluación de las características físicas y químicas del suelo, se elaboraron muestras de suelo de los dos cuadrantes permanentes trazados para el estudio.

Las 7 muestras individuales se recolectaron en cada zona en forma de zig-zag, para tener muestras representativas del suelo. Estas muestras se extrajeron de los primeros 20 cm del suelo. Cada muestra individual debió de ser del mismo volumen, en este caso de aproximadamente 1kg, posteriormente el suelo extraído se depositó en bolsas de plástico.

Para formar la muestra compuesta, se mezclaron las muestras individuales y se realizó el procedimiento de partición por cuartos, en el que se van descartando porciones de suelo y de las que se conservan se realiza una mezcla varias veces para hacer más uniforme la muestra (Jackson, 1982).



Figura 4. Recolección de muestras de suelo

8.1.2. Recolección de Hongos

Se realizó un muestreo, en ambas zonas de estudio del bosque de *Pinus hartwegii* durante la época de lluvias del año 2009. En cada cuadrante permanente se realizaron recorridos revisando alrededor de los árboles para detectar los esporomas de hongos ectomicorrízicos (Figura 5). Estos se colectaron a partir de la base, escarbando un poco para retirar las partes subterráneas. Los esporomas se depositaron en una canasta para evitar su descomposición. También se realizó una descripción de los esporomas que incluía: color, tamaño, olor, sabor, ornamentaciones entre otras característica útiles para su determinación. Los ejemplares se transportaron al laboratorio para su determinación taxonómica basándose en literatura especializada (Laessoe y de la Corte, 1997; Lohmeyer y Künkele, 2006; Eyssartier *et al.*, 2008; Díaz-barriga, 2002; Sánchez y Martínez, 2007 y Delgado *et al.*, 2005). Para confirmar la especie, se elaboraron preparaciones de una porción de la lámina de cada uno de los hongos recolectados, las cuales se observaron en el microscopio óptico, utilizando lactoglicerol, esto para observar las esporas, ya que son estructuras de importancia para la determinación taxonómica (Díaz-barriga, 2002). Con los datos obtenidos se realizó un listado de las especies encontradas en cada uno de los sitios.



Figura 5. Recolección de esporomas dentro del Bosque de *Pinus hartwegii*

8.1.3. Estabilidad de agregados

Las pruebas para determinar la estabilidad de agregados se realizaron bajo los criterios de acuerdo al grado de descomposición de los agregados al ser saturados con agua, con el siguiente procedimiento:

- 1.- Se colocaron 10 agregados de suelo de diámetro entre 1 a 3 mm en una cápsula de porcelana y se saturaron con agua (Figura 6).
- 2.- Tras hacer rotar suavemente durante 30 segundos la cápsula en la palma de la mano, se evaluó el grado de descomposición de los agregados del suelo de acuerdo a la siguiente relación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Evaluación de los agregados del suelo al saturarlos con agua (Siebe, 1996)

Grado de descomposición	Evaluación
No hay descomposición o solo fragmentos grandes.	Muy Alta
Dominan los fragmentos grandes sobre los pequeños.	Alta
Igual número de fragmentos grandes y pequeños.	Mediana
Dominan los fragmentos pequeños sobre los grandes.	Moderada
Sólo fragmentos Pequeños y turbidez notable del agua.	Baja
Descomposición total y alta turbidez del agua.	Muy baja



Figura 6. Evaluación de la estabilidad de agregados en una cápsula de porcelana

8.1.4. Micelio externo (Primera parte)

Método de Rossy - Cholodny

1.- Se colocaron diez portaobjetos en cada una de las zonas de muestreo, en sitios elegidos al azar, y una placa de vidrio de 200 cm² (Figura 7).

2.- Estos se enterraron en la región más cercana a las raíces, durante 2 meses, pasado este tiempo se removieron con cuidado para no destruir el frotis formado sobre el vidrio (Sánchez Colín, 2004).

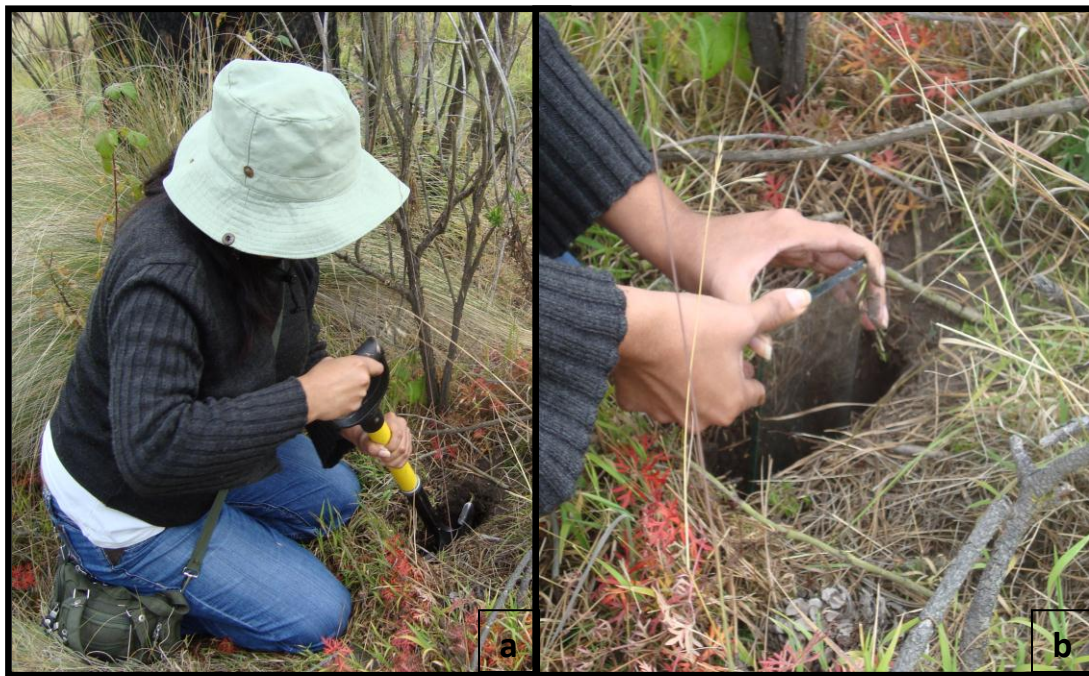


Figura 7. Introducción de las placas de vidrio dentro del suelo para la evaluación de la extensión de hifas: a) Apertura del espacio en el suelo, b) introducción de la placa de vidrio

8.1.5. Toma de muestras para cuantificación de hifas.

1.- Se realizó un muestreo aleatorio, tomando tres muestras con un tubo de policloruro de vinilo (PVC) con un diámetro de 3 pulgadas y 15 cm de largo, en ambas zonas de estudio (Figura 8).

2.- Se enterró el tubo en cada punto elegido, cuidando que el suelo no perdiera su estructura al extraerlo con la muestra.

3.- Una vez extraída la muestra el tubo se selló con cinta canela por ambos lados para evitar la pérdida del suelo, así como su humedad.

4.- La muestra se marcó indicando la parte superior e inferior, esto para conocer la concentración de hifas a diferentes profundidades (Heredia ,2009).



Figura 8. Muestreo de suelo para la evaluación de la biomasa de micelio externo: a) Apertura de espacio, b) introducción del tubo de PVC, c) Retiro del tubo de PVC con la muestra de suelo

8.2. Fase de Laboratorio

8.2.1. Análisis del suelo

Las muestras de suelo se analizaron por medio de las técnicas clásicas utilizadas en los Laboratorios de suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Metodologías de evaluación de las características físicas y químicas del suelo.

PRUEBA	MÉTODO	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
pH	Potenciómetro	Jackson, 1982
Densidad Real	Picnómetro	NOM-021-RECNAT-2000.
Densidad aparente	Probeta	NOM-021-RECNAT-2000.
Materia orgánica	Método de Walkley y Black.	Reyes, 1996
Textura del suelo	Procedimiento de Bouyoucous	Reyes, 1996

8.2.2. Micelio Externo (Segunda parte)

Método de Rossy - Cholodny

- 1.- Los portaobjetos obtenidos en campo se lavaron y secaron al aire libre.
- 2.- Después se tiñeron con rosa de bengala concentrado por 10 minutos (Sánchez Colín, 2004).
- 3.- Nuevamente se lavaron y secaron al aire libre, para posteriormente observarlos en el estereoscopio (Figura 9).

4.- Para sacar el porcentaje de crecimiento de hifas, los portaobjetos y las placas de vidrio se fraccionaron en cuadrantes de 1 cm x 1 cm.

5.- Para conocer la extensión de hifas dentro del suelo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de crecimiento de hifa} = \frac{\text{Cuadrantes con micelio}}{\text{Cuadrantes totales}} \times 100$$

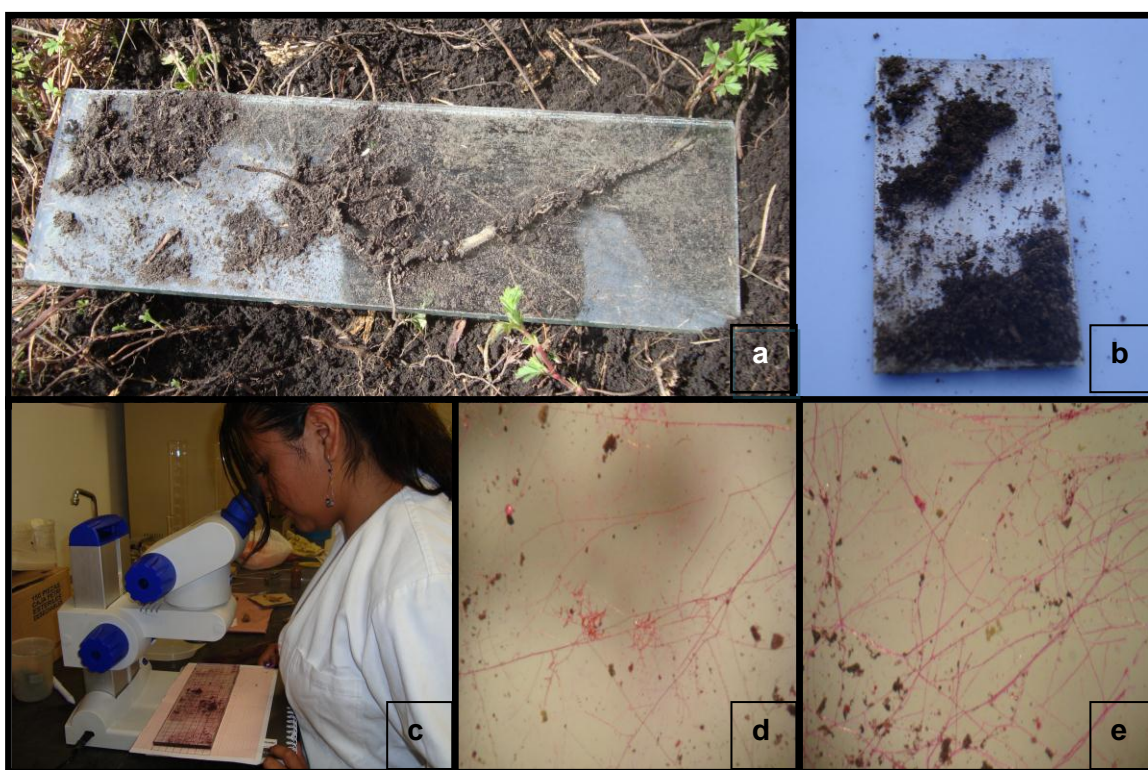


Figura 9. Proceso de evaluación de la extensión del micelio externo: a) y b), placas de vidrio con las muestras de suelo, c) observación en el estereoscopio de las placas teñidas, d) y e) imágenes del micelio externo desarrollado sobre la placa de vidrio

8.2.3. Cuantificación de biomasa de micelio externo

La cuantificación de la biomasa de micelio se realizó de la siguiente forma:

- 1.- Se dividió el tubo con la muestra cada cinco centímetros, quedando como objetos de estudio: la parte superficial, la media y la profunda.
- 2.-Se pesaron 10 g de cada muestra de suelo y se mezclaron con 90 mL de una solución de glicerina/ácido clorhídrico/agua (12:1:7) y 10 ml de azul de tripano. (Borie *et al.*, 2000).
- 4.- La muestra se incubó en un baño termorregulado durante una hora, con agitación suave y se dejó reposar 24 horas.
- 5.-Se filtró en tamices de diferentes calibres para separar las hifas, se examinó el filtrado en el microscopio estereoscópico y se transfirieron las hifas encontradas a una caja petri con agua destilada, previamente pesada y rotulada (Figura 10).
- 6.- Finalmente, las muestras se dejaron a temperatura ambiente para su secado y posteriormente se pesaron para evaluar la biomasa del micelio externo encontrado en cada muestra (Heredia, 2009).

8.3. Fase de Gabinete

8.3.1. Diversidad de especies

La diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos se evaluó utilizando el Índice de Shannon y Weaver (Ricklefs, 1998):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Dónde:

S: número de especies (la riqueza de especies)

p_i : proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i):

$$\frac{n_i}{N}$$

n_i : número de individuos de la especie i

N : número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia).

8.3.2. Análisis estadístico

Para los datos de biomasa de micelio, se aplicó un análisis estadístico a los resultados utilizando un Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

Con este análisis se compararon: La biomasa de micelio entre las zonas, entre las profundidades y entre las épocas del año. Además, se realizó un análisis de correspondencias canónicas para conocer cuales propiedades del suelo influyen en la riqueza de especies presente en ambas zonas de estudio.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Características del suelo

9.1.1. Propiedades Físicas

De acuerdo a los porcentajes obtenidos para cada tipo de partículas (1.8% arcilla, 2.88% limo y 95.32% arena) en la zona de incendio y (2.16% arcilla, 1.44% limo y 96.4% arena) en la zona sin incendio, se observa que ambas zonas presentan una clasificación Textural Arenosa (cuadro 4). Dentro de una textura arenosa se presenta una mayor cantidad de macroporos, estos optimizan la circulación de oxígeno, del agua y de los nutrimentos, así como, facilitan la penetración de las raíces y su anclaje (Zulueta *et al.*, 2007). Una buena circulación de oxígeno es beneficiosa para el desarrollo de algunos microorganismos del suelo, como los hongos, ya que estos son organismos aerobios (Buckman y Brady, 1991).

La densidad real corresponde a la densidad media de la fase sólida del suelo o densidad de las partículas, por lo que sólo toma en cuenta la fracción mineral del suelo (Porta, 1994). En el estudio, se registró una densidad real de 2.14 g/cm³ para la zona de incendio y 2.28 g/cm³ para la zona sin incendio (Cuadro 4).

La densidad aparente es la medida de una masa en la cual se determina el volumen total de un suelo. A diferencia de la densidad real que sólo toma en cuenta las partículas sólidas, la densidad aparente toma en cuenta los espacios porosos y la densidad de los sólidos del suelo (Buckman y Brady, 1991). En el estudio, los valores de densidad aparente que se calcularon fueron, para la zona de incendio 0.99 g/cm³ y para la zona sin incendio 0.91 g/cm³ (cuadro 4). Los valores

reflejan que el suelo de ambas zonas de estudio es ligero, esto debido a los altos contenidos de materia orgánica (Porta, 1994). Esta característica confiere al suelo un buen drenaje y un grado de compactación bajo, lo que favorece un buen intercambio gaseoso, adecuado para el desarrollo de los seres vivos (Buckman y Brady, 1991).

El porcentaje de espacio poroso de un suelo (% E.P.), es la porción ocupada por aire y agua, y se determina en gran parte por la colocación de las partículas minerales del suelo. Los suelos con altos contenidos de materia orgánica presentan un porcentaje de espacio poroso elevado (del 40 al 60%) (Buckman y Brady, 1991). Para el estudio se registró un espacio poroso de 57.7% y 60%, para la zona de incendio y sin incendio, respectivamente (Cuadro 4). Un valor alto de espacio poroso es una característica satisfactoria, ya que confiere al suelo una buena aireación, es decir, que los gases son aprovechables para el crecimiento de los organismos y que se encuentran en las adecuadas proporciones para alcanzar coeficientes óptimos en los procesos metabólicos de los mismos (Buckman y Brady, 1991).

La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua que se almacena dentro de este, es necesario que se almacene en grandes cantidades para satisfacer las necesidades de evapo-traspiración en el desarrollo de las plantas y también para disolver los nutrimentos que se encuentran dentro y así formar la solución del suelo. Una mayor retención de humedad junto a buenas condiciones de aireación favorece un ambiente más apropiado para el desarrollo de las poblaciones microbianas (Alvear *et al.*, 2007). Analizando los porcentajes de humedad registrados en las tres épocas de estudio, se observa que el mayor contenido de humedad en el suelo se presenta en la época de invierno, 28.8% en la zona de

incendio y 38.6% en la zona sin incendio (Cuadro 4), debido a que durante este muestreo se presentaron lluvias inusuales y heladas. La humedad presente se debe en parte a que los suelos derivados de cenizas volcánicas como los Andisoles, son ricos en materia orgánica, lo que favorece la adsorción y la retención de un gran porcentaje de humedad (Pérez *et al.*, 2009). Por otra parte se observa que los mayores porcentajes de humedad se presentan en la zona sin incendio (lluvias 33.6%, invierno 38.6% y secas 23%), esto debido a que en zonas incendiadas la humedad del suelo disminuye por la deshidratación derivada de la combustión de los materiales orgánicos. A pesar de que el incendio en la zona tenía alrededor de 6 años de ocurrido, aún se observan efectos de hidrofobicidad del suelo, lo que dificulta la retención de humedad, afectando el desarrollo de los microorganismos del suelo.

Cuadro 4. Resultados de la determinación de las propiedades físicas realizadas a los suelos de las zonas de muestreo

	Clasificación textural	% de partículas minerales	D.R (g/cm ³)	D.A (g/cm ³)	% E.P		%Humedad	
						Lluvias (2009)	Invierno (2009)	Secas (2010)
Incendio	Arenosa	Arcilla (1.8%) Limo (2.88%) Arena (95.32%)	2.14	0.99	57.7	25	28,8	18
Sin incendio	Arenosa	Arcilla (2.16%) Limo (1.44%) Arena (96.4%)	2.28	0.91	60.0	33,6	38,6	23

9.1.2. Propiedades Químicas

De acuerdo a los datos obtenidos en la medición del pH real, 6.55 en la zona de incendio y 6.05 en la zona sin incendio, se observa una característica moderadamente ácida en ambas zonas de estudio (cuadro 5), de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Los valores de la zona de incendio, se acercan más a la neutralidad, esta característica es reportada por Vaquerizo *et al.* (2004), el cual indica que el fuego crea una serie de condiciones en el suelo, como el aumento de pH, esto como consecuencia del aporte de cationes procedentes de las cenizas (Vega, 2004).

La conductividad eléctrica indica la concentración de sales que se presentan en el suelo, propiedad que permite conducir el flujo de la electricidad (NOM-021-RECNAT-2000). En el estudio, se registró una conductividad eléctrica menor a uno en ambas zonas de muestreo (Cuadro 5), por lo que según la NOM-021-RECNAT-2000, esta conductividad indica efectos despreciables a la salinidad, lo que concuerda también con el registro de un pH moderadamente ácido en las zonas de estudio.

La materia orgánica del suelo representa una acumulación de plantas y animales parcialmente destruidas y resintetizadas, este material está en un activo estado de desintegración y sujeto al ataque por parte de los microorganismos del suelo, por lo que es un constituyente transitorio que se renueva constantemente (Buckman y Brady, 1991). Los resultados obtenidos en el estudio reflejan que de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, respecto a los suelos volcánicos, la zona sin incendio presenta un porcentaje medio de materia orgánica, 7.78% y la zona de incendio

presenta un porcentaje bajo de 5.19% (Cuadro 5). La pérdida de materia orgánica es debida a la combustión originada en la zona a causa del incendio (Ubeda y Sala, 1996). Este componente interviene de forma activa en la formación del suelo, alterando sus propiedades físicas y químicas. Además, condiciona su comportamiento en relación al crecimiento de las plantas y microorganismos, al influir en el movimiento y almacenamiento de agua, intercambio catiónico, y construir una fuente de nutrimentos (Porta, 1994).

El fósforo es un elemento decisivo para el crecimiento de las plantas, ya que participa en la división celular, en el desarrollo de las raíces y actúa sobre la floración y la producción de semillas. Sin embargo, gran parte del fósforo presente en los suelos normalmente no es aprovechable por las plantas, ya que sus formas solubles tienden a fijarse (Buckman y Brady, 1991). En cuanto a los valores de fósforo aprovechable obtenidos en ambas zonas de estudio de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, la cantidad es baja, 4 mg Kg⁻¹, para ambas áreas (Cuadro 5), debido a que los Andisoles al presentar complejos de tipo alofánico, tienden a fijar este mineral (Pérez *et al.*, 2009). Por otra parte, debido al carácter moderadamente ácido de los suelos de estudio, este elemento puede estar en fuentes no asimilables que imposibilitan a la planta su absorción de forma normal, por lo que las Ectomicorrizas desempeñan un papel fundamental, ya que son capaces de absorber el fósforo del suelo, aún en casos de escasa presencia de este y solubilizarlo para proporcionarlo a las plantas (Fernández de Ana-Magán, 2004).

El nitrógeno es un elemento que se encuentra en el suelo en cantidades pequeñas, en ocasiones es demasiado soluble por lo que es fácil su pérdida por drenaje y volatilización. En todas las plantas este es un elemento que regula el uso del potasio, fósforo y otros constituyentes (Buckman y Brady, 1991). En el estudio, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, se determinaron porcentajes bajos de

nitrógeno total para ambas zonas de muestreo, 0.26 % y 0.22%, en la zona de incendio y sin incendio, respectivamente (cuadro 5). En el aspecto biológico, esta característica influye en la cantidad de micelio presente en el suelo, ya que se ha demostrado que los hongos muestran mayor efecto en suelos con baja disponibilidad de nutrientes según, Paz (2007), es decir aumenta la longitud de micelio externo.

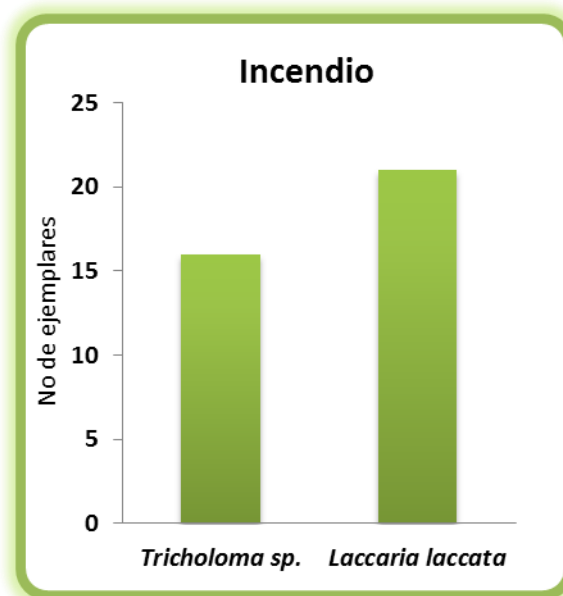
Cuadro 5.- Resultados de las determinaciones químicas realizadas a los suelos de las zonas de muestreo

	pH Real	C.E dS m⁻¹	% M.O	P mg Kg⁻¹	% N
Incendio	6.55	0.11	5.19	4	0.26
Sin incendio	6.05	0.12	7.78	4	0.22

9.2. Diversidad de Hongos

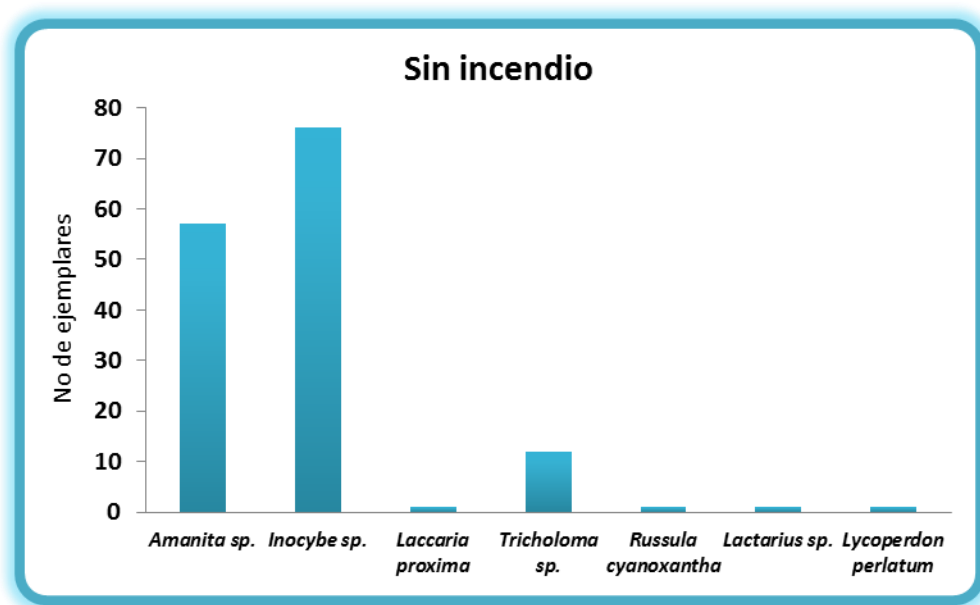
Par el estudio de la diversidad de Hongos Ectomicorrízicos, la recolecta de esporomas se llevó a cabo en la época de lluvias: durante los meses de Agosto, Septiembre y Octubre del 2009, esto con el fin de comparar la riqueza de especies presente en cada mes de muestreo.

Durante la recolecta del mes de Agosto se registraron dos especies dentro del área de incendio, *Tricholoma sp.* y *Laccaria laccata* (Gráfica 1), estas especies se presentaron en diferente número. La especie que se presentó en mayor abundancia fue *Laccaria laccata*, registrándose 21 ejemplares, a diferencia de *Tricholoma sp.* de los que se registraron 16 ejemplares. De estas dos especies *Laccaria laccata* es una especie comestible, por lo que además de beneficiar a la comunidad vegetal, su presencia es importante para los habitantes cercanos a esta zona, ya que es una especie de alto valor gastronómico.



Gráfica 1. Especies presentes en la zona de incendio en el mes de Agosto

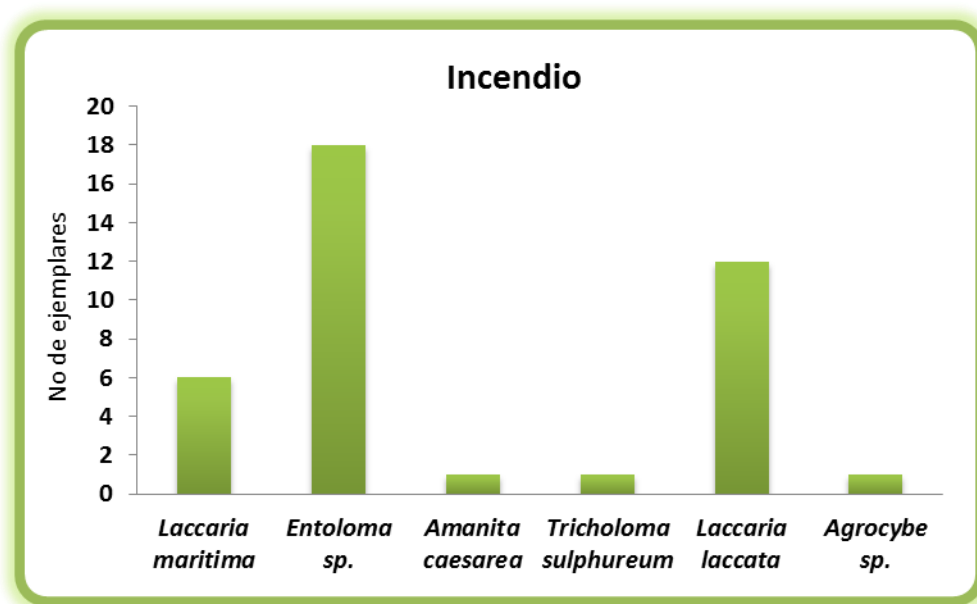
En la zona sin incendio se registró una mayor riqueza de especies, contabilizándose siete especies de Hongos ectomicorrízicos (Gráfica 2). Estas especies, al igual que en la zona incendiada, también se observaron en diferente cantidad. En el registro, dos especies fueron las más abundantes: *Inocybe sp.* fue la especie de la que se recolectaron más ejemplares contabilizándose un total de 76, por otra parte, *Amanita sp.* también apareció en gran abundancia registrándose un total de 57 ejemplares. De las especies restantes la abundancia fue menor, registrándose 12 ejemplares de *Tricholoma sp.*, mientras que de *Laccaria proxima*, *Russula cyanoxantha*, *Lactarius sp.* y *Lycoperdon perlatum* sólo se registró un ejemplar. En este registro solo se observó una especie comestible, *Lycoperdon perlatum*, sin embargo esta especie tiene este carácter sólo en las primeras etapas de desarrollo.



Gráfica 2. Especies presentes en la zona sin incendio en el mes de agosto

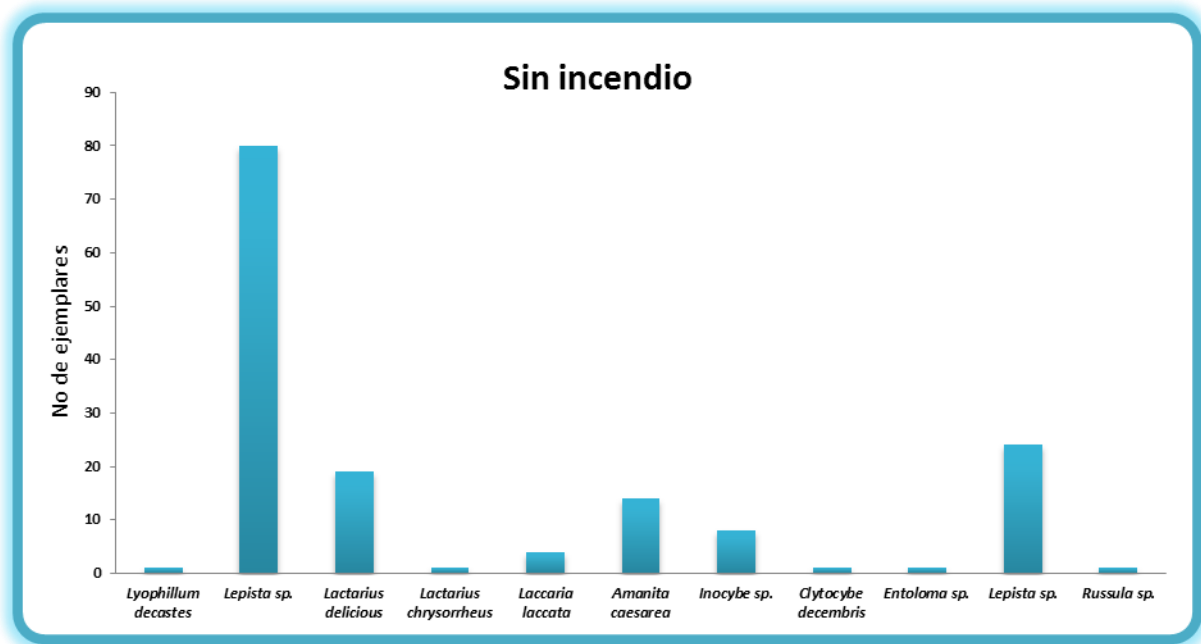
Durante el mes de Septiembre se observó un aumento en el número de especies de Hongos ectomicorrízicos presentes en ambas zonas de estudio, este aumento pudo ser debido al incremento de humedad durante este mes de muestreo, ya que es cuando el periodo de lluvias se intensificó.

En cuanto a la zona de Incendio se registró un total de seis especies ectomicorrízicas (Gráfica 3), siendo *Amanita caesarea*, *Tricholoma sulphureum* y *Agrocybe sp.*, las especies que se presentaron en menor proporción observándose sólo un ejemplar. La especie *Laccaria maritima* se presentó con un número de 6 ejemplares. En este mes también se observó a *Laccaria laccata* de la cual se contabilizaron 12 ejemplares, un número menor al registrado en el mes de Agosto. La especie que se cuantificó en mayor proporción fue *Entoloma sp.*, contabilizándose 18 ejemplares. De las especies anteriores *Laccaria laccata* y *Amanita caesarea* poseen la propiedad de ser especies comestibles, característica que les adiciona un valor económico.



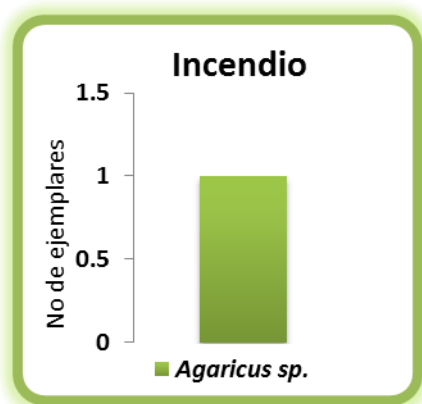
Gráfica 3. Especies presentes en la zona de incendio en el mes de septiembre

Para la zona sin incendio se observó el mayor número de especies ectomicorrízicas durante todo el muestreo registrándose once especies (Gráfica 4). La especies que se observaron en menor abundancia fueron *Lyophyllum decastes*, *Lactarius sp.*, *Clytocybe decembris*, *Entoloma sp.* y *Russula sp.*, cuantificándose un ejemplar de cada una. La especie *Laccaria laccata* que sólo se había presentado en la zona de incendio en el mes anterior, se observó en esta zona con 4 ejemplares. De la especie *Inocybe sp.*, sólo fueron 8 ejemplares. La especie *Amanita caesarea* se registró en mayor proporción que dentro de la zona de incendio, contabilizándose 14 ejemplares. También se observó a *Lactarius deliciosus* con un número de 19 ejemplares. Asimismo dos especies del Género *Lepista*, la primera con un número total de 24 ejemplares, mientras que de la segunda 80 ejemplares. Durante esta zona se observaron tres especies comestibles *Amanita caesarea*, *Laccaria laccata* y *Lactarius deliciosus*. Algo importante de señalar es que durante este mes se observaron dos especies compartidas por ambas zonas de muestreo: *Laccaria laccata* y *Amanita caesarea*.

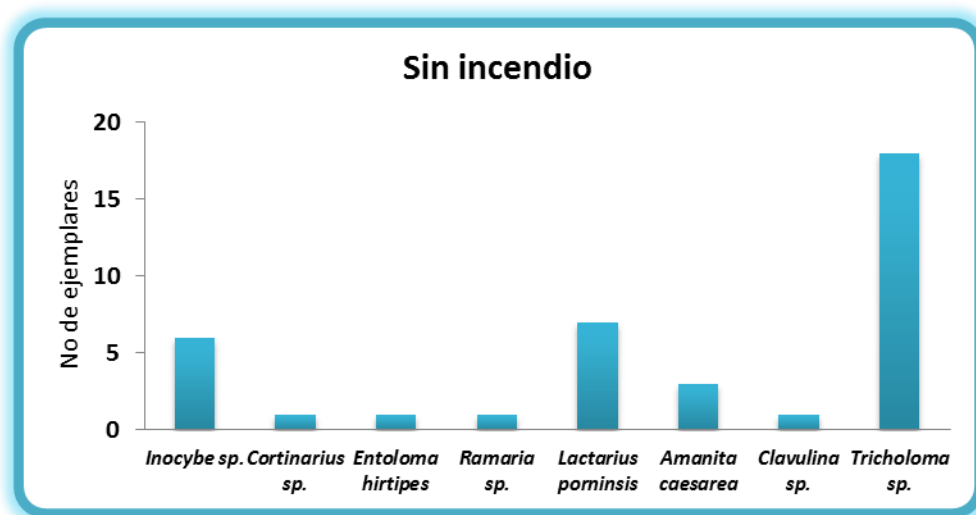


Gráfica 4. Especies presentes en la zona conservada en el mes de septiembre

En el mes de Octubre disminuyó la aparición de ectomicorrizas en la zona de estudio. En la zona de incendio sólo se recolectó un ejemplar de *Agaricus sp.* (Gráfica 5). La zona sin incendio presentó una mayor riqueza ectomicorrízica, contabilizándose 8 especies (Gráfica 6). *Cortinarius sp.*, *Entoloma hirtipes*, *Ramaria sp.* y *Clavulina sp.* se observaron con un ejemplar dentro de la zona. Asimismo *Amanita caesarea* con 3 ejemplares, *Inocybe sp.* con 6 ejemplares, mientras que *Lactarius pominsis* con 7 ejemplares. La especie que se presentó en mayor abundancia fue *Tricholoma sp.*, registrándose 18 ejemplares. Dentro de esta zona se registraron dos especies comestibles: *Amanita caesarea* y *Ramaria sp.*

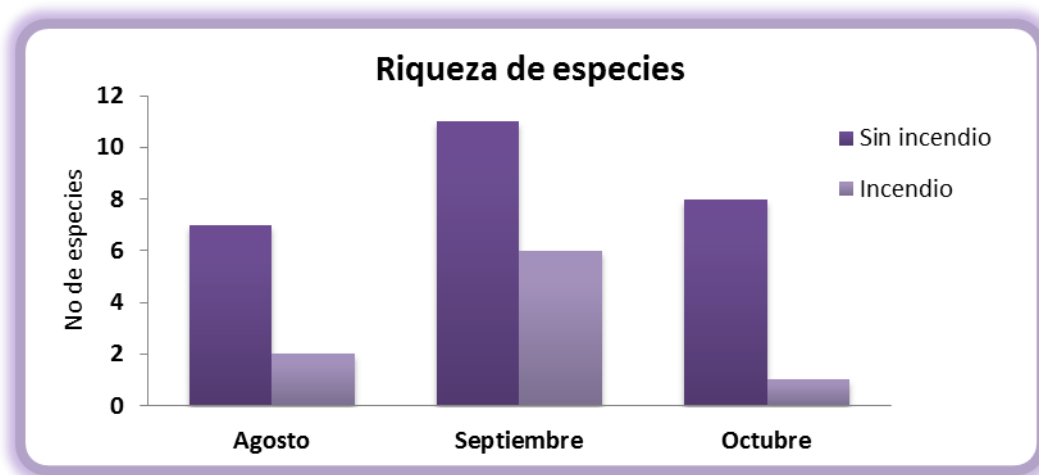


Gráfica 5. Especies presentes en la zona de incendio en el mes de Octubre



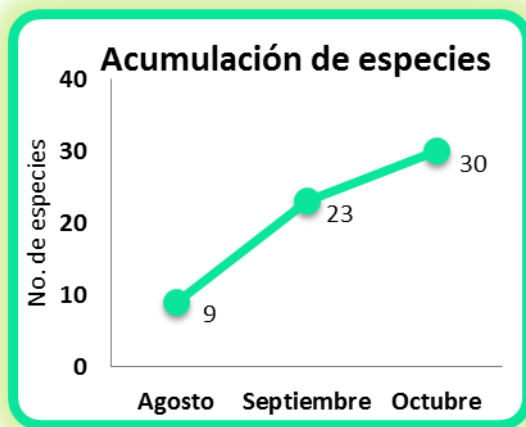
Gráfica 6. Especies presentes en la zona conservada en el mes de Octubre

De manera general se puede señalar que la zona conservada presenta una mayor riqueza de especies en los tres meses de muestreo. El mes de Septiembre fue en el que se registraron más especies de ectomicorrizas para ambas zonas de estudio, 11 en la zona sin incendio y 6 en la incendiada (Gráfica 7). Comparando el número de especies registradas en las zonas, se observa que la zona sin incendio alberga el mayor número de especies durante los tres meses de muestreo. La riqueza de hongos es menor en la zona de incendio, debido a que un ecosistema después de ser afectado por un evento catastrófico, vuelve a las primeras etapas de sucesión ecológica, lo que implica un número menor de especies (Vaquerizo *et al.*, 2004). Además de que los hongos desarrollan bancos de propágulos dentro del suelo, mismos que resultan afectados cuando se incrementa la temperatura, disminuyendo así la cantidad de especies presentes en los bosques (Izzo *et al.*, 2006). A pesar de que el incendio ocurrió en el año 2003, se observa que la zona aún no se recupera ya que dentro del área incendiada hay una menor cantidad de árboles en pie en comparación de la zona sin incendio, esto es de gran importancia ya que la ectomicorriza, al ser una simbiosis obligada, necesita del fitobionte para establecerse dentro del bosque (Cruz, 1999).

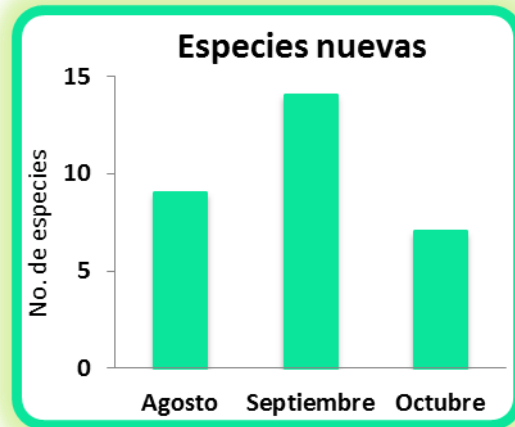


Gráfica 7. Número total de especies encontradas en ambas zonas durante la época de lluvias

Durante el estudio se observó una acumulación de especies por mes (Gráfica 8). En el mes de Agosto el registro inició con 9 especies, estas aumentaron durante el mes de Septiembre, en donde se acumularon 14 especies, Octubre fue el mes donde se añadieron menos especies, agregándose 7, para completar el registro de 30 especies de Hongos Ectomicorrízicos dentro del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. (Gráfica 9). Con lo anterior se observa que durante los meses de muestreo se registró una riqueza de especies diferente para cada mes. Sin embargo, *Laccaria laccata* y *Amanita caesarea* fueron especies persistentes durante el estudio, observándose a la primera en los meses de Agosto y Septiembre, y a la segunda durante los tres meses de muestreo. Debido a la persistencia de estas dos especies, pueden ser elegidas como una fuente de inóculo ectomicorrízico nativo, ya que además son especies comestibles, lo que beneficiaría tanto a la comunidad vegetal de la zona como a los habitantes cercanos, debido a los beneficios económicos por su recolecta. Sin embargo se deben implementar planes de manejo sustentables que no pongan en riesgo la existencia de estas especies dentro del bosque, es decir que no se llegue a una sobreexplotación.



Gráfica 8. Especies acumuladas durante el muestreo



Gráfica 9. Especies nuevas registradas durante el muestreo

Después de un incendio, el Phylum de hongos ectomicorrízicos más representado dentro del bosque es el de los Ascomicetes, mismos que comienzan a desaparecer seis años después de haber ocurrido el evento para dar paso a la aparición de los basidiomicetos (Buscardo *et al.*, 2009). Este dato coincide con trabajos realizados anteriormente en la zona de estudio, ya que Sánchez y Martínez (2007), reportan a una especie de ascomiceto (*Helvella lacunosa*), dentro de este bosque. En este trabajo, todas las especies registradas pertenecen al Phylum de los Basidiomycetes (Cuadro 6), de las que se registraron dos Subclases: Hymenomycetidae y Gasteromycetidae; tres Órdenes: Agaricales, Aphyllorphales y Lycoperdales; y ocho Familias: Agaricaceae, Amanitaceae, Cortinariaceae, Entolomaceae, Russulaceae, Tricholomataceae, Clavariaceae, y Geastraceae. La Familia de la que se observaron más ejemplares fue *Tricholomataceae*, la cual pertenece a la Subclase Hymenomycetidae y al Orden Agaricales, y de la que se encontraron diez especies.

Cuadro 6. Especies registradas en el estudio

BASIDIOMYCETES	
<ul style="list-style-type: none"> ° División: Eumycota ° Subdivisión: Basidiomycotina ° Clase: Holobasidiomycetes ° Subclase: Hymenomicetidae ° Orden: Agaricales ° Familia: 	
<ul style="list-style-type: none"> ° Agaricaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Agaricus sp.</i> ° Amanitaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Amanita sp.</i> ✿ <i>Amanita caesarea</i> ° Cortinariaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Cortinarius sp.</i> ✿ <i>Inocybe sp.</i> ✿ <i>Inocybe sp.</i> ✿ <i>Inocybe sp.</i> ° Entolomaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Entoloma sp.</i> ✿ <i>Entoloma sp.</i> ✿ <i>Entoloma hirtipes</i> ° Russulaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Lactarius sp.</i> ✿ <i>Lactarius chrysorrheus.</i> ✿ <i>Lactarius deliciosus</i> ✿ <i>Lactarius porninsis</i> ✿ <i>Russula sp.</i> ✿ <i>Russula cyanoxantha</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ° Tricholomataceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Clitocybe decembris</i> ✿ <i>Laccaria laccata</i> ✿ <i>Laccaria maritima</i> ✿ <i>Laccaria proxima</i> ✿ <i>Lepista sp.</i> ✿ <i>Lepista sp.</i> ✿ <i>Lyophyllum decastes</i> ✿ <i>Tricholoma sp.</i> ✿ <i>Tricholoma sp.</i> ✿ <i>Tricholoma sulphureum</i> ° Orden: Aphyllorphales <ul style="list-style-type: none"> ° Familia: ° Clavariaceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Clavulina sp.</i> ✿ <i>Ramaria sp.</i> ° Subclase: Gasteromycetidae <ul style="list-style-type: none"> ° Orden: Lycoperdales <ul style="list-style-type: none"> ° Familia: ° Geastraceae <ul style="list-style-type: none"> ✿ <i>Lycoperdon perlatum</i>

9.3. Índice de Diversidad.

Para determinar el índice de Shannon se tomó en cuenta el número de especies registradas en cada zona, así como las abundancias por especie (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores utilizados para calcular el Índice de Shannon-Weaver

ZONA DE INCENDIO					
Especie	No. Indv	Pi	lnPi	pi ln pi	
<i>Tricholoma sp.</i>	16	0,20779221	-1,5712167	-0,32648659	
<i>Laccaria laccata</i>	33	0,42857143	-0,84729786	-0,36312765	
<i>Laccaria maritima</i>	6	0,07792208	-2,55204595	-0,19886072	
<i>Entoloma sp.</i>	18	0,23376623	-1,45343366	-0,33976371	
<i>Amanita caesarea</i>	1	0,01298701	-4,34380542	-0,05641306	
<i>Tricholoma sulphureum</i>	1	0,01298701	-4,34380542	-0,05641306	
<i>Agrocybe sp.</i>	1	0,01298701	-4,34380542	-0,05641306	
<i>Agaricus sp.</i>	1	0,01298701	-4,34380542	-0,05641306	
Total	77			-1,45389091	
H' = 1.45					
ZONA SIN INCENDIO					
Especie	No. Indv	Pi	LnPi	pi ln pi	
<i>Amanita sp.</i>	57	0,16715543	-1,78883121	-0,29901284	
<i>Inocybe sp.</i>	76	0,2228739	-1,50114914	-0,33456696	
<i>Laccaria proxima</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Tricholoma sp.</i>	30	0,08797654	-2,4306851	-0,21384326	
<i>Russula cyanoxantha</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Lactarius sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Lycoperdon perlatum</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Lyophyllum decastes</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Lepista sp.</i>	80	0,23460411	-1,44985584	-0,34014213	
<i>Lactarius deliciosus</i>	19	0,05571848	-2,8874435	-0,16088395	
<i>Lactarius sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Laccaria laccata</i>	4	0,01173021	-4,44558812	-0,05214766	
<i>Amanita caesarea</i>	17	0,04985337	-2,99866913	-0,14949377	
<i>Inocybe sp.</i>	8	0,02346041	-3,75244094	-0,0880338	
<i>Clytocybe decembris</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Entoloma sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Lepista sp.</i>	24	0,07038123	-2,65382865	-0,18677973	
<i>Russula sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	
<i>Inocybe sp.</i>	6	0,01759531	-4,04012301	-0,07108721	
<i>Cortinarius sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229	

<i>Entoloma hirtipes</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229
<i>Ramaria sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229
<i>Lactarius porninsis</i>	7	0,02052786	-3,88597233	-0,07977069
<i>Clavulina sp.</i>	1	0,00293255	-5,83188248	-0,01710229
Total	341			-2,19809185
				H' = 2.19

H' = Índice de Diversidad

Los valores del índice de Shannon-Weaver para cada zona (Cuadro 8), reflejan que la zona sin incendio ($H' = 2.19$) presenta una mayor diversidad de especies en comparación con la zona de incendio ($H' = 1.45$). Al aplicar el análisis a los datos de la zona sin incendio se establece una mayor riqueza de especies (24), presentando números de abundancia mayores que los registrados en la zona de incendio. El hongo que se registró en mayor abundancia en la zona sin incendio fue *Lepista sp.* con 80 individuos, mientras que en la zona de incendio la especie más abundante fue *Laccaria laccata*, con 21 ejemplares. La diferencia en cuanto a la abundancia de ejemplares para cada zona, puede ser debida al arbolado. Esto porque la zona sin incendio presenta un mayor número de árboles, los cuales representan al fitobionte dentro de la asociación micorrízica, además de que estos permiten que la humedad se retenga en mayor cantidad, característica favorable para el desarrollo de los hongos. En la zona de incendio debido a que el arbolado es escaso, los hongos tienen un número menor de fitobiontes con quien asociarse. En un ecosistema después de ser afectado por un incendio se vuelve a las primeras etapas de sucesión ecológica, presentándose un menor número de especies micorrízicas, y estas van aumentando conforme el ecosistema se recupera y llega a su madurez (Vaquerizo *et al.*, 2004).

Cuadro 8. Valores obtenidos para cada zona de acuerdo al índice de diversidad

Índice de Shannon- Weaver	
Zona	Valores de H'
Incendio	1.45
Sin incendio	2.19

9.4. Longitud de Micelio externo

La longitud del micelio externo se evaluó durante tres épocas del año: lluvias, invierno y secas. En la época de lluvias se observó un 82.82% de área cubierta con micelio en la zona sin incendio y un 76.84% en la zona de incendio (Cuadro 9). Las hifas, además de observarse en mayor cantidad en la zona sin incendio (Figura 10: a y b), también se observaron con más ramificaciones que en la zona de incendio. Dentro del suelo las hifas se desarrollan de diferente forma, existen hifas que tienen la función de explorar mayor área del suelo, para la búsqueda y el transporte de nutrimentos y agua, mientras que las hifas de absorción se encargan de la asimilación de estos componentes (Buscardo *et al.*, 2009).

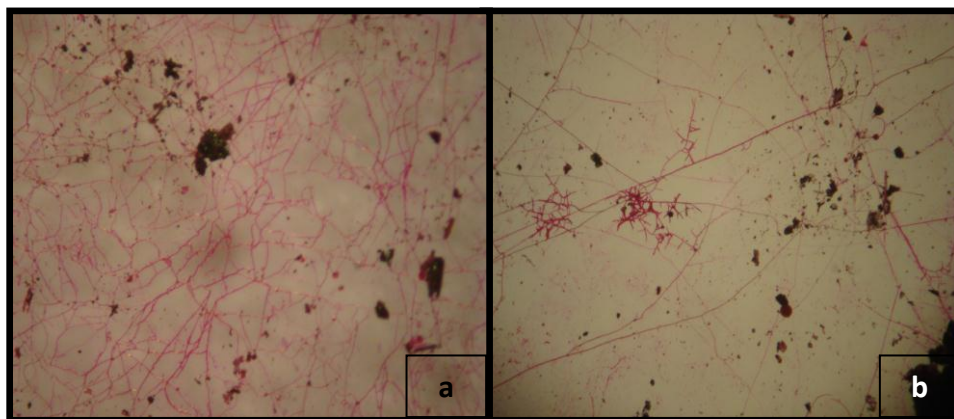


Figura 10. Hifas desarrollándose sobre la placa de vidrio,
a) hifas de la zona de incendio y b) hifas de la zona sin incendio

En la época de invierno se observó que la zona sin incendio presenta un 78.4% de área cubierta con micelio (Cuadro 9). En la época de secas se observó que la zona de incendio presenta el mayor porcentaje de área cubierta con micelio (81.11%). El aumento de hifas pudo ser debido al hecho de que en esta época el agua en el suelo está menos disponible, lo que obliga al hongo a explorar más área para poder absorberla, característica reportada por Paz (2007), el cual indica que los hongos producen más micelio para permitir una mejor exploración del suelo. Las hifas que se proyectan al exterior de la raíz exploran un volumen mayor de suelo, las fuentes orgánicas de N que puede utilizar el micelio externo son muy variadas

gracias a su capacidad de producir enzimas extracelulares como las proteasas, oxidasas y fosfatasa que participan en la mineralización de N. El micelio externo es el encargado de la movilización de nutrientes de sustratos orgánicos naturales a la planta (Báez-Pérez *et al.* 2010).

Cuadro 9: Valores promedio de la longitud de micelio externo durante las tres épocas de muestreo

LLUVIAS (2009)				INVIERNO (2009)				SECAS (2010)			
Incendio		Sin incendio		Incendio		Sin incendio		Incendio		Sin incendio	
Superficie de vidrio (cm ²)	% de área cubierta con micelio	Superficie de vidrio (cm ²)	% de área cubierta con micelio	Superficie de vidrio (cm ²)	% área cubierta con micelio	Superficie de vidrio (cm ²)	% de área cubierta con micelio	Superficie de vidrio (cm ²)	% de área cubierta con micelio	Superficie de vidrio (cm ²)	% de área cubierta con micelio
103	76.84	150.5	82.87	136.5	76.02	132.15	78.4	134.5	70.91	153.6	81.11

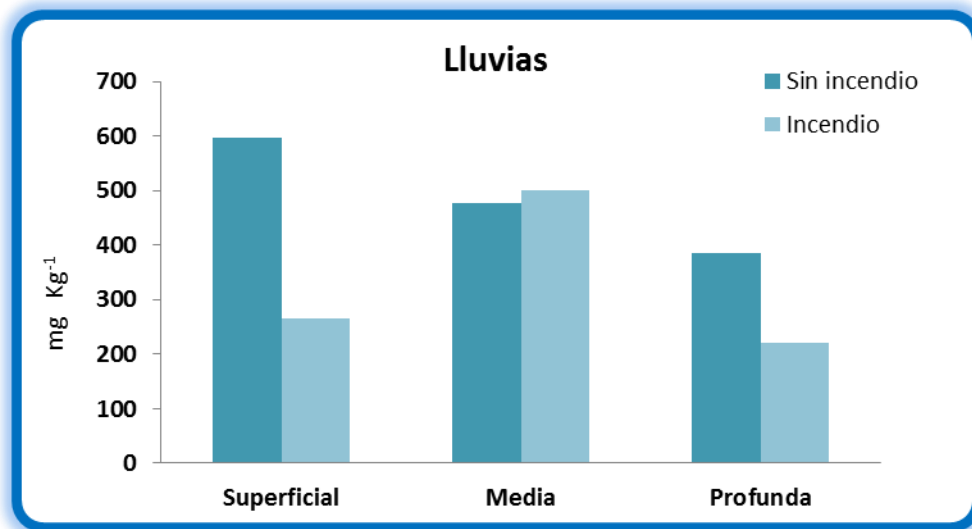
Sobre las placas de vidrio se observaron agregados de suelo sujetos por hifas de hongos (Figura 11), lo cual destaca la importancia de la evaluación de la cantidad de micelio presente en el suelo. El micelio externo es de gran importancia en la mejora de la estructura del suelo, debido a un efecto físico en el que la red de micelio del hongo entrelaza las partículas minerales entre sí, para la formación de agregados estables (Cornejo, 2006).



Figura 11. Observación de hifas participando en la agregación mineral del suelo

9.5. Cuantificación de la biomasa del micelio externo

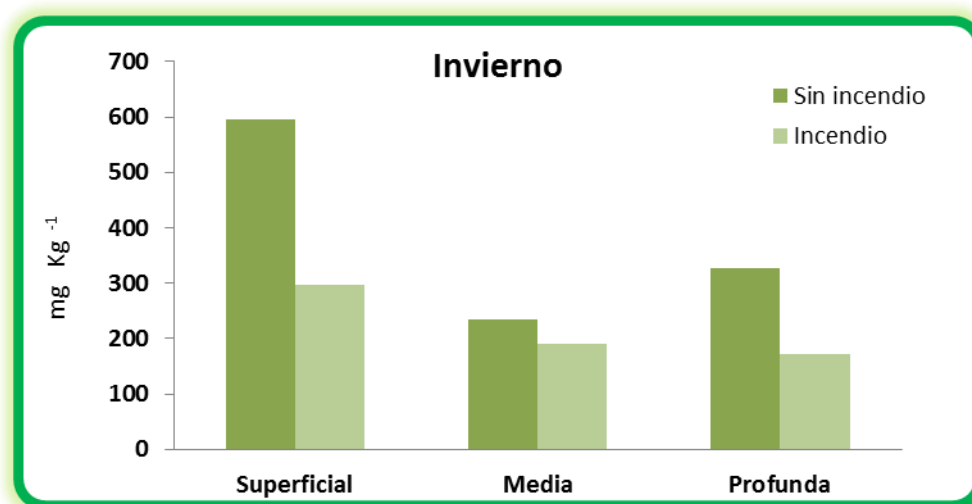
La evaluación de biomasa de micelio dentro del suelo, que incluye el micelio de hongos saprobios patógenos y micorrízicos, establece que durante la época de lluvias se presenta una mayor cantidad de biomasa de micelio externo dentro del suelo en la zona sin incendio, concentrándose en mayor cantidad en la capa superficial, 596 mg Kg⁻¹, la capa media presento 476 mg Kg⁻¹ y la capa profunda 386 mg Kg⁻¹. Para la zona de incendio se observó que la capa de suelo que contuvo la mayor cantidad de micelio, 501 mg Kg⁻¹, fue la capa media, la capa superficial presentó 265 mg Kg⁻¹ y la profunda 220 mg Kg⁻¹ (Gráfica 10). Al realizar el análisis estadístico para ambas zonas de estudio (Apéndice 1), no se observó una diferencia estadística significativa en cuanto al contenido de micelio dentro de las capas del suelo, por lo que se puede decir que el micelio se distribuye de manera homogénea dentro de los primeros 15 cm del suelo.



Gráfica 10. Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de lluvias

En la época de invierno al igual se observó mayor cantidad de biomasa de micelio externo en la zona conservada. Para este caso, la mayor cantidad de micelio dentro del suelo se concentró en la capa superficial para ambas zonas de estudio (Gráfica 11). La biomasa de micelio dentro del suelo que se cuantificó en la zona sin incendio fue, 596 mg Kg⁻¹ en la capa superficial, 235 mg Kg⁻¹ en la media y 326 mg Kg⁻¹ en la profunda. Mientras que en la zona de incendio se cuantificaron 296 mg Kg⁻¹ en la superficial, 190 mg Kg⁻¹ en la media y 171 mg Kg⁻¹ en la profunda.

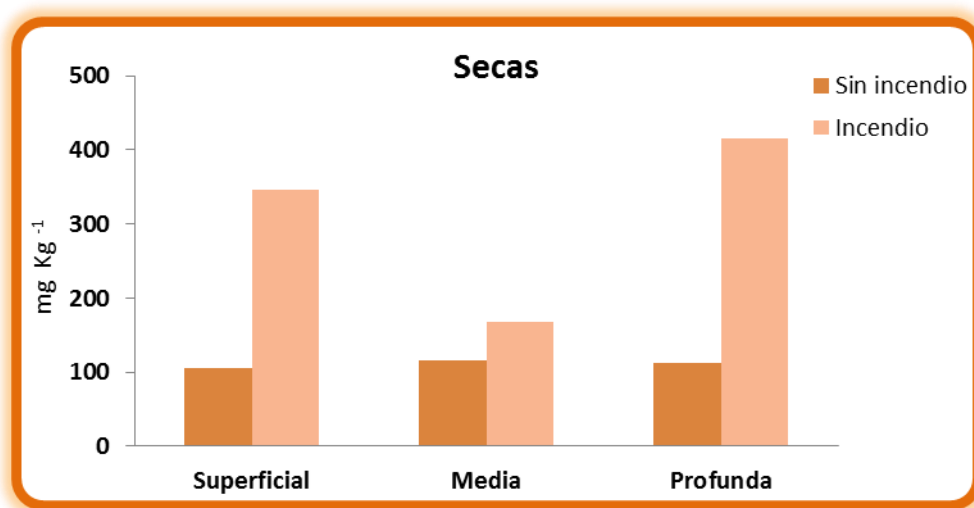
También se observa que el contenido de micelio en la zona de incendio disminuye de forma gradual dependiendo de la profundidad, concentrándose la mayor cantidad en la capa superficial. Las causas de disminución de biomasa, se encuentran en los efectos del fuego sobre los hongos, destruyendo el micelio más superficial y en el hábitat destruyendo tanto la M.O como a los árboles con los que se asocia (Vaquerizo *et al.*, 2004). El análisis estadístico (Apéndice 1) mostró que el micelio se distribuye de manera homogénea en las tres capas de estudio, esto al no observarse una diferencia estadística significativa.



Grafica 11. Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de invierno

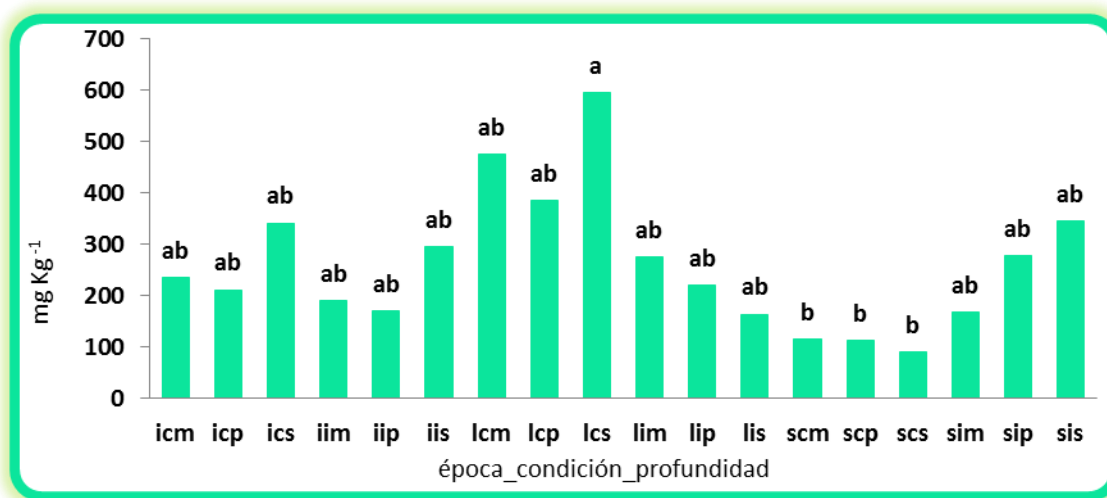
En la época de secas a diferencia de las anteriores se registró una mayor biomasa de micelio en la zona de incendio (Grafica 12). El micelio dentro del suelo de la zona de incendio, se concentró en la capa profunda cuantificándose 416 mg Kg^{-1} , en la superficial 346 mg Kg^{-1} y en la capa media se cuantificaron 168 mg Kg^{-1} . Mientras que en la zona sin incendio, este se concentró en la capa media registrándose 111 mg Kg^{-1} , en la capa superficial 105 mg Kg^{-1} y en la profunda 113 mg Kg^{-1} . Con el análisis estadístico (Apéndice 1) se pudo observar que el micelio se distribuye de manera homogénea, al igual que en las épocas anteriores, esto al no observar una diferencia estadística significativa al comparar el contenido de micelio de las tres capas de suelo.

Aunque se observa una mayor cantidad de micelio externo en la zona de incendio, este es menor al registrado en la zona sin incendio de las épocas anteriores. Un aumento de micelio dentro de la zona de incendio puede ser debido que en esta época el agua en el suelo está menos disponible, lo que obliga al hongo a explorar más área para su absorción (Paz, 2007).



Grafica 12. Valores promedio de la Biomasa de micelio en la época de secas

Al realizar el análisis estadístico (Apéndice 1) del contenido de micelio externo, se obtuvo que los mayores contenidos de biomasa de micelio se presentan durante la época de lluvias. En la época de invierno se observan cantidades de micelio similares, lo anterior se podría relacionar con la humedad presente en las épocas de lluvias e invierno, ya que al presentarse un gran porcentaje de humedad esta permite que el micelio se desarrolle de manera homogénea dentro del suelo, para permitir la absorción de agua. Dentro del análisis de la época de secas se observa una menor cantidad de micelio comparada con la registrada en las épocas anteriores, mostrando una diferencia estadística significativa con la época de lluvias (Gráfica 13). Durante la época de secas el micelio se presenta en mayor proporción en la zona incendiada, esto puede ser debido a que el hongo explora más área desarrollando una mayor cantidad de hifas para absorber el agua que se presenta durante esta época (Paz, 2007), en la que se presenta un menor porcentaje de humedad.



Gráfica 13. Evaluación del micelio dentro del suelo durante las tres épocas. La primera letra indica la época (l=lluvias, i=invierno, s=secas), la segunda letra indica la zona (c= sin incendio, i=incendio) y la tercera letra la profundidad del suelo (s=superficial, m=media, p=profunda). Las barras con letras diferentes indican un diferencia estadística significativa (Tukey $p \geq 0.05$)

9.6. Estabilidad de agregados

Los agregados del suelo son importantes para mantener la porosidad del suelo y proveer estabilidad contra la erosión, así mismo, la estabilidad de los agregados tiene el potencial de servir como un indicador sensible de la degradación del suelo (Morell *et al.*, 2009) Para el estudio, en cuanto a la evaluación de estabilidad de agregados, se observó que durante las tres épocas de estudio, ambas zonas presentaron una agregación alta de las partículas del suelo, excepto en el mes de Marzo en la zona conservada, en la cual se registró una agregación de mediana a alta (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estabilidad de agregados del suelo registrada en ambas zonas

Mes	Zona de incendio	Zona sin incendio
Agosto (2009)	Agregación Alta	Agregación Alta
Septiembre (2009)	Agregación Alta	Agregación Alta
Octubre (2009)	Agregación Alta	Agregación Alta
Enero (2010)	Agregación Alta	Agregación Alta
Marzo (2010)	Agregación Alta	Agregación Mediana-Alta
Abril (2010)	Agregación Alta	Agregación Alta

La estabilidad de agregados alta, observada durante el muestreo se puede explicar si se toma en cuenta que en las zonas de estudio se presenta un contenido medio de materia orgánica (M.O). La relación entre la cantidad de M.O dentro del suelo y el estado de agregación que presenta este, es reportada por Paz (2007), mencionando que la estabilidad de agregados es debida a la descomposición de la M.O por la acción microbiana, ya que esta origina polisacáridos que forman macroagregados en el suelo, mismos que funcionan como granuladores de las partículas minerales (Buckman y Brady, 1991). La materia orgánica constituye un fuerte agente de unión entre las partículas minerales del suelo y asegura su

estabilidad, en especial en suelos alofánicos, además de tener también un efecto hidrofóbico en la superficie de las partículas minerales, disminuyendo la velocidad de humectación de los agregados y reduciendo el riesgo de colapso (Meza-Pérez y Geissert-Kientz, 2006). La estabilidad de agregados también se puede explicar por la presencia de algunos microorganismos del suelo, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) juegan un papel relevante en la agregación del suelo, debido principalmente a dos mecanismos: una acción mecánica, que participa en la unión de partículas, y una acción cementante por la presencia de polisacáridos extracelulares. La acción mecánica recae en el micelio externo de los hongos, el cual es un importante agente de enlace, al participar en el envolvimiento de las partículas (Figura 12) y producción de agentes cementantes, que incrementan la resistencia a la erosión. En el caso de los polisacáridos extracelulares, éstos actúan como gomas donde las partículas pueden estar adheridas, debido a que las hifas micorrízicas exudan productos que se almacenan y acumulan en su superficie, uno de estos productos fúngicos, presentes sólo en HMA, es la glomalina (González-Chávez *et al.*, 2004).

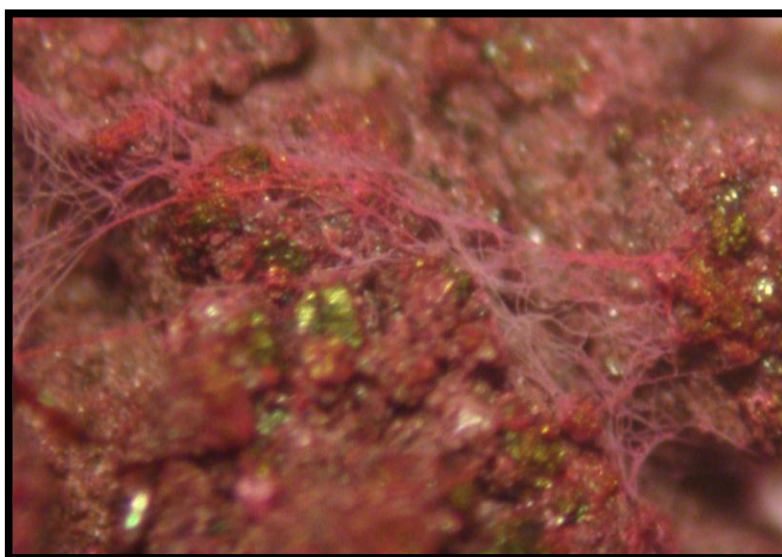


Figura 12. Agregación de partículas minerales del suelo por las hifas

9.7. Análisis de Correspondencias canónicas

El análisis de correspondencias canónicas es un método multivariado para establecer relaciones entre el conjunto de las especies con las características del ambiente. El método tiene un interés ecológico y es diseñado para extraer las características ambientales que influyen en la permanencia de las especies en un hábitat determinado. Con este método, mediante un diagrama, se pueden describir y visualizar las diferencias entre las preferencias de hábitat de las especies (Palmer, 1993; ter Braak and Verdonschot, 1995). En el estudio se evaluó la relación que se presenta entre las características del suelo de las zonas de muestreo, con la riqueza de especies de Hongos ectomicorrízicos presentes en las mismas. Los valores obtenidos permitieron agrupar a las especies de acuerdo a la preferencia por alguna zona de estudio. Los valores negativos se asocian con la zona sin incendio, y los positivos con la zona incendiada. La variable densidad real al presentar un número negativo se relaciona con la zona sin incendio, es decir tuvo mayor peso en la permanencia de especies dentro de este sitio (Figura 13). Este análisis mostró que la única propiedad del suelo que influyó sobre la riqueza de especies en ambas zonas de estudio fue la densidad real (Cuadro 11). Esto porque la densidad real es determinante en cuanto al acomodo de las partículas minerales del suelo, permitiendo la formación de macroporos, mismos que facilitan el desarrollo de las hifas de los hongos dentro del suelo, además de que confiere al suelo una buena aireación y un drenaje eficiente.

Cuadro 11. Valores de las correspondencias canónicas de las especies en el muestreo

AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
Especie	CCA	Especie	CCA	Especie	CCA
<i>Amanita sp.</i>	-0.4838	<i>Agrocybe sp.</i>	-1.118	<i>Agaricus sp.</i>	4.1231
<i>Inocybe sp.</i>	-0.4838	<i>Amanita caesarea</i>	-1.0062	<i>Clavulina sp.</i>	-0.2425
<i>Laccaria laccata</i>	1.7913	<i>Clytocybe decembris</i>	-1.118	<i>Cortinarius sp.</i>	-0.2425
<i>Laccaria proxima</i>	-0.4838	<i>Entoloma sp.</i>	0.8944	<i>Entoloma hirtipes</i>	-0.2425
<i>Lactarius sp.</i>	-0.4838	<i>Entoloma sp.</i>	-1.118	<i>Inocybe sp.</i>	-0.2425
<i>Lycoperdon perlatum</i>	-0.4838	<i>Inocybe sp.</i>	-1.118	<i>Lactarius porninsis</i>	-0.2425
<i>Russula cyanoxantha</i>	-0.4838	<i>Laccaria maritima</i>	0.8944	<i>Ramaria sp.</i>	-0.2425
				D.R	-1

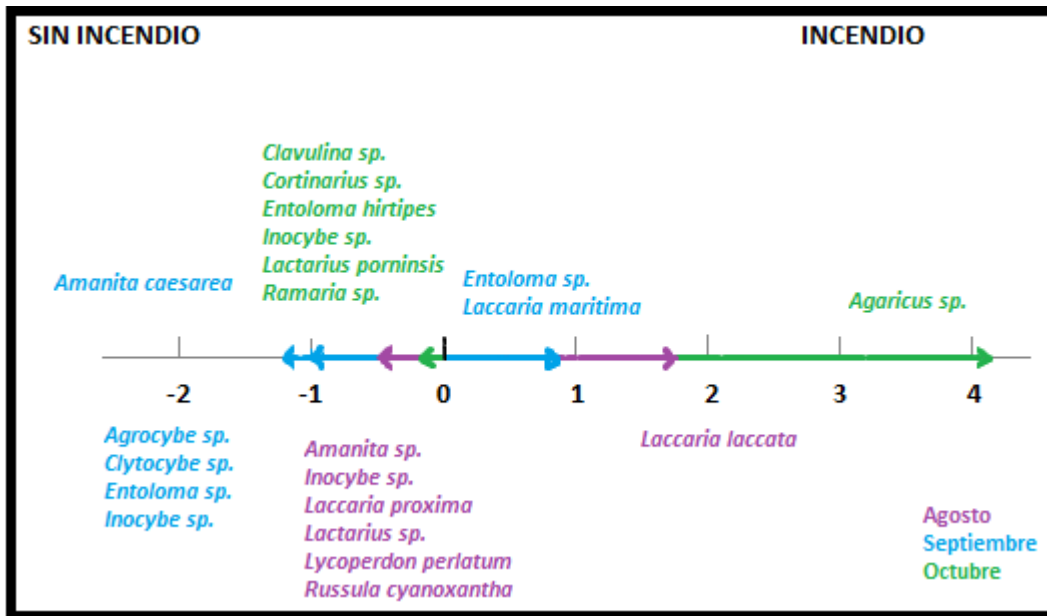


Figura 13. Correspondencias canónicas de los hongos ectomicorrízicos en el estudio

Dentro de la zona de incendio, se observa un número menor de especies comparado con las presentes en la zona sin incendio. Conocerlas es de gran importancia, ya que estas pueden funcionar como fuentes de inóculo micorrízico para la recuperación de esta zona. Las especies con alto potencial micorrízico dentro de esta zona son *Agaricus sp.* y *Laccaria laccata*, esto debido a que los valores que presentaron fueron los más altos. *Laccaria laccata* al ser un hongo comestible representaría una opción ideal para la recuperación de este bosque, ya que al introducirla, además de mejorar la supervivencia de las plantas, se podrían obtener beneficios económicos por la venta de los esporomas para el consumo humano.

10. CONCLUSIONES

- ❖ El incendio efectuado en una zona del bosque de *Pinus hartwegii* en el año 2003, provocó cambios en algunas propiedades físicas y químicas del suelo como: una disminución en el % de humedad, debido al efecto de hidrofobicidad, un ligero aumento del pH, debido a la deposición de cenizas y una disminución de la MO, características que influyen en las propiedades biológicas del suelo.
- ❖ En cuanto a las propiedades biológicas, los cambios se observaron en la riqueza de especies de HECM, ya que esta fue mayor en la zona sin incendio, lo cual se corroboró con el índice de Shannon-Weaver, indicando un valor mayor en esta zona. Dentro de esta área del Parque al presentarse un tipo de suelo Andisol, los HECM juegan un papel muy importante, ya que ayudan a la solubilización del Fósforo que se encuentra fijado en el alofano.
- ❖ De acuerdo a los contenidos de micelio externo, la zona sin incendio presentó un mayor porcentaje de área cubierta, así como una mayor biomasa. Esto es de gran importancia debido a que el micelio influye en la estabilidad de agregados del suelo, al actuar como redes aglomerando las partículas minerales.
- ❖ La propiedad del suelo que tuvo mayor importancia en cuanto a la riqueza de especies de ambas zonas de estudio, fue la densidad real.
- ❖ Con el análisis de correspondencias canónicas se encontró que la especie *Laccaria laccata*, al ser una especie comestible, es una fuente de inóculo potencial nativo para esta zona del bosque de *Pinus hartwegii*, por lo que puede ser utilizada para su reforestación.

11. REFERENCIAS

- ※ Almendros, G., González-Vila, F. J. y Martín, F. 1989. Alteraciones del humus en bosques mediterráneos continentales afectados por incendios. *Option Méditerranéennes - Série séminaires*. No 3. 95-99.
- ※ Alvear, M., Reyes, F., Morales, A., Arriagada, C. y Reyes, M. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral*. Córdoba. Vol.17. No.1. 113-122.
- ※ Anderson, C. I., Bastias, B. A., Genney, D R., Parkin, P. I. and. Cairney, J. W. G. 2007. Basidiomycete fungal communities in Australian sclerophyll forest soil are altered by repeated prescribed burning. *Australia. Mycological Research* 111. 482 -486.
- ※ Báez-Pérez, A. L., Sánchez-Yáñez, J. M. y Villegas, H. J. 2010. Efecto de la simbiosis *Pisolithus tinctorius-Fraxinus uhdei*, bajo tres fuentes de N (NO₃⁻, NH₄⁺ y Urea). *Ciencia Nicolaita*. No. Especial. 1-7.
- ※ Borie, F. R., Rubio, R., Morales, A. 2003. Relación entre la densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Rev. Chilena de Historia Natural*. Vol. 73. No 4. 749-756.
- ※ Buckman, H. O. y Brady, N. C. 1991. *Naturaleza y propiedades de los suelos*, UTHEA, Editorial Limusa, México, 590 p.
- ※ Buscardo, E., Rodríguez-Echeverría, S., De Angelis, P., Freitas, H. 2009. Comunidades de hongos ectomicorrízicos en ambientes propensos al fuego: compañeros esenciales para el restablecimiento de pinares mediterráneos. *Ecosistemas*. Vol.18. No 2. 55-63.
- ※ Capulín, G. J., Mohedano, C. L. y Razo, Z. R., 2010, Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de Pino afectado por incendio, *Terra Latinoamericana*, Vol. 28, No 1.79-87.

- ※ Carrera, N. A., López, R. G. F., 2004, Manejo y evaluación de las ectomicorrizas en especies forestales, *Revista Chapingo, Serie Ciencias forestales y del ambiente* Vol. 10. No. 2. 93-98.
- ※ Chávez, M. D., Pereira, C. G., Machuca, H. A. 2009. Efecto de tipos de inóculos de tres especies fúngicas en la micorrización controlada de plántulas de *Pinus radiata*. *BOSQUE*. Vol. 30. No.1. 4-9.
- ※ Cornejo, R. P. E. 2006. Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrícicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España. 288 p.
- ※ Cruz, U. B. S. 1999. Micorrización en la conservación de los bosques. *Ciencia Ergo Sum*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. México. Vol. 6. No. 2. 159-164.
- ※ De Bellis, T., Kernaghan, G., Bradley, R. and Widden, P. 2006. Relationships between Stand Composition and Ectomycorrhizal Community Structure in Boreal Mixed-Wood Forests. Canada. *Microbial Ecology*. Volume 52, 114-126.
- ※ Delgado, F. A., Villegas, R. M, Cifuentes, B. J. 2005. Glosario ilustrado de los caracteres macroscópicos en Basidiomycetes con himenio laminar. Facultad de Ciencias UNAM. México. 84 p.
- ※ Deshmukh, S.K., Rai, M.K. 2005. Biodiversity of fungi, Their role in Human Life. Science Publishers, Inc, USA. 460 p.
- ※ Díaz-Barriga, V. H. 2002. Hongos macromicetos comestibles, venenosos, medicinales y destructores de la madera, de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, Sierra Chincua, Michoacán, México. Fundación Produce, Michoacán, A. C. Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). México. 310 p.
- ※ Durán, J., Gallardo, A., Fernández-Palacios, J. M. 2004. Efecto del fuego sobre la biomasa microbiana del suelo de ecosistemas de pino canario (*Pinus canariensis*). *Cuaderno Sociedad Española de Ciencias Forestales*. No. 20. 181-186.

- ※ Espinoza-Martínez, L. A., Rodríguez-Trejo, D. A. y Zamudio-Sánchez, F. J. 2008. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* dos y tres años después de quemas prescritas. *Agrociencia*. Colegio de Postgraduados, México. Vol. 42. No. 6. 717-730.
- ※ Eyssartier, G., Masson-Deblaize, I. y Voly, P. 2008. 1001 Setas. Editorial Larousse. Madrid. España. 264 p.
- ※ Fernández, B., Gómez, S., Peñalver, F., Olaizola, J., Martín-Pinto, P., Oria de Rueda, J. A. 2007. Evolución post-fuego de las comunidades fúngicas asociadas a matorral mediterráneo dominado por *Cistus ladanifer*. Cuarta Conferencia internacional sobre Incendios forestales. Sesión Temática 8. *Wildfire 2007*. Sevilla, España. 1-8.
- ※ Fernández de Ana-Magán, F. J. 2004. El papel de los hongos en los suelos forestales. Instituto de Biodiversidad Agraria e Desenvolvimento Rural. *Recursos Rurais. Serie Cursos*. No 1. 9-11
- ※ Ford, I. N. 1984. Dinámica Mineral en el suelo, algunos puntos de referencia para su estudio. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de suelos. Chapingo. México. 577 p.
- ※ Futai, K., Taniguchi, T. and Kataoka, Z. R. 2008. ectomycorrhizae and their importance in forest ecosystems. *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Siddiqui et al. (eds.). 241-285.
- ※ Garza, O. F. 2002. Macromicetos, ectomicorrizas y cultivos de *Pinus culminicola* en Nuevo León. *Ciencia UANL*. Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey México. Vol.5. No. 2. 204-210.
- ※ González, M. E. 2002. Fuegos no prescritos: Su efecto sobre la dinámica -en el corto tiempo- del CO₂, N y C/N en suelos de la provincia de Catamarca. Congreso Regional de Ciencia y tecnología NOA 2002. Sección: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología. Catamarca, Argentina. 1-15.
- ※ González-Chávez, M. C. A., Gutiérrez-Castorena, M.C. y Wright, S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. Universidad Autónoma Chapingo México. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 22. No. 4. 507-514.

- ✧ Heredia, A. C., 2009. Diversidad de ectomicorrizas y micelio extraradical en Bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schldl. & Cham., en el Parque Nacional Izta-Popo. Tesis de licenciatura. FES ZARAGOZA. UNAM. México. 85 p.
- ✧ Hernández, G., M.A., Granados, S. P. 2006. El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl- Zoquiapan y el Impacto ecológico-social de su deterioro. Universidad Autónoma Chapingo, México. *Rev. Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. Vol. 12. No. 2. 101-109.
- ✧ Izzo, A., Canright, M., Bruns, T.D. 2006. The effects of heat treatments on ectomycorrhizal resistant propagules and their ability to colonize bioassay seedlings. *Mycological Research* 110. University of California at Berkeley, Department of Plant and Microbial Biology, 321 Koshland Hall, Berkeley, CA 94720-3102, USA. 196 - 202.
- ✧ Jackson, L. M. 1982. Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega. España. 662 p.
- ✧ Ladrach, W. 2009. El efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales en "Control de Incendios en bosques y áreas silvestres". ISTF Noticias. Sociedad Internacional de Forestales Tropicales. Informe especial. Mayo 2009. USA. <http://www.istf-bethesda.org> (consultada el 6 de Noviembre de 2010).
- ✧ Laessle, T. del Corte, A. 1997. The Mushroom Book. Editorial Blume. España. 256 p.
- ✧ Lohmeyer, T. R. and Künkele, U. 2006. Setas, Identificación y Recolección. Editorial Parragon Ltd. Barcelona. España. 255 p.
- ✧ Martínez, B. L. W., Ramos, R. M.P., Castillo, M. I. Bonilla, V. y Sotolongo, S. R. 2004. Efectos de quemas prescritas sobre la propiedades del suelo en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet, en Cuba. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente*. Vol. 10. No. 1. 31-35.
- ✧ Martínez de Aragón, J., Bonet, J.A., y Colinas, C. 2001. Potencial de inóculo micorrícico en bosques quemados de la comarca del Solsonès (Lleida) un año después del incendio. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Granada. España. 402-407.
- ✧ Meza-Pérez, E. y Geissert-Kientz, D., 2006, Estabilidad de estructura en Andisoles de uso forestal y cultivados, *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 2, abril-junio, Universidad Autónoma Chapingo México, 163-170.

- ※ Molina L. M., Mahecha, L. L., y Medina S. M. 2005. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Agrarias. *Revista Colombiana de Ciencias pecuarias*. Vol. 18. No. 2.162-17.
- ※ Morell, F., Hernández, A., Yenía Borges, Y. y Marentes, F. L. 2009. La actividad de los Hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales*. Vol. 30. No. 4. 25-31.
- ※ NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM) NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. 71 p.
- ※ Odum, E. P., Banett, G. W. 2006. Fundamentos de Ecología. 5ta Edición. Thomson. México. 598 p.
- ※ Palmer, M. W. 1993. Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology*. Vol. 74. No. 8. 2215-2230.
- ※ Paz, N. I. E. 2007. Relación entre la longitud de micelio externo de hongos micorrízicos y algunas propiedades del suelo bajo dos sistemas de sombrero en café, Meseta de Popayán. Colombia. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. Vol. 5. No.1. 1-6.
- ※ Pera, J. y Parladé, J. 2005. Inoculación controlada con hongos ectomicorrízicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: Estado actual en España. *Investigaciones agrarias: Sistema de Recursos Forestales*. Vol. 14. No. 3. 419-433.
- ※ Pérez, G. C. A., López, B. J. y Vela, C. G. 2009. Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en el volcán El Pelado, Centro de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*. México. No. 69. 7-20.
- ※ Pérez, M. J. y Read, D. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *INTERCIENCIA*. Vol. 29. No. 5. 239-245.

- ※ Pérez- Moreno, J., Lorenzana, F. A., Carrasco, H. V. y Yescas-Pérez, A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexos. Colegio de Postgraduados. SEMARNAT. CONACyT. Montecillo. Texcoco. Estado de México. 167 p.
- ※ Porta, C. J., López-Acevedo, R. M. y Roquero, de la L. C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 807 p.
- ※ Quiñónez, M. M. 2007. Diversidad y abundancia de hongos ectomicorrizogenos en comunidades forestales del Municipio de Bocoyna, Chihuahua. Disertación presentada como requisito parcial para obtener el Grado de Doctor in Philosophia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia, Secretaría de Investigación y Posgrado, Chihuahua, Chih., México. 87 p.
- ※ Reyes, J. I. 1996. Fundamentos teórico prácticos de temas selectos de la Ciencia del suelo. Parte I. UAM. México. 257 p.
- ※ Ricklefs, R. E. 1998, Invitación a la Ecología, La economía de la naturaleza. 4ta Edición. Editorial Médica Panamericana. España. 534 p.
- ※ Rillig, M. C. and Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*. No. 171. 41-53.
- ※ Rodríguez, T. D. A., Martínez, H. H. C. y Ortega B. V. 2004. "Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*". En: Incendios forestales en México: Métodos de evaluación. Capítulo 7. UNAM. México. 163 p.
- ※ Sáenz, M. D. A. 2006. Efecto de un incendio forestal sobre grupos funcionales bacterianos edáficos en una plantación de *Eucaliptus cinerea* (Suesca, Cundinamarca). Trabajo de grado para obtener el Título de Microbiólogo Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D. C. 75 p.
- ※ Sánchez, C. M. J y Martínez, H. M. 2007. Los Hongos Ectomicorrízicos del Parque Nacional Izta-Popo y Zona de Influencia: Guía de campo. Laboratorio de Biología de Suelos. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. 43 p.
- ※ Sánchez-Colín, M.J, 2004, Microbiología de suelos: Técnicas, métodos y medios de cultivo, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, 55 p.

- ※ Sánchez-Colín, M. J. 2005. Micorrizas, aspectos generales. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México. 96 p.
- ※ SEMARNAT, 2009, <http://iztapopo.conanp.gob.mx>, (consultada el 19 de Noviembre de 2010).
- ※ Siebe, C., J. R., Stahr, Y. K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelos en el campo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicaciones. Esp.* Chapingo. Edo. de México. México. 57 p.
- ※ ter Braak, C. J. F. and Verdonschot, P. E. M. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*. Vol. 57. No. 3. 255-289.
- ※ Ubeda, X. y Sala, M. 1996. Cambios en la física del suelo e incremento de la escorrentía y la erosión tras un incendio forestal. IV Reunión de Geomorfología, Grandal d' Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J. Eds. *Sociedad Española de Geomorfología*. 559-572 p.
- ※ Vaquerizo, A., Peñalver, F., Oria-Rueda, J. A., Olaizola, J. y Martín-Pinto, P. 2004. La prevención de incendios forestales y los recursos micológicos; influencia del fuego en la riqueza, diversidad y producción de hongos en montes mediterráneos. Cuarta conferencia Internacional sobre incendios forestales. España. 1-8.
- ※ Vega, J. A. 2004. Recuperación de suelos en montes incendiados. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. *Recursos Rurais. Serie Cursos*, 1. 57-60 p.
- ※ Villarreal-Ruiz, L. 1996. Los hongos silvestres: componentes de la biodiversidad y alternativa para la sustentabilidad de los bosques templados. Informe final, Proyecto CONABIO C066. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo. Edo. de Méx. México.
- ※ Zulueta, R. R, Trejo, A. D., Trigos, L. A. 2007. El maravilloso mundo de los Hongos. Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz. México. 179 p.

A decorative border featuring black floral motifs, butterflies, and swirling lines on a light gray background, framing a central white box.

12. APÉNDICE 1

Análisis Estadístico

Pruebas de rango múltiple de Lluvias-Conservada (Sin incendio) vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Profunda	6	0.00386167	X
Media	6	0.00476667	X
Superficial	6	0.00596667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	0.000905	0.00636921
Media - Superficial	-0.0012	0.00636921
Profunda - Superficial	-0.002105	0.00636921

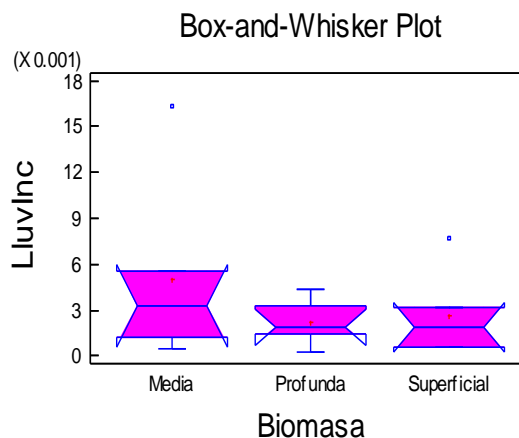
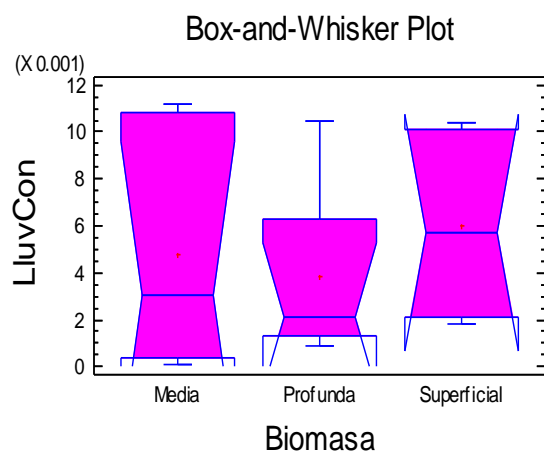
* Denota una diferencia estadística significativa

Pruebas de rango múltiple de Lluvias-Incendio vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Profunda	6	0.0022	X
Superficial	6	0.00265	X
Media	6	0.00501667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	0.00281667	0.00570332
Media - Superficial	0.00236667	0.00570332
Profunda - Superficial	-0.00045	0.00570332

* Denota una diferencia estadística significativa



Pruebas de rango múltiple de Invierno-Conservada (sin incendio) vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Media	6	0.00235	X
Profunda	6	0.00326667	X
Superficial	6	0.00596667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	-0.000916667	0.00632553
Media - Superficial	-0.00361667	0.00632553
Profunda - Superficial	-0.0027	0.00632553

* Denota una diferencia estadística significativa

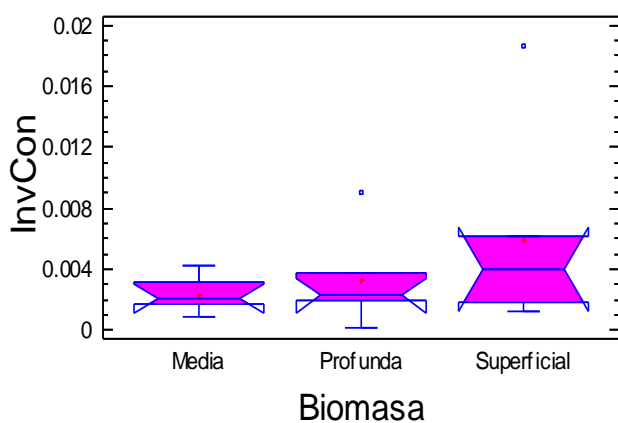
Pruebas de rango múltiple de Invierno-Incendio vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Profunda	6	0.00171667	X
Media	6	0.0019	X
Superficial	6	0.00296667	X

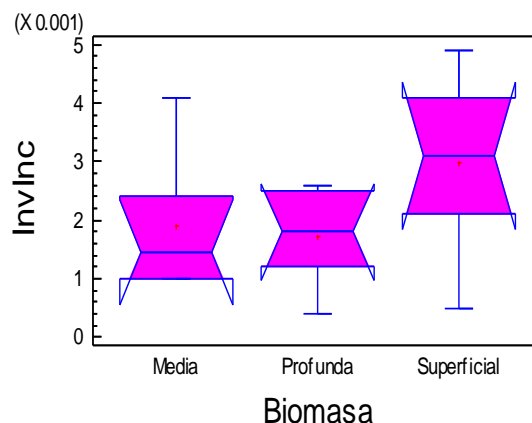
Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	0.000183333	0.0018907
Media - Superficial	-0.00106667	0.0018907
Profunda - Superficial	-0.00125	0.0018907

* Denota una diferencia estadística significativa

Box-and-Whisker Plot



Box-and-Whisker Plot



Pruebas de rango múltiple de Secas-Conservada (Sin incendio) vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Superficial	6	0.00105	X
Profunda	6	0.00113333	X
Media	6	0.00116667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	0.0000333333	0.000905421
Media - Superficial	0.000116667	0.000905421
Profunda - Superficial	0.0000833333	0.000905421

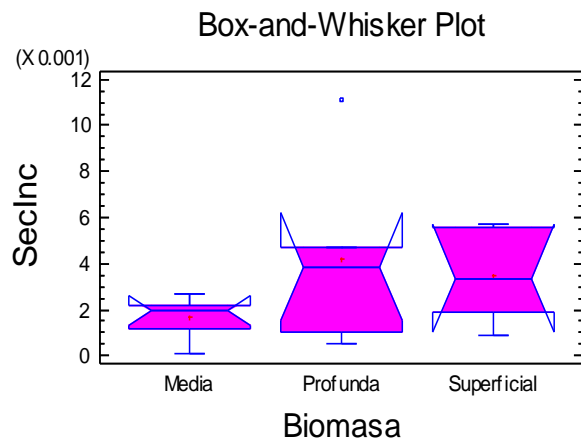
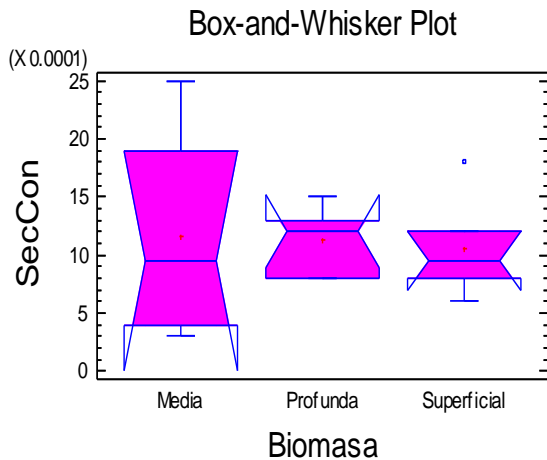
* Denota una diferencia estadística significativa.

Pruebas de rango múltiple de Secas-Incendio vs Biomasa

Biomasa	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
Media	6	0.00168333	X
Superficial	6	0.00346667	X
Profunda	6	0.00416667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
Media - Profunda	-0.00248333	0.0038658
Media - Superficial	-0.00178333	0.0038658
Profunda - Superficial	0.0007	0.0038658

* Denota una diferencia estadística significativa

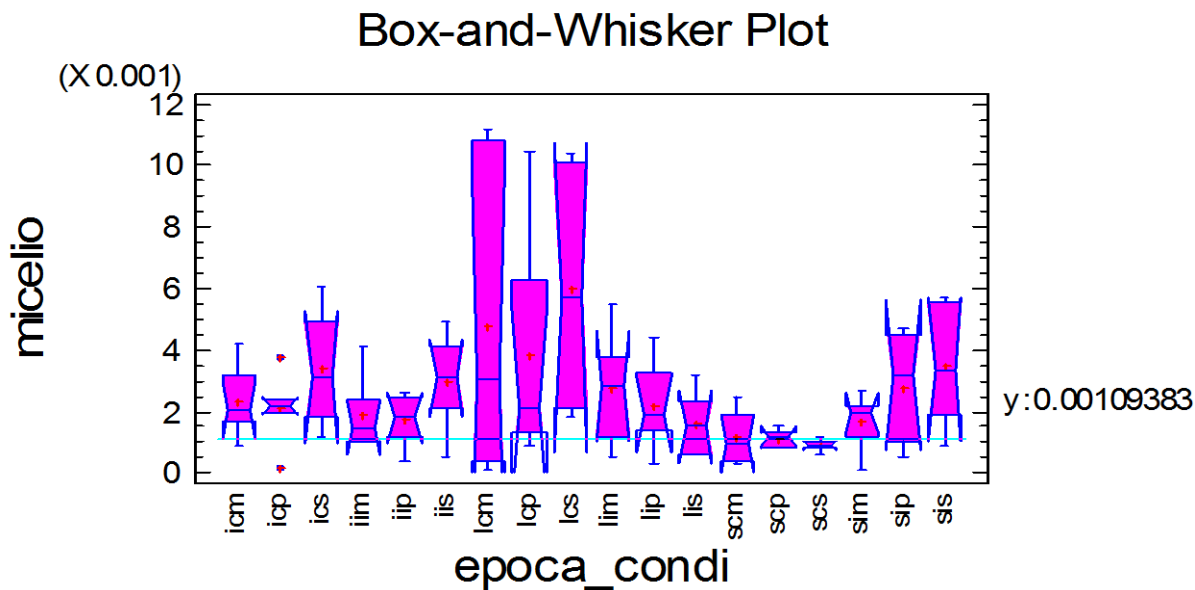


Pruebas de rango múltiple de Micelio vs Epoca_condición_profundidad

epoca_condi_prof	Conteo	Medias	Grupos homogéneos
scs	5	0.0009	X
scp	6	0.00113333	X
scm	6	0.00116667	X
lis	5	0.00164	XX
sim	6	0.00168333	XX
iip	6	0.00171667	XX
iim	6	0.0019	XX
icp	5	0.00212	XX
lip	6	0.0022	XX
icm	6	0.00235	XX
lim	5	0.00276	XX
sip	5	0.00278	XX
iis	6	0.00296667	XX
ics	5	0.00342	XX
sis	6	0.00346667	XX
lcp	6	0.00386167	XX
lcm	6	0.00476667	XX
lcs	6	0.00596667	X

Contraste	Diferencia	+/- Límites
lcs - scm	*0.0048	0.00453676
lcs - scp	*0.00483333	0.00453676
lcs - scs	*0.00506667	0.00475819

* Denota una diferencia estadística significativa.





A decorative border featuring black floral motifs, including flowers and butterflies, with swirling lines, set against a background of horizontal grey lines.

12. APÉNDICE 2

Descripción de las especies ectomicorrízicas recolectadas en el estudio

Especie	Descripción
 <p data-bbox="516 667 643 695"><i>Agaricus sp</i></p>	<p data-bbox="824 537 1398 716">Píleo de 2.5 cm, convexo aplanado, color café claro y anaranjado en el centro. Láminas de gris a rojizo, adnadas semilibres. Estípite de 5.5 cm, bulboso, color blanco cremoso con manchas color café. Anillo ascendente.</p>
 <p data-bbox="553 947 696 974"><i>Agrocybe sp.</i></p>	<p data-bbox="824 753 1398 1079">Píleo subgloboso que evoluciona a convexo, de color marrón, según madura este color se va aclarando, la superficie de la cutícula es arrugada, el margen es excedente. Láminas adnatas o ligeramente sinuadas por un diente, de color blanco cremoso, sus aristas son crenadas y ligeramente más claras. Estípite cilíndrico, largo, esbelto, fibroso, lleno y atenuado en la base. Mide hasta 16 cm.</p>
 <p data-bbox="321 1499 699 1526"><i>Amanita caesarea</i> (Scop:Fr.) Pers.</p>	<p data-bbox="824 1117 1398 1556">Píleo de 5 a 12 cm de diámetro, ovoide en etapa juvenil y plano convexo, borde aserrado, superficie lisa, húmeda a subviscosa de colora amarillo claro, amarillo-anaranjado al final, brillante sin ornamentación, unión del contexto homogéneo. Himenóforo lamelado, láminas juntas, subadheridas, anchas, lisas, de color blanco. Estípite de 50 a 100 mm, central, cilíndrico, de color blanco a cremoso, consistencia carnosofibroso, contexto hueco de color blanco, velo apical colgante, textura membranacea. Volva globosa a triangular, membranosa, blanca.</p>
 <p data-bbox="540 1724 675 1751"><i>Amanita sp.</i></p>	<p data-bbox="824 1656 1398 1793">Píleo de 5 cm de diámetro, color blanco y grisáceo en el centro. Láminas numerosas frágiles blancas y libres. Estípite de 6.5 cm, blanco, con escamas, con volva consistente.</p>



Especie	Descripción
 <p data-bbox="574 646 716 678"><i>Clavulina sp.</i></p>	<p data-bbox="813 520 1382 625">Ramas color blanco cremoso a amarillento en las puntas, ramificadas, estriadas. Cuerpo fructífero de 2.5 cm, poco ramificado.</p>
 <p data-bbox="586 856 704 951"><i>Clitocybe decembris</i></p>	<p data-bbox="813 793 1382 1010">Píleo de 6cm de diámetro, convexo, poco deprimido en el centro, color café claro oscureciéndose en el centro, brillante. Láminas blancas, apretadas, numerosas, decurrentes. Estípite de 6.5 cm, café claro, con algunas manchas más oscuras, textura fibrosa.</p>
 <p data-bbox="472 1178 634 1209"><i>Cortinarius sp.</i></p>	<p data-bbox="813 1115 1382 1255">Píleo de 2 cm, convexo, color café rojizo. Láminas anchas, adnadas, color café a marrón, semilibres, margen con cortinas. Estípite de 4 cm, color de cremoso a rosado, carne café claro.</p>
 <p data-bbox="258 1696 691 1728"><i>Entoloma hirtipes</i> (Schum.:Fr.) Moser</p>	<p data-bbox="813 1444 1382 1696">Píleo de 3.5 cm, acampanado a convexo, con mameloma en el centro, liso, con brillo sedoso, borde estriado, color grisáceo a rojizo (marrón). Láminas de gris a rosa pálido, anchas, escotadas. Estípite de 5.5 cm, grisáceo claro, quebradizo, estrías fibrosas longitudinales. Carne olor a aceite de pescado. Esporada rosa.</p>



Especie	Descripción
 <p data-bbox="542 663 688 688"><i>Entoloma sp.</i></p>	<p data-bbox="813 472 1382 573">Píleo de 3.5 cm, convexo, color café oscuro, margen entero. Láminas distantes, color café claro. Estípote de 5.5 cm, liso, color café.</p>
 <p data-bbox="509 1010 656 1035"><i>Entoloma sp.</i></p>	<p data-bbox="813 819 1382 995">Píleo de 4 cm, convexo, color blanco amarillento, con un pequeño mameloma en el centro, margen desgarrado. Láminas distantes, blanquecinas. Estípote de 5 cm blanco, de color crema en la base, liso.</p>
 <p data-bbox="563 1274 688 1299"><i>Inocybe sp.</i></p>	<p data-bbox="813 1144 1382 1320">Píleo de 2.5 cm, acampanado, color blanco grisáceo, un poco mamelonado, en el centro de color café claro, margen estriado. Láminas color ocre cremoso, anchas, adnadas. Estípote de 2.7 cm, color blanco grisáceo, carnoso, liso.</p>
 <p data-bbox="563 1677 688 1703"><i>Inocybe sp.</i></p>	<p data-bbox="813 1480 1382 1656">Píleo de 1.5 cm, color café rojizo, con mameloma en el centro en forma de pico. Láminas libres, adnadas, color marrón a café rojizo. Estípote de 4.5 cm, color café rojizo, cuando se oxida se vuelve negro, hueco, carne color café.</p>

Especie	Descripción
 <p data-bbox="537 512 667 541"><i>Inocybe</i> sp.</p>	<p data-bbox="813 321 1385 537">Píleo de 3 cm, convexo, mamelonado, color café rojizo y más oscuro en el centro. Láminas anchas adnadas, color marrón con bordes blancos. Estípite de 4.5 cm de blanco en la parte del píleo hasta rojizo en la base, forma bulbosa, carnosos.</p>
 <p data-bbox="630 722 753 863"><i>Laccaria Laccata</i> (Scop.: Fr.) Berk. & Br.</p>	<p data-bbox="813 600 1385 884">Píleo de 10 a 50 mm de diámetro, con centro ligeramente deprimido, escamoso o afieltrado, color de pardo rojizo a rosa, al secarse se torna más pálido, margen denticulado, unión del contexto homogéneo. Himenóforo lamelado, láminas poco separadas, gruesas, espaciadas y de color rosa. Estípite de 20 a 60 mm, central, fibroso y robusto, de color carne.</p>
 <p data-bbox="537 1157 786 1226"><i>Laccaria</i> <i>maritima</i> Theodor. (Singer).</p>	<p data-bbox="813 972 1385 1293">Píleo de 26 mm de diámetro, hundido en el centro, superficie color café claro, mate, con escamas, convexo, con margen desgarrado. Himenóforo lamelado, láminas poco separadas, adheridas, anchas, ligeramente onduladas, sin ramificación, de color lila. Estípite de 26 a 49 mm, central cilíndrico, base globosa, consistencia flexible, contexto hueco, color café claro en la superficie a tono azulado en la base.</p>
 <p data-bbox="537 1486 732 1556"><i>Laccaria</i> <i>próxima</i> (Boud.) Orton.</p>	<p data-bbox="813 1365 1385 1648">Píleo de 63 a 70 mm de diámetro, plano-convexo, ligeramente deprimido, de color carne, margen de curvado a recto, borde crenulado, superficie seca, mate. Láminas poco separadas, sin ramificación, de color carne rojiza. Estípite de 70 a 98 mm, central, cilíndrico, ligeramente bulboso de color carne, consistencia carnosos-fibriloso, contexto sólido de tono café claro.</p>

Especie	Descripción
 <p data-bbox="618 533 732 667"><i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray</p>	<p data-bbox="813 470 1382 684">Píleo de 63 a 72 mm, deprimido en el centro, con brillo, de color café amarillento con manchas más oscuras verdosas. Láminas unidas al estípite, muy juntas, de color anaranjado cremoso. Estípite de 45 a 59 mm de largo, de color naranja cremoso y hueco.</p>
 <p data-bbox="561 867 721 957"><i>Lactarius porninsis</i> Roll.</p>	<p data-bbox="813 802 1382 1016">Píleo de 5.5 cm de diámetro, convexo, color anaranjado. Láminas color crema adheridas, adnatas, segregan leche blanca. Estípite de 5 cm, cilíndrico, color blanco cremoso, con manchas rojizas o rosadas, hueco. Sabor, al principio suave y después amargo.</p>
 <p data-bbox="358 1377 651 1404"><i>Lactarius chrysorrheus</i> Fr.</p>	<p data-bbox="813 1188 1382 1362">Píleo de 6 a 4 cm de diámetro, convexo, un poco deprimido en el centro, de color anaranjado a rojizo en el centro, margen enrollado. Láminas adheridas, adnatas de color crema. Estípite de 4 cm, color cremoso.</p>
 <p data-bbox="540 1633 680 1661"><i>Lactarius</i> sp.</p>	<p data-bbox="813 1507 1382 1722">Píleo de 6 cm de diámetro, convexo, deprimido en el centro, color anaranjado, oscuro en el centro y aclarándose hacia el margen, margen enrollado. Láminas adnatas, color crema. Estípite de 4 cm, color naranja cremoso, con algunas manchas rojizas.</p>

Especie	Descripción
 <p data-bbox="646 449 766 478"><i>Lepista sp.</i></p>	<p data-bbox="813 386 1382 527">Píleo de 4.5 cm de diámetro, convexo, un poco deprimido en el centro, color café claro, sedoso, margen entero. Láminas color café claro. Estípite de 3.5 cm, color café claro.</p>
 <p data-bbox="444 905 565 934"><i>Lepista sp.</i></p>	<p data-bbox="813 716 1382 898">Píleo de 4 cm, convexo, deprimido en el centro, color anaranjado rojizo, oscureciéndose en el centro, margen desgarrado. Láminas amarillas, adheridas. Estípite de 3.5 cm, color crema a anaranjado.</p>
 <p data-bbox="521 1167 764 1234"><i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.</p>	<p data-bbox="813 1045 1382 1255">Gastrocarpo de forma globosa, obtusa, peridio de color café a violáceo, cubierto de finas escamas cónicas con el aspecto de espinas. En la parte superior presenta un poro el cual permite la liberación de las esporas. Gleba polvorienta de color oliváceo a café oliváceo.</p>
 <p data-bbox="586 1444 737 1604"><i>Lyophyllum</i> <i>decastes</i> (Fr. :Fr.) Sing.</p>	<p data-bbox="813 1375 1382 1703">Píleo de 2.1 a 5.5 cm, convexo-plano, subobtusado, de color café con leche más acentuado al centro, oscuro al final, margen decurvado-recto, borde liso, superficie subviscosa, mate, unión del contexto homogéneo. Láminas poco separadas, adheridas, anchas, lisas, con ramificación dicotómica, de color cremoso. Estípite de 16 a 38 mm, central, cilíndrico, base subbulbosa de color crema, carnoso.</p>

Especie	Descripción
 <p data-bbox="604 470 737 499"><i>Ramaria sp.</i></p>	<p data-bbox="813 405 1382 657">Esporoma muy ramificado, con ramas rígidas y verticales, de un color ocre-amarillento, con los ápices amarillo azufre a cremosos pálidos. De 4-8 cm de altura y 3 a 8 cm de diámetro. Himenio liso, mate, que cubre toda la superficie de las ramas. Carne blanquecina que pardea al corte, olor poco apreciable. Esporada ocre amarillenta.</p>
 <p data-bbox="224 1075 748 1104"><i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.Ex Schevein) Fr.</p>	<p data-bbox="813 756 1382 1083">Píleo de 5 cm, convexo, centro deprimido, margen decurvado, borde entero superficie lisa, subviscosa, de color vino con tintes lila, más acentuado al centro, brillante, unión de contexto homogéneo de color blanco. Láminas muy juntas, libres estrechas, de margen liso, color blanco. Estípote de 5.5 cm, central, cilíndrico, de color blanco, consistencia carnosoporoso, superficie con estrías.</p>
 <p data-bbox="423 1461 586 1491"><i>Russula delica.</i></p>	<p data-bbox="813 1203 1382 1383">Píleo de 5.5 cm, convexo, deprimido en el centro, superficie lisa, color de rosado a grisáceo en el centro. Láminas juntas, libres, color blanco. Estípote de 4 cm, cilíndrico, color blanco, consistencia porosa, con pocas estrías.</p>
 <p data-bbox="521 1713 683 1743"><i>Tricholoma sp.</i></p>	<p data-bbox="813 1587 1382 1803">Píleo de 6 a 8 cm, con un mameloma al centro de color café rojizo, y de color crema amarillento el centro del sombrero, borde crenado. Láminas blancas poco separadas, libres. Estípote sinuoso, de color crema amarillento, más grueso en la base.</p>

Especie	Descripción
 <p data-bbox="423 741 586 768"><i>Tricholoma</i> sp.</p>	<p data-bbox="813 453 1383 705">Píleo de 3.5 cm de diámetro, convexo, color amarillo rojizo a verdoso, margen un poco enrollado. Láminas amarillas que cuando se oxidan obtienen un color verdoso, anchas, muy juntas, semilibres. Estípite de 3.2 cm, amarillo con carne blanca y amarilla cerca de la cutícula, estriado, consistencia carnosa.</p>
 <p data-bbox="269 1188 743 1215"><i>Tricholoma sulphureum</i> (Bull. : Fr.) Kumm.</p>	<p data-bbox="813 806 1383 1167">Píleo de 4 a 8 cm, convexo, algo deprimido, color de amarillo-azufre a amarillo-verdoso, con tonos parduscos en el centro, cutícula al principio sedosa y después mate. Láminas, espaciadas, gruesas, escotadas y con laminillas, amarillas. Estípite de 6-10 cm amarillo-azufre, alto, un poco sinuoso, cilíndrico, rayado longitudinalmente y fibroso. Carne de color amarillo o amarillo-verdoso, olor fuerte y desagradable a gas de alumbrado.</p>