



UNIVERSIDAD INTERSERRANA DEL ESTADO  
DE PUEBLA-CHILCHOTLA

*ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO DEL  
GOBIERNO DEL ESTADO*

**INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**MACROHONGOS CON POTENCIAL FARMACOLÓGICO EN DOS  
ENCINARES TROPICALES DE VERACRUZ**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PRESENTA:

**MOISÉS SIMEÓN CABALLERO ARGÜELLO**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. LETICIA MONTOYA BELLO**

CODIRECTOR DE TESIS:

**DR. ANTERO RAMOS FERNÁNDEZ**



RAFAEL J. GARCÍA, CHILCHOTLA, PUEBLA.

OCTUBRE DEL 2018

El presente trabajo de investigación “**MACROHONGOS CON POTENCIAL FARMACOLÓGICO EN DOS ENCINARES TROPICALES DE VERACRUZ**”, fue realizado de acuerdo al Plan de Estudios de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla–Chilchotla, por el **C. MOISÉS SIMEÓN CABALLERO ARGÜELLO** bajo la Dirección Y Codirección de la **Dra. LETICIA MONTOYA BELLO** y el **Dr. ANTERO RAMOS FERNÁNDEZ** respectivamente, siendo revisada y aprobada por el H. jurado examinador abajo indicado y aceptado como requisito parcial para obtener el título de:

## **LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

### **CONSEJO DE TITULACIÓN**

**PRESIDENTE**

---

**ING. ANAHÍ ATANACIO LÓPEZ**

**DIRECTORA**

---

**DRA. LETICIA MONTOYA BELLO**

**CODIRECTOR**

---

**DR. ANTERO RAMOS FERNÁNDEZ**

**SECRETARIA**

---

**DRA. MARIA LILIANA HERNANDEZ PÉREZ**

**VOCAL**

---

**ING. ISABEL UNA GUTIÉRREZ**

*Rafael J. García Chilchotla, Puebla; Octubre de 2018.*

## *Agradecimientos*

Al Instituto de Ecología A.C. (INECOL) por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales. Especialmente al Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Hongos equipo que encabezan la Dra. Leticia Montoya Bello y el Dr. Víctor M. Bandala a los que agradezco por aceptarme en este laboratorio durante la realización de mis prácticas profesionales y posteriormente apoyarme en el desarrollo y conclusión de este trabajo de tesis. La Dra. Montoya junto con el Dr. Antero Ramos Fernández, que fungieron como mi directora y codirector, respectivamente, sin su guía e importantes aportaciones no estaría finalizado este trabajo de investigación.

Al CONACYT por la beca otorgada para el desarrollo y financiamiento de esta tesis, en el proyecto de ciencia básica CONACYT: 252431.

También agradezco al técnico del Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Macrohongos, Biol. David Ramos Rendón por su apoyo en campo, por asesorarme en las técnicas de caracterización tanto macroscópica como microscópica para la descripción taxonómica de hongos, además en el uso óptimo y correcto de los equipos e instrumental del laboratorio.

Biol. Juan Carlos Corona Domínguez, por su apoyo en campo y laboratorio, durante el estudio de muestras.

A la **Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Chilchotla**, por acompañarme e impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

Al Jurado Examinador, por la revisión, corrección y visto bueno del presente trabajo.

A mis padres Felipe Caballero Argüello y Yolanda Argüello Caricio por todo su amor, apoyo y comprensión, sin los cuales este paso de mi vida no se habría llevado a cabo.

A mi esposa María Mónica Casas Sandoval por su apoyo y comprensión.

A mis hermanos Luis Felipe, Rolando y Felipa por su apoyo.

A Gonzalo Melchor Trujillo y Balbina Casas Sandoval por todo su apoyo.

A mis tíos, primos y amigos que de alguna forma me ayudaron.

A todos y cada uno de mis docentes, que me guiaron por el camino correcto y se esmeraron en cada clase para que obtuviera todos los conocimientos necesarios.

A mis compañeros-amigos del laboratorio biodiversidad y sistemática de hongos con los que pase una excelente etapa de mi vida como persona y como estudiante.

A todos muchas gracias, espero algún día poder regresarles el apoyo brindado.

## *Dedicatoria*

A mis padres por todo su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional, sin ellos este sueño no se hubiera llevado a cabo.

A mi esposa, compañera y amiga María Mónica Casas Sandoval

A mi princesa Sofía Caballero Casas

## **Contenido**

I INTRODUCCIÓN .....	3
II JUSTIFICACIÓN .....	7
III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
IV OBJETIVOS .....	10
4.1 Objetivo general .....	10
4.2 Objetivos específicos .....	10
V HIPÓTESIS.....	11
VI REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
6.1 Marco teórico conceptual.....	11
6.1.1 Generalidades de los hongos.....	11
6.1.4 Hongos en la historia .....	12
6.1.5 Uso biotecnológico de hongos micromicetos (mohos y levaduras).....	12
6.1.6.1 Medicinal.....	13
6.2 Marco referencial .....	14
VII MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
7.1 Descripción del área de estudio .....	16
7.2 Trabajo de campo.....	18
7.3 Trabajo de laboratorio .....	18
7.4 Minería de Datos.....	19
VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
8.1 Resultados .....	19
8.1.1 Propiedades farmacológicas .....	28
8.1.2 Enfermedades.....	29
8.2 Discusión.....	29
8.3 Casos especiales.....	31
IX CONCLUSIÓN .....	32
X REFERENCIAS.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de especies registradas en la base de datos UNPD .....	20
Tabla 2. Número de especies detectadas por propiedad farmacológica. ....	26
Tabla 3. Enfermedades que han sido tratadas con compuestos farmacológicos aislados de macrohongos. ....	27

## RESUMEN

A partir de la información sobre el estudio de la diversidad de macrohongos presentes en dos encinares tropicales del centro de Veracruz, que el Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Hongos, del Instituto de Ecología, A.C., lleva a cabo en los últimos años, se analizó el potencial biotecnológico de las especies de macrohongos en ese ecosistema. 90 de las especies reconocidas del encinar tropical, a través de la revisión bibliográfica y en bases de datos efectuada, coinciden o se agrupan en hongos en los que se han detectado metabolitos secundarios usados en el tratamiento de enfermedades, como el cáncer, infecciones virales, entre otras. Además, se registró que tienen diversas propiedades farmacológicas, por ejemplo, analgésicas, antibacterianas, antiepilépticas, antifúngicas, antihepatotóxica, antihipertensiva, antiinflamatoria, antioxidante, antiplasmodial, antitumoral, anti-VIH e hipocolesterolémica, entre otras. Lo cual representa un valor agregado a los ya de por sí importantes hongos, los cuales tienen roles fundamentales en el ambiente, como descomponedores de materia orgánica y simbioses de otros grupos biológicos. Se concluye que estos organismos son de relevancia en planes de conservación de ecosistemas vulnerables como los encinares tropicales, ya que representan especies adaptadas a las condiciones locales y muchas de ellas asociadas a las especies de *Quercus* ahí presentes, a través de relaciones ectomicorrizógenas, que bien podrían ser usadas en dichos programas. Además, debido a que constituyen un reservorio natural de bioproductos, que con un manejo sustentable puede traducirse en un beneficio económico importante, esto puede motivar a la conservación de ese ecosistema y las especies fúngicas ahí albergadas. Este es el primer acercamiento al reconocimiento del potencial farmacológico de los macrohongos del encinar tropical, básico para futuros estudios de determinación química-analítica que demuestren específicamente las propiedades de casos de interés.

Palabras claves: Identificación, Encinares tropicales, Bioproductos, Potencial biotecnológico, Veracruz.

## **ABSTRACT**

In the present work fungi from two tropical oak forests of Veracruz, researched in recent years by the Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Hongos, Instituto de Ecología, A.C., the biotechnological potential of the macro-fungal species in that ecosystem was analyzed. 90 of the recognized tropical oak species, through bibliographic review and databases, were recognized coinciding or closely grouped into fungi in which secondary metabolites have been detected used in the treatment of diseases, such as cancer, viral infections, likewise it was detected that they also have pharmacological properties, for example, analgesic, antiplatelet, antibacterial, anticancer, antiepileptic, antifungal, antihepatotoxic, antihypertensive, anti-inflammatory, antimicrobial, antioxidant, antiplasmodial, antitumor, anti-HIV, antiviral, cardioprotective, cytotoxic, hepatoprotective, hypocholesterolemic, inhibition of histamine release, inhibition of melanogenesis, allosteric modulation, biological precursor and growth regulator. This gives added value to the fungi, as well as relevance in conservation plans of the tropical holm oak forests where they are present, since they constitute a natural reservoir of bioproducts, which with a sustainable management can translate into economic benefits. this could be extended in future researches to test the chemical-analytical properties of specific cases recovered in this thesis.

Keywords: Identification, Tropical oaks, Bioproducts, Biotechnological potential, Veracruz



# I INTRODUCCIÓN

México, junto con China, Brasil, Australia y el Congo se encuentran entre los cinco países llamados “megadiversos”, los cuales en conjunto albergan alrededor del 70% de la diversidad biológica conocida del planeta (Llorente-Bousquets y Ocegueda 2008), incluyendo un gran porcentaje de las especies de flora y fauna que existen en todo el mundo. Los hongos constituyen un grupo muy diverso, distribuido en todos los ecosistemas terrestres, superados solo por las bacterias en su habilidad por habitar ambientes con condiciones extremas (Blackwell 2011). Se estiman entre 3.5 a 5.1 millones de especies de hongos a nivel mundial (O’Brien *et al.* 2005) pero éstos han sido escasamente documentados a nivel internacional, apenas se han descrito 99,000 especies (Blackwell 2011). En el país se calcula que existen alrededor de 200,000 especies de hongos (Guzmán 1998) y a pesar de que desde aproximadamente décadas atrás (1970), se han incrementado los estudios nacionales sobre la micobiota, solo se conocen alrededor de 2135 especies (Cifuentes 2008).

Los hongos tienen gran importancia en el ambiente, especialmente, junto con las bacterias son importantes en los ciclos biogeoquímicos (Vandenkoornhuyse *et al.* 2002), regulan el crecimiento de las plantas e incluso influyen en factores del cambio global, tales como la deposición de nitrógeno (Taylor *et al.* 2016). Estos organismos son importantes simbiontes de diferentes grupos biológicos: bacterias, plantas, algas verdes y animales (Blackwell 2011). Se considera que fueron indispensables para que las plantas colonizaran la superficie terrestre, mediante la simbiosis micorrízica. Las ectomicorrizas (tipo de micorriza formada especialmente por macrohongos) facilitan la transferencia de agua, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes del suelo a las raíces de las plantas, y se ha considerado que los simbiontes involucrados en ellas, podrían no sobrevivir exitosamente o incluso morir sin su contraparte (Smith y Read 2008; Blackwell 2011). Actualmente las micorrizas son parte esencial para la supervivencia de especies vegetales, a tal grado que se considera que más del 90% de plantas vasculares forman algún tipo

de asociación con los hongos. Más de 6,000 especies, en su mayoría macrohongos, del grupo de los Basidiomicetes, forman ectomicorrizas con cerca del 10 % de todas las familias de plantas (Blackwell 2011). Los encinares tropicales donde se desarrolló esta investigación albergan especies de hongos ectomicorrizógenas, saprobios y parásitos que cumplen funciones ecológicas indispensables en el mantenimiento del bosque pero que, a su vez, tienen un valor agregado que puede ser aprovechado para obtener beneficios ecológicos, económicos e industriales. Entre las aplicaciones ecológicas de los hongos destaca su uso como bioinoculantes de plantas de interés forestal para la repoblación o recuperación de terrenos erosionados por actividades mineras o agrícolas (Pera y Perladé 2005) y el control biológico de plagas (insectos, bacterias, hongos) agrícolas (Lindequist *et al.* 2005).

Históricamente, los hongos han sido utilizados por el hombre tanto en la alimentación como en diferentes ámbitos, incluyendo la medicina tradicional, farmacéutica e industria (Peintner *et al.* 1998). Sus propiedades organolépticas como sabor, color, aroma y la textura los hacen un buen comestible (Cano-Estrada y Romero-Bautista 2016). Estudios sobre valores nutricionales indican que los hongos comestibles poseen altos contenidos de proteínas, carbohidratos y vitaminas, y son bajos en grasas (Colak *et al.* 2009). En México los hongos han sido utilizados como alimento y medicina tradicional desde épocas prehispánicas e fueron incorporados en la dieta de diversos grupos étnicos (Bandala *et al.* 1996, 2014; Guzmán 2008). Por el aprovechamiento de las propiedades de diversas especies (comestibles, medicinales, fuente de pigmentos, alucinógenos en los rituales ceremoniales) los hongos han sido importantes en el desarrollo cultural de diferentes grupos indígenas del país.

En México se estima que la producción anual asciende a 47,468 toneladas, aproximadamente de hongos frescos, siendo así uno de los principales productores de hongos a nivel mundial, y uno de los mayores productores de Latinoamérica, generando alrededor del 58.9% de la producción total de esta

región, con lo cual se han creado alrededor de 25 mil empleos directos e indirectos, con una derrama económica superior a los 200 millones de dólares (Martínez-Carrera *et al.* 2007).

Los hongos comestibles silvestres son considerados un recurso forestal no maderable que contribuye a la conservación de bosques, y forman parte de la estructura y funcionamiento de estos, estando entonces vinculados a la prestación de servicios forestales, tales como: recreación, captura de agua y carbono, conservación de la biodiversidad y ecoturismo (Pilz y Molina 2002). En México, además de haberse cubierto necesidades nutricionales por el consumo directo de hongos comestibles, se han obtenido beneficios económicos en las zonas rurales, cuyos habitantes son los que promueven el consumo y la comercialización de especies silvestres. En el país se ha reportado el consumo de 371 taxones de macrohongos silvestres con fines alimenticios (Garibay-Orijel y Ruan-Soto 2014). Esto coloca a nuestro país como el segundo con el mayor número de hongos silvestres usados como alimento, sólo después de China con más de 600 especies (Huang 1993).

En el siglo pasado, hubo un gran interés por sintetizar pigmentos, algunos de los cuales han tenido un impacto negativo en el ambiente y para el ser humano, por lo cual se han comenzado a explorar fuentes naturales, a partir de plantas, algas, hongos y líquenes (Cedano e Ibarra 2006; Álvarez 2017; Carrillo 2017). Se han reportado a nivel mundial alrededor de 126 especies de hongos con potencial tintóreo, dentro de los que destacan los poliporales, lo cual significa que existe una amplia variedad de taxones que no se han aprovechado, pero que sin duda representa un potencial en la industria como colorantes orgánicos (Cedano *et al.* 2001; Álvarez 2017).

Otro de los beneficios que se pueden obtener de los hongos son compuestos farmacológicos (Lindequist *et al.* 2005). En las últimas décadas se han aislado a partir de cuerpos fructíferos, cientos de compuestos con actividad medicinal cuyos

usos han sido en la prevención y tratamiento de enfermedades. Algunas especies de hongos de la familia *Polyporaceae* degradan madera, producen pigmentos, generalmente derivados de ácidos polipóricos y terpenilquinones (Velíšek y Cejpek 2011). De esta familia, *Pycnoporus* es un género representativo de los homobasidiomicetos saprófitos que tienen un alto potencial lignocelulítico (Alexopoulos *et al.* 1996). En México se conocen alrededor de 70 especies de hongos que han sido utilizadas en prácticas de medicina tradicional para el tratamiento de 40 tipos de problemas de salud humana (Guzmán 2008).

Si bien es cierto que los hongos representan una gran fuente de beneficios económicos, es muy importante reconocer que existen hongos que causan muchas pérdidas económicas, ya que atacan a cultivos agrícolas. Para solucionar este problema se han usado hongos del género *Trichoderma* como agentes para el control de hongos y bacterias, debido a su eficaz control, capacidad reproductiva, plasticidad ecológica, efecto estimulante sobre los cultivos y recientemente se detectó su acción como inductor de resistencia sistémica en la planta a diferentes patógenos (Infante *et al.* 2009; Sanmartín 2012; Goñas *et al.* 2017; Merchán-Gaitán *et al.* 2014). Pero también los insectos son causantes de pérdidas de los cultivos, en este caso se han estudiado hongos entomopatogénicos, es decir, que tienen propiedades insecticidas, y se conocen cerca de 100 especies, pero de éstas sólo se han estudiado 20 especies, y su venta comercial ha sido un proceso lento. Entre los que destacan: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Verticillium lecanii* (Carballo y Guaharay 2004).

## II JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los hongos son usados para la extracción de metabolitos secundarios que muestran actividad biológica frente a diferentes enfermedades humanas (Dai *et al.* 2009; Oyola 2005; Bishop *et al.* 2015), también se han usado como biofertilizantes micorrízicos que mejoran la capacidad de absorción de agua y minerales esenciales, y como agentes de control biológico (Rojas 2013; Infante 2009; Carballo y Guaharay 2004). Aunado a lo anterior, en gastronomía son apreciados por sus cualidades organolépticas como lo son su sabor, olor, color y por su alto valor nutricional (Estrada-Martínez 2009; Boa 2005; Martínez-Carrera 2004).

A nivel mundial se ha generado una gran cantidad de información sobre este grupo biológico, relacionada con usos tradicionales y potenciales aplicaciones industriales. Existen también importantes estudios taxonómicos, moleculares, nutricionales, medicinales y biotecnológicos. No obstante, esa información en términos generales está desvinculada y es importante considerarla para aprovechar este recurso a diferentes niveles. Este trabajo se basó en un enfoque integral, que aborda desde la recolección de muestras de especies, determinación taxonómica, reconocimiento de su distribución ecológica y de una revisión de información en bases de datos y bibliografía especializada, en la detección de propiedades y metabolitos secundarios, que se han identificado en estudios de hongos en diferentes partes del mundo y que en México este potencial aún no se ha estudiado con especies nativas.

México es considerado un centro de diversificación de *Quercus* (Valencia 2004), aquí se reconocen 174 especies, las cuales representan un 34% del total mundial calculado (Villaseñor 2016). Este grupo históricamente ha tenido una gran importancia económica en el país y sus comunidades, especialmente las tropicales se encuentran seriamente afectadas, persistiendo a manera de relictos. Los árboles de este género forman asociaciones simbióticas ectomicorrizógenas, lo cual implica una estrecha relación en la sobrevivencia tanto del fitobionte como

del micobionte, la pérdida del bosque por fragmentación debido a las actividades antrópicas afecta directamente a esa asociación, y es a su vez esta interacción, importante de considerar en programas de restauración, pero ha sido muy poco estudiada en México. Razón por la cual, es de suma importancia identificar las especies fúngicas nativas y concientizar de su importancia en el encinar tropical, identificando además posibles alternativas económicas que motiven la conservación de este ecosistema.

Se enlistan las especies de hongos (simbióticos, saprobios y parásitos) detectadas en las áreas de estudio, o cercanas a éstas, que se han usado en otros países como medicinales, así mismo, se reconocen las especies fúngicas ectomicorrizógenas. Existen especies de macrohongos comestibles (silvestres y cultivados) que también se les atribuyen propiedades medicinales importantes siendo considerados como alimentos funcionales. De igual forma algunos hongos saprobios son considerados medicinales, tal es el caso de *Ganoderma lucidum* del cual se han aislado cientos de compuestos con diferentes propiedades bioactivas (Mizuno *et al.* 1995).

### III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es uno de los países más ricos en cuanto a recursos naturales, con diferentes ecosistemas y una gran biodiversidad. Pero debido a presiones antrópicas, la biodiversidad se ve comprometida e inclusive muchas especies se encuentran en peligro de extinción, incluidas especies arbóreas que dan estructura a los bosques. Estas últimas juegan un papel muy importante como parte de los servicios ecosistémicos, ya que son las principales fuentes de absorción de CO<sub>2</sub> liberando O<sub>2</sub>, evitan la erosión de los suelos, regulan la temperatura, realizan asociaciones simbióticas y son fuente de alimento para animales, incluyendo el hombre. Entre las especies arbóreas, las coníferas y varias especies de angiospermas, incluidos los encinos son de interés económico para la obtención de madera. Varias especies del género *Quercus* son usadas como combustible o para la elaboración de muebles, herramientas, recipientes, etc., sin embargo, poco se soluciona con relación a la reforestación de los espacios naturales de donde se extrae madera. Lo cual, podría cambiar si se reconocieran los beneficios económicos que representa mantener bosques en buen estado de conservación. En este contexto resaltamos el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales no maderables, específicamente los macrohongos silvestres, que pueden ser usados como alimento de alta calidad nutricional o entre otros usos como: 1) bioinoculantes en plantas de interés forestal y 2) como abastecedores de productos medicinales.

Dentro de una investigación que desarrolla el Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Hongos, del Instituto de Ecología, A.C., sobre la diversidad de macrohongos que conviven con las especies de *Quercus* presentes en encinares tropicales, así como reconocer su potencial ecológico y económico, surge esta tesis. Esta última intenta detectar especies de macrohongos con valor agregado, especialmente de interés farmacológico, y de éstas, las que se asocian a los árboles a través de la asociación ectomicorrizógena. Esto último para evidenciar la pérdida que supone la desaparición del hospedero (árbol ectomicorrízico) con el

que se encuentran relacionadas esas especies de hongos, directamente a nivel de las raíces. Se destacan también las especies de macrohongos con mayor potencial medicinal que son utilizadas en otros países y que en México no se han aprovechado. Se espera que esta investigación sea de utilidad para resaltar la importancia de los bosques de encino como reservorios naturales de especies fúngicas con amplio potencial para la obtención de bioproductos, los cuales, con un aprovechamiento sustentable son altamente redituables y benéficos, y que además contribuya en un futuro en la mejora de los planes de conservación y restauración de los encinares tropicales del país.

## **IV OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Reconocer la presencia de especies de macrohongos con propiedades farmacológicas y con potencial económico, en dos comunidades del encinar tropical en Veracruz.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Detectar especies de macrohongos en el encinar tropical, que pertenezcan a grupos reconocidos por tener propiedades farmacológicas.
- Reconocer, con base en información bibliográfica, las posibles propiedades farmacológicas de las especies de macrohongos detectadas.
- Reconocer, con base en información bibliográfica, enfermedades que han sido tratadas con derivados metabólicos de macrohongos relacionados a los presentes en los encinares bajo estudio.
- Reconocer especies ectomicorrizógenas, con potencial farmacológico dependientes del encinar tropical.



## **V HIPÓTESIS**

Los encinares tropicales de Veracruz son un reservorio natural de bioproductos derivados de macrohongos silvestres, ya que tienen una gran riqueza de especies fúngicas, las cuales podrían tener potencial biotecnológico con propiedades farmacológicas, que pueden ser aprovechadas sustentablemente.

## **VI REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **6.1 Marco teórico conceptual**

#### **6.1.1 Generalidades de los hongos**

El reino Fungí (del latín "hongos") es uno de los reinos más diversos de la naturaleza. Los hongos se encuentran habitando casi todos los rincones del planeta. Se estiman alrededor de 1, 500, 000 especies de hongos a nivel mundial pero solo se han registrado 74,000 especies, lo que representa menos de 5% (Hawksworth 2001). De acuerdo con estas cifras, los hongos se colocan como el segundo grupo más diverso de organismos sobre la Tierra solo después de los insectos (Delgado 2010).

La unidad estructural básica de los hongos, a nivel microscópico, es la hifa, que corresponde a la célula que en conjunto forma el micelio, el cual produce fructificaciones que contienen a las esporas y las cuales se encargan de su diseminación. La fructificación representa una estructura reproductiva en los macrohongos, éstas son mayores a 1 mm (Arnolds 1981), son de hábito versiforme y de colores variados. El ciclo de vida de los hongos inicia cuando las esporas germinan formando las primeras hifas, posteriormente se forma el micelio, después el micelio forma los primordios y en pocos días se desarrollan para volver a producir las esporas y así continuar con su ciclo (Alexopoulos y Mims 1985).

#### **6.1.4 Hongos en la historia**

El hongo más antiguo registrado es un fósil de ámbar que conserva un píleo de aproximadamente 100 millones de años, fue recolectado de una de las minas de ámbar en el área del valle de Hukawng al sudoeste de Maingkhwan, estado de Kachin, al norte de Myanmar. Este hongo del período Cretácico llamado *Paleo Agaracites antiquus* (Poinar y Buckley 2007), representó sin duda un importante descubrimiento para la micología.

A lo largo de la historia, los hongos han sido apreciados por los humanos con fines alimenticios, así como, medicinales y psicotrópicos (Calonge 2011). Actualmente se consumen en todo el mundo, pero es en China donde se registra por primera vez su consumo, varios siglos antes del nacimiento de Cristo (Aaronson 2000), también en la antigua Grecia y Roma fueron apreciados por las altas jerarquías. El “hongo de los Cesares” (*Amanita caesarea*) ha sido muy apreciada desde esa época hasta la actualidad (Villalba 2009).

En China los hongos son apreciados no solo por su sabor y versatilidad como alimento, sino también por sus propiedades curativas (Calonge 2011). Los indígenas mexicanos los utilizaban en ceremonias religiosas, con fines terapéuticos y como fuente de alimento, tal como lo hacían los Mayas, que se cree, de acuerdo con las estatuillas de piedra en forma de hongos superiores producidas por ellos, que probablemente tuvieron relación con especies de hongos comestibles y alucinógenos (Guzmán 2011).

#### **6.1.5 Uso biotecnológico de hongos micromicetos (mohos y levaduras)**

Los hongos también han sido usados en la preparación de alimentos y bebidas desde tiempos muy remotos. Recordemos que las levaduras son hongos unicelulares que se han utilizado para la elaboración de bebidas y alimentos fermentados como la cerveza, vino y pan. Así, *Saccharomyces cerevisiae* es probablemente el microorganismo más ampliamente utilizado por el hombre a través del tiempo; aunque en un principio, no se tuviera conciencia plena de la participación del microorganismo en la elaboración de diversos alimentos como el

pan o las bebidas alcohólicas, ya que al ser microscópicos no podían observarse a simple vista (Suarez-Machín *et al.* 2016). Otros hongos que se han usado para la elaboración de quesos fueron descubiertos por el microbiólogo francés Louis Pasteur en el siglo XIX (Muñoz 1996). Entre los micromicetos que se han usado para la preparación de quesos, como el roquefort, se encuentra *Penicillium roqueforti* que hoy día es sustituido por *P. candidum* y en la preparación de los quesos Camembert, Brie, Coulommiers y Cambozola es utilizado *P. camemberti* (Battro 2010).

#### **6.1.6.1 Medicinal**

En México, aunque los hongos son conocidos como una fuente alimenticia, es poco conocido su gran potencial como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud (Martínez-Carrera *et al.* 2004). Actualmente, los hongos comestibles cultivados y silvestres se han convertido en un mercado internacional valorado en billones de dólares. Recientemente ha surgido gran interés por su investigación debido a las potenciales propiedades medicinales y terapéuticas (Sánchez y Mata 2012), hoy en día, se busca combatir enfermedades crónicas mediante productos naturales, con la finalidad de reducir la mortalidad por enfermedades no transmisibles, que, a nivel mundial son responsables de un 70% de defunciones, lo que equivale a 40 millones de muertes por esta causa. Entre las enfermedades no transmisibles se encuentran las cardiovasculares (17,7 millones de defunciones por año), cáncer (8,8 millones), enfermedades respiratorias (3,9 millones) y diabetes (1,6 millones). En países de bajos y medianos ingresos, las enfermedades no transmisibles son las responsables del 75% de defunciones, equivalente a 31 millones de muertes por esta causa (OMS 2017).

## 6.2 Marco referencial

Los hongos micorrizógenos son considerados fundamentales para que las plantas puedan colonizar y responder adecuadamente a variaciones ambientales (Smith y Read 2008). Kessell (1927) estudiando la introducción de *Pinus insignis* en Australia, identificó la presencia de micelio de hongos en las raíces de las plantas y realizó experimentos de micorrización que resultaron ser exitosos en el crecimiento de plántulas. En la década de los 70's, se intensificaron las investigaciones sobre inoculación ectomicorrízica como una alternativa hacia la deforestación (Pfleger y Linderman 1994). Entre los hongos en los que se ha experimentado la micorrización, con éxito principalmente *in vitro* y en menor proporción en condiciones de vivero, se encuentran especies de los géneros: *Hebeloma*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Pisolithus*, *Rhizophogon*, *Russula*, *Scleroderma*, *Amanita* y *Suillus*, (Pera y Parladé 2005; Valdés *et al.* 2010).

En México la implementación de micorrización (con hongos ectomicorrizógenos) es reciente y aunque se reconocen sus beneficios, aún falta mucho por estudiar (Camargo-Ricalde *et al.* 2012). En el país, Carrasco-Hernández *et al.* (2010) describieron la morfología de las ectomicorrizas de los hongos comestibles *Laccaria bicolor* y *L. proxima* en asociación con *Pinus patula* y *P. pseudostrobus*, a partir de micorrización en condiciones de invernadero. Gómez-Romero *et al.* (2013), en Michoacán, demostraron que la inoculación con el hongo ectomicorrizógeno *Pisolithus tinctorius* incrementa la supervivencia de *Pinus pseudostrobus* en sitios severamente degradados y con graves problemas de erosión. Recientemente se implementó con éxito la síntesis ectomicorrízica del hongo comestible, *Turbinellus floccosus* en *Abies religiosa* del Nevado de Toluca, Estado de México (Lamus *et al.* 2015).

En Veracruz en las últimas décadas se han descubierto especies de hongos ectomicorrizógenos de los géneros *Phaeocollybia*, *Suillus*, *Lactarius*, *Laccaria* y *Phylloporus*, asociadas a especies de *Quercus*, *Carpinus*, *Fagus*, *Alnus* y *Pinus*, las cuales fueron descritas como nuevas para la ciencia (Bandala y Montoya 1994, Bandala *et al.* 1996, 1998, 2016; Moreno *et al.* 1996, Montoya *et al.* 1998, 2012,

2014, 2015; Montoya y Bandala 1991, 2003, 2004a, 2004b, 2008, 2011; Herrera *et al.* 2018). En el país se ha abordado el diagnóstico y descripción con evidencia morfológica y molecular, de la interacción ectomicorrízica a nivel específico entre árboles y hongos nativos de los géneros *Lactarius* y *Tuber* en áreas naturales, especialmente en ecosistemas que actualmente se encuentran a manera de fragmentos e incluso bajo condiciones vulnerables como los son el bosque de niebla o mesófilo de montaña, el bosque de *Fagus*, el bosque de *Alnus* y encinares tropicales (Montoya *et al.* 2010, 2015, 2017; Lamus *et al.* 2012; Garay *et al.* 2012, Ramos *et al.* 2018). La mayor parte de las especies analizadas en esas investigaciones corresponden a hongos previamente desconocidos para la ciencia y cuyo potencial biotecnológico no ha sido evaluado. En Oaxaca se reportaron 14 especies de hongos ectomicorrízogenos comestibles con potencial biotecnológico (Jiménez *et al.* 2013).

Los hongos silvestres han sido utilizados por las culturas asiáticas como alimento, pero también con fines medicinales y terapéuticos (Cheng *et al.* 2009). Guzmán (2008) reportó que en México se han utilizado 70 especies de hongos en prácticas de medicina tradicional para el tratamiento de 46 tipos de enfermedades y malestares en humanos.

Los hongos silvestres comestibles adicionalmente de ser una fuente alimenticia pueden tener un beneficio económico (Boa 2005). Con los avances en la ciencia, se ha despertado un interés en la extracción y estudio de metabolitos secundarios, a partir de hongos comestibles silvestres con potencial uso medicinal (Barros *et al.* 2008; Dai *et al.* 2009). En México, se ha estimado que pudieran existir alrededor de 300 especies de hongos silvestres comestibles (Boa 2005) y de acuerdo con Zamora y Torres (2002), las especies comestibles silvestres de mayor demanda son *Amanita caesarea* [Scop.:Fr] Pers ex Schwein., *Amanita rubescens* (Pers.: Fr.) Gray, *Lactarius deliciosus* (Fr.) Gray, *Lactarius indigo* (Schwein.) Fr, *Morchella* spp, *Boletus aff. edulis*, *Boletus erithropus* Fr., *Boletus luridus* Schaeff Fr., *Suillus* spp., *Cantharellus cibarius* Fr., *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer, *Lyophyllum*

*descastes* (Fr.) Singer, *Ramaria flava* (Schaeff.: Fr) Quél y *Ramaria* spp., entre otras. De Veracruz se registró por vez primera (bajo el nombre de *T. ponderosum*) al conocido popularmente como “hongo blanco”, *Tricholoma magnivelare*, la cual es una de las especies más cotizadas a nivel mundial (Montoya *et al.* 1987; Bandala *et al.* 1997).

En la última década, se ha ampliado el conocimiento sobre los componentes químicos, valores nutricionales y las propiedades terapéuticas de los hongos comestibles. Actualmente, se cree que están relacionados con aproximadamente 130 funciones medicinales. Entre los compuestos que se han detectado se encuentran lectinas, polisacáridos, compuestos fenólicos y polifenólicos, terpenoides, ergosteroles y compuestos orgánicos volátiles, a los cuales se les atribuyen algunas funciones medicinales, como lo son actividad antitumoral, inmunomodulador, antioxidante, eliminación de radicales, antihipercolesterolemia, antiviral, antibacteriano, hepatoprotector y efectos antidiabéticos (Wasser 2011, 2014). También se sugiere que pueden coadyuvar en la prevención y el tratamiento de varias enfermedades crónicas, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus y enfermedades neurodegenerativas (Roncero-Ramos y Delgado-Andrade 2017). Sin embargo, en México existen muy pocos estudios que avalen su aplicación. Para esto, es importante contar con un inventario de las especies que están disponibles en áreas naturales y valorar sus propiedades para ser recomendados como alternativas en el tratamiento de enfermedades.

## VII MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Descripción del área de estudio

Las muestras de hongos en las que se basó el estudio se recolectaron dentro de un proyecto sobre hongos en relictos del encinar tropical de Veracruz, a cargo del Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de Hongos, del Instituto de Ecología A.C. (INECOL), en Xalapa, Veracruz.

En el municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios se localizó el primer bosque de *Quercus* seleccionado para el presente estudio, a una altitud de 390-450 m, a 12 km al SO de la población de Palma Sola, Ver. El municipio se localiza en la región montañosa central del estado de Veracruz, se encuentra entre los paralelos 19°32' y 19°53' de latitud norte; los meridianos 96°24' y 96°46' de longitud oeste y una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 1900 m. Su extensión es de 648.679 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 0.9% del territorio total estatal; limita al norte con Juchique de Ferrer, Vega de Alatorre y el Golfo 27 de México, al este con el Golfo de México, al sursureste con Actopan, y al oeste con Actopan, Naolinco, Tepetlán, Chiconquiaco y Juchique de Ferrer. Geológicamente pertenece a la provincia del macizo ígneo de Palma Sola; así mismo es parte de la subprovincia 56 (Sierra de Chiconquiaco), la cual es parte de la Provincia Fisiográfica X (Eje Neovolcánico). Las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería, destacando así el cultivo de maíz, café cereza, tomate y mango; así como la cría de ganado bovino, porcino, ovino y ave de corral. (H. Ayuntamiento Constitucional de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Ver. Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017).

En el municipio de Zentla, se encuentra otro fragmento de bosque de *Quercus* seleccionado para el estudio, se sitúa aproximadamente a 15 km al E de la población Colonia Manuel González, a una altitud de 850 m. El municipio de Zentla, ubicado entre los paralelos 19°01' y 19° 08' de latitud norte; los meridianos 96° 32' y 96° 53' de longitud oeste, con altitudes entre 200 y 1, 000 m. Limita al norte con los municipios de Comapa y Huatusco, al este con Huatusco, Comapa y Soledad de Doblado, al sur con Camarón de Tejeda, Paso del Macho y Tepatlaxco y al oeste con Tepatlaxco y Huatusco. Se encuentra en las estribaciones de la sierra Madre Oriental en la zona montañosa, por lo que el suelo es accidentado en la parte más alta y con planicies en la parte más baja con barrancas profundas. Presenta un clima subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (55%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (29%) y semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (16%). La vegetación es de tipo bosque

alto perennifolio y bosque tropical caducifolio. (H. Ayuntamiento Constitucional de Zentla, Ver. Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017).

## **7.2 Trabajo de campo**

El Laboratorio de Biodiversidad y Sistemática de hongos, del INECOL, mantiene un programa de muestreo de hongos enfocado a los relictos de encinares tropicales de Veracruz. El presente estudio se basó en el análisis de muestras de fructificaciones previamente recolectadas durante dicho programa en las localidades antes mencionadas. Durante agosto de 2016 a noviembre de 2017, a través de visitas quincenales, en el desarrollo de esta tesis se participó en el muestreo. La recolección de fructificaciones se efectuó mediante recorridos al azar y a través de un muestreo oportunista (O'Dell *et al.* 2004) a lo largo del bosque en los sitios de estudio.

Para el proceso de colecta de fructificaciones se utilizaron materiales como navaja y papel aluminio. Las fructificaciones de hongos colectados se envolvieron en papel aluminio y se colocaron en una hielera con geles, siempre con el respectivo número de colecta. Se efectuaron anotaciones de información ecológica, tal como sustrato y especies de árboles cercanos.

## **7.3 Trabajo de laboratorio**

Se realizó el registro de las características macromorfológicas de las fructificaciones, mediciones, datos organolépticos, además se probaron reacciones con hidróxido de potasio al 5% e hidróxido de amonio al 10%, apoyándose del microscopio estereoscópico con base en los protocolos de Largent *et al.* (1977) y Lodge *et al.* (2004). Los colores de las diferentes partes de las fructificaciones se codificaron de acuerdo con los catálogos de color de Kornerup y Wanscher (1967) y Munsell (1994). Las muestras obtenidas se preservaron mediante un proceso de deshidratación a 39-40 °C, hasta que estuvieran completamente secas.



#### **7.4 Minería de Datos**

Se revisaron bases de datos especializadas en compuestos bioactivos como PubMed, PubChem, y HMDB (Human Metabolome Data Base), en ellas se corroboró que los compuestos aislados derivados de hongos, reportados en la Base de Datos Universal de Productos Naturales (Universal Natural Products Database) mostraran potencial farmacológico. También se consultó bibliografía especializada sobre el uso biotecnológico de inóculos ectomicorrízicos sobre plántulas de interés forestal. El carácter ectomicorrizógeno de las especies en los encinares estudiados se reconoció con base en la información proporcionada por Trappe 1962; De Román *et al.* 2005; Rinaldi *et al.* 2008; Base de datos DEEMY (Agerer y Rambold 2004).

## **VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **8.1 Resultados**

La base de datos universal de productos naturales, por sus siglas en inglés UNPD, que fue consultada durante esta investigación (última versión descargada de junio 2016), comprende un registro de 17,133 moléculas aisladas de hongos. Los dos grupos de hongos más documentados son los ascomicetos, con 11,855 moléculas y los basidiomicetos con 5,036 moléculas. En esa base de datos se efectuó una búsqueda de aquellas especies de basidiomicetos que coincidieran o fueran taxonómicamente cercanas con aquellas especies que fueron registradas en las áreas bajo estudio, concentradas en la tabla 1. En adelante nos referiremos como unidades taxonómicas operativas (UTOs) a esas especies detectadas en la base. En total se encontraron 90 UTOs relacionadas a las que habitan en los encinares tropicales considerados en la presente investigación, las cuales se incluyen en 18 familias taxonómicas.

## Tabla 1. Listado de especies registradas en la base de datos UNPD

### Basidiomycota

#### Agaricomycetes

#### Agaricales

#### *Agaricaceae*

*Calvatia craniformis* (Schw.) Fr. ECM

*Calvatia cyathiformis* (Bosc) Morgan, 1890

*Calvatia lilacina* (Berk. & Mont.) Henn., 1904

*Chlorophyllum molybdites* (G. Mey.) Masee, 1898

*Coprinus comatus* (O.F. Müll.) Pers., 1797

*Cyathus africanus* H.J. Brodie, 1967

*Cyathus bulleri* H.J. Brodie, 1967

*Cyathus earlei* Lloyd, 1906

*Cyathus helenae* H.J. Brodie, 1966

*Cyathus intermedius* (Mont.) Tul. & C. Tul.

*Cyathus pygmaeus* Lloyd, 1906

*Cyathus stercoreus* (Schwein.) De Toni, 1888

*Cyathus striatus* (Huds.) Willd., 1787

*Lycoperdon perlatum* Pers., 1796

*Lycoperdon pyriforme* Schaeff., 1774

#### *Amanitaceae*

*Amanita abrupta* Peck ECM

*Amanita caesarea* (Scop.) Pers., 1801 ECM

<i>Amanita castanopsidis</i> Hongo	ECM
<i>Amanita cokeri</i> (E.-J. Gilbert & Kühner) E.-J. Gilbert	ECM
<i>Amanita solitaria</i> (Bull.) Fr., 1836	ECM
<i>Amanita strobiliformis</i> (Paulet ex Vittad.) Bertill., 1866	ECM
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam., 1783	ECM
<i>Amanita virgineoides</i> Bas	ECM
<i>Amanita virosa</i> (Fr.) Bertill., 1866	ECM

#### *Bolbitiaceae*

<i>Conocybe cyanopus</i> (G.F. Atk.) Kühner, 1935
<i>Conocybe siliginea</i> (Fr.) Kühner, 1935

#### *Onphalaotaceae*

<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler, 1976
<i>Marasmiellus ramealis</i> (Bull.) Singer, 1946
<i>Marasmiellus troyanus</i> (Murrill) Dennis

#### *Mycenaceae*

<i>Mycena alcalina</i> (Fr.) P. Kumm., 1871
<i>Mycena aurantiomarginata</i> (Fr.) Quél., 1872
<i>Mycena galopus</i>
<i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm., 1871
<i>Mycena leaiana</i>
<i>Mycena megaspora</i> Kauffman, 1933
<i>Mycena polygramma</i> (Bull.) Gray, 1821
<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm., 1871

*Mycena rosea* (Schumach.) Gramberg, 1912

*Mycena sanguinolenta* (Alb. & Schwein.) P. Kumm., 1871

*Mycena tintinnabulum* (Batsch) Quél., 1872

*Mycena viridimarginata* P. Karst., 1892

#### *Physalacriaceae*

*Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm., 1871

*Armillaria novae-zelandiae* (G. Stev.) Boesew., 1977

*Armillaria tabescens* (Scop.) Emel, 1921

*Flammulina velutipes* (Curtis Fr.) Singer

*Oudemansiella mucida* (Schrad.) Hhn., 1910

#### *Pleurotaceae*

*Pleurotus cornucopiae* (Paulet) Rolland, 1910

*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., 1871

#### *Pluteaceae*

*Volvariella volvacea* (Bull.) Singer, 1951

#### *Schizophyllaceae*

*Schizophyllum commune* Fr., 1815

*Schizophyllum lobatum* Went

#### *Strophariaceae*

*Naematoloma fasciculare*

#### *Boletales*

##### *Boletaceae*

*Boletus curtisii* Berk.

ECM

*Boletus edulis* Bull., 1782

ECM

	<i>Boletus luridus</i> Viv.	ECM
	<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull.) Bataille, 1908	ECM
2002	<i>Retiboletus ornatipes</i> (Peck) Manfr. Binder & Bresinsky,	ECM
	<i>Retiboletus retipes</i> (Berk. & M.A. Curtis) Manfr. Binder & Bresinsky, 2002	ECM
	<i>Tylopilus felleus</i> (Bull.) P. Karst., 1881	ECM
	<i>Tylopilus neofelleus</i> Hongo	ECM
Dick	<i>Tylopilus plumbeoviolaceus</i> (Snell & E.A. Dick) Snell & E.A.	ECM
	<i>Sclerodermataceae</i>	
	<i>Scleroderma citrinum</i> Pers., 1801	ECM
	<i>Scleroderma polyrhizum</i> (J.F. Gmel.) Pers., 1801	ECM
	<i>Cantharellales</i>	
	<i>Cantharellaceae</i>	
	<i>Cantharellus cibarius</i> Fr., 1821	ECM
	<i>Hymenochaetales</i>	
	<i>Hymenochaetaceae</i>	
	<i>Coltricia cinnamomea</i> (Jacq.) Murrill, 1904	
	<i>Polyporales</i>	
	<i>Fomitopsidaceae</i>	
	<i>Daedalea dickinsii</i> Yasuda, 1923	
	<i>Daedalea quercina</i> (L.) Pers., 1801	
	<i>Daedalea tanakae</i> (Murrill) Aoshima	

*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst., 1881

*Fomitopsis spraguei* (Berk. & M.A. Curtis) Gilb. & Ryvarden, 1985

*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, 1920

#### *Ganodermataceae*

*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., 1881

#### *Polyporaceae*

*Daedaleopsis confragosa* (Bolton) J. Schrt., 1888

*Favolus arcularius* (Batsch) Fr.

*Fomes durissimus* Lloyd

*Fomes fomentarius* (L.) J. Kickx f., 1867

*Hexagonia speciosa* Fr., 1849

*Lentinus crinitus* (L.) Fr., 1825

*Panus conchatus* (Bull.) Fr., 1838

*Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst., 1881

*Pycnoporus coccineus* (Fr.) Bondartsev & Singer, 1941

*Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill, 1904

*Trametes versicolor* (L.) Lloyd, 1921

#### Russulales

##### *Russulaceae*

*Lactarius camphoratus* (Bull.) Fr., 1838

ECM

*Lactarius fuliginosus* (Fr.) Fr., 1838

ECM

*Lactarius picinus* Cooke

ECM

*Lactarius subdulcis* (Pers.) Gray, 1821

ECM

*Lactifluus piperatus* (L.) Roussel, 1806

ECM

<i>Lactifluus subvellereus</i> (Peck) Nuytinck, 2011	ECM
<i>Lactifluus vellereus</i> (Fr.) Fr., 1891	ECM
<i>Lactifluus volemus</i> (Fr.) Kuntze, 1891	ECM
<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr., 1863	ECM
<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers., 1796	ECM
<i>Russula nigricans</i> Fr., 1838	ECM
<i>Russula subnigricans</i> Hongo	ECM

#### Thelephorales

##### *Thelephoraceae*

<i>Thelephora aurantiotincta</i> Corner, 1968	ECM
<i>Thelephora ganbajun</i> M. Zang, 1987	ECM
<i>Thelephora palmata</i> (Scop.) Fr., 1821	ECM
<i>Thelephora terrestris</i> Ehrh., 1787	ECM
<i>Thelephora vialis</i> Schwein., 1832	ECM

ECM = Especies ectomicorrizógenas

Como resultado del análisis de minería de datos sobre las propiedades bioactivas de las 90 UTOs, se observaron 1361 registros de moléculas, de los cuales 940 corresponden a moléculas con propiedades bioactivas, el resto son repeticiones de estas. Estas especies han sido reconocidas con un total de 24 propiedades farmacológicas, indicadas en la tabla 2.

**Tabla 2. Número de especies detectadas por propiedad farmacológica.**

<b>Propiedad farmacológica</b>	<b>No. de Especies</b>
Analgésica	2
Antiagregantes plaquetarios	6
Antibacteriana	6
Anticancerígena	10
Antiepiléptica	1
Antifúngica	2
Antihepatotóxica	1
Antihipertensiva	1
Antiinflamatoria	9
Antimicrobiana	6
Antioxidante	3
Antiplasmodial	1
Antitumoral	10
Anti-VIH	3
Antiviral	3
Cardioprotectora	1
Citotóxica	3
Hepatoprotección	1
Hipocolesterolémica	1
Inhibición de la liberación de histamina	1
Inhibidor de la melanogénesis	1
Modulación alostérica	1



Precursor biológico 1

Regulador de crecimiento 1

Total de Propiedades farmacológicas Identificadas = 24

En general las moléculas aquí registradas, han sido utilizadas o evaluadas en el tratamiento o prevención de varios tipos de enfermedades, indicadas en la tabla 3.

**Tabla 3. Enfermedades que han sido tratadas con compuestos farmacológicos aislados de macrohongos.**

Enfermedades tratadas	
Enfermedades autoinmunes	Linfangiomatosis
Cáncer cerebral	Infarto de miocardio
Cáncer de mama	Cáncer de pulmón
Cáncer inespecífico	Osteoartritis
Condrosarcoma	Cáncer de Ovario
Cáncer Colorrectal	Cáncer Páncreas
Enfisema	Cáncer de Próstata
Glioblastoma multiforme	Sepsis
Tumores de cuello y cabeza	Tumor Sólido
Infección de Herpes virus	Carcinoma
Cáncer de próstata refractario a hormonas	Tumores
Inflamación	Infección viral
Sarcoma de Kaposi's	

De los resultados obtenidos, identificamos especies que tienen características que puedan ser aprovechadas económicamente, como son las relacionadas a:

*Ganoderma lucidum*, destaca de este hongo que se han aislado alrededor de 130 compuestos triterpenoides (Moreno *et al.* 2011), entre estos lucidumol-B con

importante actividad anti VIH (El-Mekkawy *et al.* 1998) y antitumoral (Min *et al.* 2000).

*Flammulina velutipes*, este es uno de los hongos más consumidos y cultivados a nivel mundial, posee compuestos farmacológicos muy importantes. Cumple las características de un alimento funcional, es decir, satisface las necesidades de alimentación y al mismo tiempo promueve la salud humana (Arango y Nieto 2013).

*Schizophyllum commune*, este hongo posee un potente fármaco llamado esquizofilano que tiene propiedades antitumorales, antiinflamatorias, entre otras (Zhang *et al.* 2013).

*Pycnoporus sanguineus*, este hongo posee actividad antibacteriana (Smânia *et al.* 1995, 2013), pero su mayor fortaleza económica radica en sus pigmentos, pues de sus basidiomas y micelio se puede extraer un colorante natural con potencial uso en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

### **8.1.1 Propiedades farmacológicas**

En cuanto a propiedades farmacológicas se identificaron casos muy interesantes, relacionados a *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., un hongo comestible y con un alto valor nutricional, que adicionalmente muestra una importante actividad antitumoral.

*Boletus luridus* es un hongo de la familia *Boletaceae* considerado venenoso pero que posee un fármaco con actividad anticancerígena.

*Lactifluus volemus*, *Lactarius camphoratus* y *L. subdulcis* poseen compuestos farmacológicos con actividades bioactivas como: antiagregación plaquetaria, anticancerígena, antiinflamatoria, antitumoral y antiviral. Especies relacionadas a este grupo de hongos está bien representado en las áreas de estudio.

*Calvatia cyathiformis*, posee propiedades farmacológicas como: analgésica, antibacteriana, anticancerígena, antiinflamatoria y antiviral.

*Cantharellus cibarius*, es un hongo ampliamente comercializado debido a que es un excelente alimento y que también ha demostrado ser un promotor de la salud por su actividad antimicrobiana y citotóxica.

Además, todas las especies estudiadas, relacionadas a las anteriores son ectomicorrizógenas, lo cual significa que tienen un papel muy importante en el equilibrio del encinar tropical, pues están relacionadas directamente a los árboles de *Quercus*, los cuales dan la estructura a dicho bosque.

### **8.1.2 Enfermedades**

La salud es una de las prioridades del ser humano, actualmente existe la tendencia al uso de las medicinas naturales, ya que no causan efectos secundarios en el organismo. En dicho sentido se están posicionando de manera notable los hongos basidiomicetos de los cuales, se extraen potentes fármacos para el tratamiento de enfermedades, las cuales anteriormente eran tratadas con medicinas sintéticas que provocaban reacciones adversas en el paciente.

*Boletus luridus*. A partir de este hongo se ha aislado un triterpeno pentacíclico, conocido como betulin ( $C_{30}H_{50}O_2$ ) el cual posee un efecto antiinflamatorio y el Ácido betulínico, que posee efectos antitumoral y anti-VIH (Ibáñez-Vásquez 2007; Mullauer *et al.* 2011).

*Ganoderma lucidum*. Este hongo ha sido usado en China y Japón como medicina tradicional para promover la salud y curar enfermedades como: Cáncer y VIH (Wang *et al.* 1997; El-Mekkawy *et al.* 1998) por mencionar las que más impactan a la población.

## **8.2 Discusión**

Actualmente existe evidencia científica sobre el importante papel que tienen los hongos en la naturaleza como los principales descomponedores y el reciclaje de materia orgánica (Raven 1995), así como también los beneficios ecológicos derivados de las interacciones mutualistas de los hongos con un gran porcentaje

de plantas (Pérez-Moreno y Read 2004). Pero a su vez también hay ensayos que demuestran efectos positivos en la alimentación y en la cura o tratamiento de enfermedades. Las perspectivas sobre la investigación y aplicación científica de este reino en áreas como la medicina, agricultura y la industria alimentaria, vislumbra un futuro prometedor, pues actualmente sabemos que el reino de los hongos cobro un mayor interés a partir de que se descubrió la penicilina (Fleming 1929), y que este hallazgo científico fue el primer paso para que la medicina considerara a este grupo biológico como una alternativa a los fármacos sintéticos.

Lo anterior resulta evidente tras el análisis de la información bibliográfica, como el efectuado en este trabajo, sobre el uso y propiedades bioactivas de los hongos, tema sobre el cual en la actualidad existe suficiente información a nivel mundial, sin embargo en muchos casos se necesita información específica sobre cierta región que ha sido ignorada o poco investigada y además es muy importante que se trabaje con especies de hongos nativas y así evitar en el caso de la reforestación un desplazamiento de especies como el que se da cuando se introducen especies exóticas.

*Ganoderma lucidum* es una fuente importante de compuestos farmacológicos, se han aislado triterpenoides y polisacáridos (Boh *et al.* 2007) del basidioma, esporas y del micelio. Este hongo tiene propiedades bioactivas, entre las que destacan la propiedad anticancerígena, anti-VIH, antioxidante, antitumoral, antiinflamatoria, antiviral, de hepatoprotección, entre otras (Gao *et al.* 2003; Boh *et al.* 2007; Zhu *et al.* 1999). *Flammulina velutipes* ha mostrado actividad anticancerígena, antimicrobiana, antiinflamatoria, antitumoral y antifúngica (Leung *et al.* 1997; Yang *et al.* 2012; Saito y Kuwahara 2005; Kang 2012). Cabe resaltar que esta especie, tiene un gran potencial de aprovechamiento por su valor gastronómico y farmacológico. *Schizophyllum commune* tiene diferentes compuestos con importantes actividades que promueven la salud destacando la propiedad antibacteriana, antihepatotóxica y anti-VIH (Jayakumar *et al.* 2010; Zhao *et al.* 2011).

### 8.3 Casos especiales

Existen casos a nivel familia que poseen importante número de moléculas con diferentes propiedades farmacológicas. Por ejemplo, la familia *Ganodermataceae* que está representada en este listado por una sola especie: *G. lucidum* de la cual se tiene un registro de 426 moléculas en la base de datos UNPD, siendo el hongo con mayor número de compuestos farmacológicos y lógicamente con un importante número de propiedades bioactivas.

La familia *Russulaceae* está representada por 12 especies de las que se han aislado alrededor de 143 compuestos con actividades biológicas. Algunas de estas especies también son comestibles, por lo que se trata de un alimento funcional, pues además de satisfacer necesidades alimenticias también promueven la salud humana.

La familia *Fomitopsidaceae* ocupa en este el tercer lugar con 137 moléculas extraídas a partir de 6 especies, siendo *Fomitopsis pinicola* la especie con mayor número de moléculas (58) aisladas de ella.

*Physalacriaceae* también destaca en los encinares tropicales estudiados, pues se han aislado 117 moléculas de 5 especies y es *Armillaria mellea* con 64 moléculas la mayor representante de esta familia.

Cabe resaltar que entre las 25 enfermedades distintas en las que se han evaluado las propiedades de estos hongos, muchas de ellas son crónicas y que en su mayoría se pueden prevenir.

En las áreas bajo estudio de este trabajo se registran varias especies de las anteriormente mencionadas: *Cantharellus* spp., *Amanita caesarea*, *Lactarius* spp., las cuales son apreciados gastronómicamente en mercados regionales, nacionales e internacionales.

Muchos de estos hongos crecen en bosques de pinos y de encinares, pues un importante porcentaje de ellos son ectomicorrizógenos. También se encuentran otras especies con potencial económico y nutricional como: *Lactarius indigo*, *Amanita rubescens*, *Russula* sp., y *Laccaria* sp.

## IX CONCLUSIÓN

Los hongos son un reino del cual no se ha logrado registrar ni un 10% de las especies que se han calculado que existen a nivel mundial, lo cual significa que en cuanto a investigación sobre sus propiedades farmacológicas existe un rezago aún mayor. Actualmente los hongos tienen un papel muy importante en distintas áreas de investigación (medicina, agricultura, industria) lo cual impulsa a que se generen estudios desde la parte básica que es la taxonomía. Por otra parte, es importante hacer el registro de la micobiota, ya que está siendo afectada por actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería y el cambio climático los cuales provocan efectos negativos e incluso la extinción de especies cada año.

Para México es muy importante que se realicen estudios taxonómicos en bosques de encinos, pues en nuestro país existen más de cien especies y una parte importante de ellas son consideradas endémicas. Esto significa que pueden existir especies fúngicas que no se verán en otra parte del mundo.

Es muy importante que se investigue qué especies de hongos existen en zonas tropicales, pues estas son las que menos se han atendido en un número reducido de investigaciones.

Sin duda los hongos ya han cambiado la vida del hombre de manera significativa, pero se espera que en un futuro con el desarrollo científico se genere información que impacte en la resolución de problemas sanitarios.

## X REFERENCIAS

Aaronson, S. 2000. Fungi. In K. F. Kiple y K. C. Ornelas (Eds.), The Cambridge world history of food (pp. 313–336). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Alexopoulos C. J., C. W. Mims, y Blackwell M. 1996. Phylum Basidiomycota order Aphyllophorales, polypores, Chantharellas, tooth fungi, coral fungi and corticioids. In: Harris, D. (ed). Introductory Mycology 4th Ed. New York, U. S. A. Wiley and Sons Inc. pp: 563-597.

Arango, C. S., y Nieto, I. J. 2013. Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutraceuticos. Revista Iberoamericana de Micología, 30: 1-8.

Arnolds, E. 1981. Ecology and coenology of macrofungi in grasslands and moist heathlands in drenthe, The Netherlands. part 1. Introduction and synecology. Bibliotheca Mycologica 83: 1-410.

Bandala V.M. y Montoya L. 1994. Further investigations on *Phaeocollybia* with notes on infrageneric classification. Mycotaxon 52: 397-422.

Bandala V.M., Montoya L. y Horak E. 1998. New data on the genus *Phaeocollybia* based on type studies. Mycologia 90: 119-124.

Bandala V.M., L. Montoya, Guzmán G. y Horak E. 1996. Four new species of *Phaeocollybia*. Mycological Research 100: 239-243.

Bandala V.M., Montoya L. y Chapela I. 1997. Wild edible mushrooms in Mexico: a challenge and opportunity for sustainable development. pags. 76-90., 1997. In: Mycology in Sustainable Development: Expanding concepts, vanishing borders. Parkway Publ. (E.U.A).

Bandala V.M., Montoya, L. y Ramos A. 2016. Two new *Lactarius* species from a subtropical cloud forest in eastern Mexico. Mycologia 108: 967–980. DOI: 10.3852/15-310 Print ISSN: 0027-5514 Online ISSN: 1557-2536

Bandala V.M., Montoya L., Villegas R., Cabrera T.G., Gutiérrez M.J. y Acero T. 2014. "Nangañaña" (*Tremelloscypha gelatinosa*, Sebacinaceae), hongo silvestre comestible del bosque tropical deciduo en la depresión central de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 106: 149-159.

Barros L., Cruz T., Baptista P., Estevinho L. M. y Ferreira I. C. F. R. 2008. Wild and comercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food. Chem. Tox.* 46: 2742-2747.

Battro, P. 2010. *Quesos artesanales*. Editorial Albatros.

Benítez H. y Bellot M. 2003. Biodiversidad: uso, amenazas y conservación. En Ó. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis, editores. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), D.F., México. 93-105.

Bishop K. S., Kao C. H., Xu Y., Glucina M. P., Paterson R. R. M. y Ferguson L. R. 2015. From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemistry* 114: 56-65.

Blackwell M. 2011. The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany* 98: 426-438.

Boa E. 2005. Los hongos silvestres comestibles: perspectiva global de su uso e importancia para la población. FAO, Roma.

Boh B., Berovic M., Zhang J. y Zhi-Bin L. 2007. *Ganoderma lucidum* and its pharmaceutically active compounds. *Biotechnology annual review*, 13: 265-301.

Alexopoulos C. J. y C. W. Mims 1985. *Introducción a la Micología*, Ediciones Omega, Barcelona, 638 pp.

Camargo-Ricalde, S. L., Arias, N. M. M., Mera, C. J. D. L. R., y Arias, S. A. M. 2012. Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* [en línea]. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/#a>.



Cano-Estrada A., y Romero-Bautista L. 2016. Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición* 43: 75-80.

Carballo M. y Guaharay F. 2004. Control biológico de plagas agrícolas. Serie Técnica, Manual Técnico-CATIE No. 53.

Carrasco-Hernández V., Pérez-Moreno J., Espinosa-Hernández V., Almaraz-Suárez J. J., Quintero-Lizaola R. y Torres-Aquino M. 2010. Caracterización de micorrizas establecidas entre dos hongos comestibles silvestres y pinos nativos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 567-577.

Carrillo Ruiz L. M. 2017. Extracción de colorante natural (cinabarina) del hongo rojo *Pycnoporus sanguineus* utilizando dos solventes. Trabajo de grado. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Agroindustria. Ibarra, Ecuador.

Cedano Maldonado M. C e Ibarra L. V. 2006. Colorantes orgánicos de hongos y líquenes. *scientia-CUCBA* 8:141-161.

Cedano M., Villaseñor L. y Guzmán-Dávalos L. 2001. Some aphylophorales tested for organic dyes. *Mycologist* 15: 81-85.

Cifuentes J. 2008. Hongos. Catálogo taxonómico de especies de México. *In* Capital natural de México, Vol. 1: conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.

Coetze J.C. y Van Wyk A.E. 2009. El género *Calvatia* ('Gasteromycetes', Lycoperdaceae): una revisión de su potencial etnomicológico y biotecnológico. *African Journal of Biotechnology* 8: 6007-6015.

Cola, A., Faiz O., y Sesli E. 2009. Nutritional composition of some wild edible mushrooms. *Turkish Journal of Biochemistry-Turk Biyokimya Dergisi* 34: 25-31.

Dai Y. C., Yang Z. L., Cui B. K., Yu C. J. y Zhou L. W. 2009. Species diversity and utilization of medicinal mushrooms and fungi in China. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 11: 287-302.

Delgado García S. V. 2010. Diversidad y abundancia de macromicetos del Bosque las Lajas del área natural Complejo San Marcelino, Santa Ana Sonsonate, El Salvador (Tesis Doctoral, Universidad de El Salvador).

Diego Calonge F. 2011. Hongos medicinales. Editorial Paraninfo.

El-Mekkawy S., Meselhy MR, Nakamura N., Tezuka Y., Hattori M., Kakiuchi N. y Otake T. 1998. Sustancias anti-VIH-1 y anti-VIH-1-proteasa de *Ganoderma lucidum*. *Phytochemistry* 49: 1651-1657.

Estrada-Martínez E., Guzmán G., Cibrián Tovar D. y Ortega Paczka R. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada México. *Interciencia* 34: 025-033.

Gao Y., Zhou S., Jiang W., Huang M. y Dai X. 2003. Effects of Ganopoly® (A *Ganoderma lucidum* polysaccharide extract) on the immune functions in Advanced-Stage cancer patients. *Immunological investigations* 32: 201-215.

Garay E., Bandala V.M. y Montoya L. 2012. Morphological and molecular identification of the ectomycorrhizal association of *Lactarius fumosibrunneus* and *Fagus grandifolia* var. *mexicana* trees in eastern Mexico. *Mycorrhiza* 22: 583-588.

Gómez-Romero M., Villegas J., Sáenz-Romero C. y Lindig-Cisneros R. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y bosques* 19: 51-63.

Goñas, G. M., Vera-Obando N. y Leiva-Espinoza S.T. 2017. Efecto antagónico *in vitro* de controladores biológicos sobre la pudrición gris de frutos de fresa (*Fragaria*

spp.) en el distrito de Chachapoyas (Amazonas). Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable 1: 22-29.

Guzmán G. 1998. Inventorying the fungi of Mexico. Biodiversity y Conservation 7: 369-384.

Guzmán G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. International J. Medicinal Mushrooms 10: 209-217.

Guzmán, G. 2011. El uso tradicional de los hongos sagrados: pasado y presente. Etnobiología 9: 1-21

H. Ayuntamiento Constitucional de Alto Lucero de Gutierrez Barrios, Ver. Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017.

H. Ayuntamiento Constitucional de Zentla, Ver. Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017.

Hawksworth, D. L. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited\*\* Paper presented at the Asian Mycological Congress 2000 (AMC 2000), incorporating the 2nd Asia-Pacific Mycological Congress on Biodiversity and Biotechnology, and held at the University of Hong Kong on 9-13 July 2000. Mycological research 105: 1422-1432.

Herrera M., Bandala V.M., Montoya L. 2018. *Cantharellus violaceovinosus*, a new species from tropical *Quercus* forests in eastern Mexico. MycoKeys 32: 91–109. doi: 10.3897/mycokeys.32.22838

Ibáñez-Vásquez L. 2007. Marcadores y efecto antitumoral, anti-VIH de las hojas y corteza de *Calophyllum brasiliense* C, “Lagarto caspi, Santa María, Bari” de las zonas de Satipo y Pucallpa. Perú. Horizonte Médico, 7.

Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista de protección vegetal 24: 14-21.

Jayakumar G. C., Kanth S. V., Chandrasekaran B., Rao J. R. y Nair B. U. 2010. Preparation and antimicrobial activity of scleraldehyde from *Schizophyllum commune*. Carbohydrate research 345: 2213-2219.

Jiménez Ruiz, M., Pérez-Moreno J., Almaraz-Suárez J. J. y Torres-Aquino M. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4: 199-213.

Kang H. W. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory effect of extracts from *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 41: 1072-1078.

Kessell S.L. 1927. Soil organisms. The dependence of certain pine species on a biological soil factor. Empire Forestry 6: 70-74.

Kornerup A. y Wanscher J.H. 1967. Methuen Handbook of Colour. 2a ed. Methuen, London. 243 p., 30 pl.

Lamus M.V., Franco S., Montoya L., Endara A., Caballero L.A., Bandala V.M. 2015. Mycorrhizal synthesis of the edible mushroom *Turbinellus floccosus* with *Abies religiosa* from central Mexico. Mycoscience 56: 622-626.

Lamus M.V., Montoya L., Aguilar C.J., Bandala V.M. y Ramos D. 2012. Ectomycorrhizal association of three *Lactarius* species with *Carpinus* and *Quercus* trees in a Mexican montane cloud forest. Mycologia 104: 1261-1266.

Largent, D., D. Johnson y Walling R. 1977. How to identify mushrooms to genus III. Microscopic features. Mad River Press Inc. Eureka.

Leung, MYK, Fung K.P. y Choy YM 1997. El aislamiento y la caracterización de un preparado de polisacáridos inmunomoduladores y antitumorales de *Flammulina velutipes*. Immunopharmacology 35: 255-263.

Lindequist U., Niedermeyer T. H. y Jülich W. D. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2: 285-299.

Llorente-Bousquets J. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322.

Lodge J.D. Ammirati J.F., O' Dell T.E. y Mueller G.M. 2004. Collecting and describing macrofungi. En: Mueller GM, Bills GF, Foster MS (Eds.) *Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods*. Elsevier Academic Press. San Diego, p. 128-158.

Martínez-Carrera D., Morales P., Sobal M., Bonilla M. y Martínez W. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. JMC Sánchez, *El cultivo de las setas *Pleurotus spp.* en México*, 20-40.

Martínez-Carrera D., Sobal M., Morales P., Martínez W., Martínez M. y Mayett Y. 2004. *Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y su Contribución a la Alimentación Mexicana. El Shiitake*. México: Colegio de Postgraduados.

Merchán-Gaitán J. B., Ferrucho R. L. y Álvarez-Herrera J. G. 2014. Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8: 44–56.

Min B. S., Gao J. J., Nakamura N. y Hattori M. 2000. Triterpenes from the spores of *Ganoderma lucidum* and their cytotoxicity against meth-A and LLC tumor cells. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 48: 1026-1033.

Mizuno T., Wang G., Zhang J., Kawagishi H., Nishitoba T. y Li J. 1995. Reishi, *Ganoderma lucidum* and *Ganoderma tsugae*: bioactive substances and medicinal effects. *Food Reviews International* 11: 151-166.

Montoya L. y Bandala V.M. 2008. A new species and new records of *Lactarius* (subgenus *Russularia*) in a subtropical cloud forest from eastern Mexico. *Fungal Diversity* 29: 61-72.

Montoya L. y Bandala V.M. 2011. A new *Phylloporus* from two relict *Fagus grandifolia* var. *mexicana* populations in montane cloud forest. *Mycotaxon* 117: 9-18.

Montoya L. y Bandala V.M. 1991. Studies on the genus *Phylloporus* in Mexico, I. Discussion of the known species and description of a new species and a new record. *Mycotaxon* 41: 471-482.

Montoya L. y Bandala V.M. 2003. Studies on *Lactarius* a new combination and two new species from Mexico. *Mycotaxon* 85: 393-407.

Montoya L. y Bandala V.M. 2004a. *Lactarius* subgenus *Piperites*: a new species and a new name. *Mycotaxon* 89: 47-54.

Montoya L. y Bandala V.M. 2004b. Studies on *Lactarius*: a new species from the Gulf of Mexico area. *Cryptogamie Mycologie* 25: 15-21.

Montoya L., Bandala V. M., Baroni T. y T.R. Horton. 2015. A new species of *Laccaria* in a montane cloud forest from Eastern Mexico. *Mycoscience* 56: 597-605.

Montoya L., Bandala V. M., Haug I. y Stubbe D. 2012. A new species of *Lactarius* (Subgenus *Gerardii*) from two relict *Fagus grandifolia* var. *mexicana* populations in Mexican montane cloud forests. *Mycologia* 104: 175-181.

Montoya L., Bandala V.M. y Haug I. 2010. Two *Lactarius* species associated with a relict *Fagus grandifolia* var. *mexicana* population in a Mexican montane cloud forest. *Mycologia* 102: 153–162.

Montoya L., Bandala V.M. y Garay E. 2014. Two new species of *Lactarius* associated with *Alnus acuminata* subsp. *arguta* in Mexico based on morphological and molecular evidence. *Mycologia* 106: 949–962.

Montoya L., Bandala V.M. y Garay E. 2015. The ectomycorrhizae of *Lactarius cuspidaurantiacus* and *Lactarius herrerae* with *Alnus acuminata* subsp. *arguta* in Central Mexico. *Mycorrhiza* 25: 457-467.

Montoya L., Bandala V.M., Ramos A. y Garay E. 2017. The ectomycorrhizae of *Lactarius rimosellus* and *Lactarius acatlanensis* with the endangered *Fagus grandifolia* var. *mexicana*. *Symbiosis* 73:135–144.

Montoya L., V.M. Bandala y G. Guzmán. 1987. Nuevos registros de hongos del Estado de Veracruz, IV. Agaricales (parte II). *Rev. Mex. Mic.* 3: 83-107.

Montoya L., V.M. Bandala y G. Moreno. 1998. Studies on *Lactarius* from Mexico. A new species in subgenus *Piperites*. *Persoonia* 17: 127-34

Moreno G., V.M. Bandala y L. Montoya. 1996. Una nuova specie di *Suillus cerulescente* dal Messico. *Rivista di Micologia* 39: 259-268.

Moreno H., Martínez A., y Fujimoto Y. 2011. Aislamiento e identificación de dos esteroides y un triterpenoide del cuerpo fructífero de *Ganoderma lucidum* cultivado en Colombia. *Vitae*, 18.

Mullauer F. B., Kessler J. H. y Medema J. P. 2011. Betulin is a Potent Anti-Tumor Agent That is Enhanced by Cholesterol. *Betulinic Acid Induced Tumor Killing*, 4, 117.

Munsell Soil Colour Charts. 1994. Macbeth, New Windsor. 10 p., 9 pl.

Muñoz C. A. 1996. El legado de Louis Pasteur. *Latreia*, 9, 16-21

O'Dell T. E., Lodge D.J. y Mueller G. M. 2004. Approaches to sampling macrofungi. En G. M. Mueller, G. F. Bills, y M.S. Foster, editores. *Biodiversity of Fungi, Inventory and Monitoring Methods*. Elsevier academic press, San Diego, California, United States of America. p.163-168

O'Brien H. E., Parrent J. L., Jackson J. A., Moncalvo J. M. y Vilgalys R. 2005. Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 5544-5550.

Organización Mundial de la Salud. 2017. Informe sobre el seguimiento de los progresos en relación con las enfermedades no transmisibles, 2017 [Noncommunicable Diseases Progress Monitor, 2017]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2017. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Oyola J. F. L. 2005. Química y síntesis de los principios activos aislados de hongos superiores: sus posibles aplicaciones farmacológicas. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna.

Peintner U., Pöder R. y Pümpel T. 1998. The iceman's fungi. *Mycological research* 102: 1153-1162.

Pera J. y Parladé J. 2005. Inoculación controlada con hongos ectomicorrízicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales* 14: 419-433.

Pérez-Moreno Jesús y Read D.J. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia* 29: 239-247.

Pfleger F. L y Linderman R. G. 1994. *Mycorrhizae and plant health* (No. LC-0170). American Phytopathological Society Press.

Pilz D. y Molina R. 2002. Commercial harvests of edible mushrooms from the forests of the Pacific Northwest United States: issues, management, and monitoring for sustainability. *Forest Ecology and Management* 155: 3-16.

Poinar Jr, G.O. y Buckley R. 2007. Evidence of mycoparasitism and hypermycoparasitism in Early Cretaceous amber. *Mycological research* 111: 503-506.



Ramos A., Garay-Serrano E., César E. Montoya L. y Bandala V.M. 2018. Ectomycorrhizas of two species of *Tuber* (clade *Puberulum*) in the Mexican subtropical cloud forest. *Symbiosis* 76: 1-12.

Rojas Ramírez L. 2013. Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisorio con impacto en la agricultura. *Fitosanidad* 17: 49-55.

Roncero-Ramos I. y Delgado-Andrade C. 2017. The beneficial role of edible mushrooms in human health. *Current Opinion in Food Science* 14: 122-128.

Saito M., y Kuwahara S. 2005. Síntesis total enantioselectiva de Enokipodins A-D, sesquiterpenos antimicrobianos producidos por el hongo, *Flammulina velutipes*. *Bioscience, biotechnology and biochemistry* 69: 374-381.

Sánchez J. E. y Mata G. 2012. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica investigación y desarrollo en un entorno multicultural (No. EE/635.80972 H6).

Sanmartin N. P. 2012. Análisis del modo de acción de la capacidad antagonica de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum gloesporioides* y *Fusarium* sp. *Tumbaga*, 2: 3.

Smânia A., Delle Monache F., Smânia E. F. A., Gil M. L., Benchetrit L. C. y Cruz F. S. 1995. Antibacterial activity of a substance produced by the fungus *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. *Journal of Ethnopharmacology* 45: 177-181.

Smith S.E. y Read D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Ed 3. Academic Press, New York.

Suárez-Machín C., Garrido-Carralero N. A. y Guevara-Rodríguez C. A. 2016. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 50: 20-28.

Tedersoo L, Bahram M, Põlme S, Kõljalg U, Yorou NS, Wijesundera R, Villarreal Ruiz L, Vasco-Palacios AM, Quang Thu P, Suija A. *et al.* 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346: 1256688.

- Ulloa M. 1998. Imágenes y palabras. Una dualidad dinámica de la comunicación científica. *Revista Mexicana de Micología* 13: 12-127
- Ulloa M. y Hanlin R. T. 2000. *Illustrated dictionary of mycology*. American Phytopathological Society (APS Press).
- Valdés M., E. Ambriz A. Camacho y A. M. Fierros. 2010. Inoculación de plántulas de pinos con diferentes hongos e identificación visual de la ectomicorriza. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2: 53-64.
- Valencia A. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 75: 33-53.
- Vandenkoornhuysen P., S. L. Baldauf C. Leyval J. Straczek y Young J. P. W. 2002. Extensive fungal biodiversity in plant roots. *Science* 295: 2051.
- Villalba A. J. 2009. *Boletum medicatum*. La seta que mató al emperador Claudio. Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación, 5.
- Villaseñor J. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana De Biodiversidad* 87: 559-902.
- Wang S. Y., Hsu M. L., Hsu H. C., Lee S. S., Shiao M. S. y Ho C. K. 1997. The anti-tumor effect of *Ganoderma lucidum* is mediated by cytokines released from activated macrophages and T lymphocytes. *International journal of cancer* 70: 699-705.
- Yang W., Pei F., Shi Y., Zhao L., Fang Y. y Hu Q. 2012. Purification, characterization and anti-proliferation activity of polysaccharides from *Flammulina velutipes*. *Carbohydrate Polymers* 88: 474-480.
- Zamora M. y Torres J.M. 2002. IX. Estado actual de la información sobre productos forestales no madereros. *Estado de la Información Forestal de México*. Monografías de Países Vol 11. Comisión Europea y FAO. 179-279.

Zhao Y. C., Zhang G. Q., Ng T. B. y Wang H. X. 2011. A novel ribonuclease with potent HIV-1 reverse transcriptase inhibitory activity from cultured mushroom *Schizophyllum commune*. *The Journal of Microbiology* 49: 803-808.

Zhu M., Chang Q., Wong L. K., Chong F. S. y Li R. C. 1999. Triterpene antioxidants from *Ganoderma lucidum*. *Phytotherapy Research* 13: 529-531.