



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**VARIACIÓN DEL CONOCIMIENTO TRADICIONAL MICOLÓGICO E INFLUENCIA DE  
FACTORES AMBIENTALES Y DE PERTURBACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE HONGOS  
SILVESTRES COMESTIBLES, EN LA MALINCHE, TLAXCALA**

# **TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**ERIBEL BELLO CERVANTES**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DR. JOAQUÍN CIFUENTES BLANCO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**DRA. MARÍA FERNANDA FIGUEROA DÍAZ ESCOBAR  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., SEPTIEMBRE, 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.





# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**VARIACIÓN DEL CONOCIMIENTO TRADICIONAL MICOLÓGICO E INFLUENCIA DE  
FACTORES AMBIENTALES Y DE PERTURBACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE HONGOS  
SILVESTRES COMESTIBLES, EN LA MALINCHE, TLAXCALA**

## **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTORA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**ERIBEL BELLO CERVANTES**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DR. JOAQUÍN CIFUENTES BLANCO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**DRA. MARÍA FERNANDA FIGUEROA DÍAZ ESCOBAR  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., SEPTIEMBRE, 2023**

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ENTIDAD INSTITUTO DE GEOLOGÍA

OFICIO CPCBI443/2023

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria (Virtual) del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 13 de febrero de 2023 se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de DOCTORA EN CIENCIAS de la estudiante BELLO CERVANTES ERIBEL con número de cuenta 513023888 con la tesis titulada "VARIACIÓN DEL CONOCIMIENTO TRADICIONAL MICOLÓGICO E INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES Y DE PERTURBACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES, EN LA MALINCHE, TLAXCALA", realizada bajo la dirección de la DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ  
Vocal: DR. YOHAN ALEXANDER CORREA METRIO  
Vocal: DRA. ANDREA MARTÍNEZ BALLESTÉ  
Vocal: DR. SIGFRIDO SIERRA GALVÁN  
Secretario: DRA. MARÍA FERNANDA FIGUEROA DÍAZ ESCOBAR

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 29 de mayo de 2023

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por todo el apoyo otorgado durante mi periodo de estudios en el doctorado.

Igualmente hago extenso mi agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico recibido como becaria (registro de beca: 290010) que me permitió llevar a término mis estudios de doctorado.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (UNAM - DGAPA- PAPIIT) por la beca de término de estudios otorgada dentro del proyecto IN302721, apoyo económico que fue fundamental para la conclusión de mi proyecto de investigación.

A la Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez, por dirigir con gran responsabilidad, conocimiento y humanidad este proyecto de investigación, gracias por su acompañamiento e impulso constante que me permitió crecer académica y personalmente.

A la Dra. María Fernanda Figueroa Días Escobar y Dr. Joaquín Cifuentes Blanco por su supervisión y aportaciones constantes que enriquecieron considerablemente el presente estudio.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A Ángel, por siempre mantenerse a mi lado dándome impulso a seguir a pesar de las adversidades, gracias porque a pesar de tu corta edad eres un ejemplo de ser humano, de madurez, fuerza y bondad.

A mi familia por su apoyo incondicional, por sus enseñanzas y compañía en cada paso.

A mis abuelitos Ranu, Irene y Jorge por tanto amor y sabiduría compartida, quienes en el transcurso del camino se fueron, pero siempre serán mi fuerza y ejemplo de honestidad, bondad, resistencia, rectitud, fortaleza y amor a la tierra y el trabajo.

A Mario por su invaluable compañía, cuidados y aportaciones, por compartir su conocimiento y amor por la montaña, por todo el impulso y cariño.

A la comunidad indígena Nahua de San Pedro Tlalcuapan, en donde nací y crecí, gracias a su gente por tantas enseñanzas de vida, cuidado y resistencia heredadas. Especialmente gracias a las hongueras y hongueros por compartir parte de sus prácticas y conocimiento en torno a los hongos y el bosque, a doña Tomasita, doña Felix, doña Maura, doña Mati, doña Pascuala, doña Cande, doña Mary, Mine, Mago y familias. Hasta donde estén gracias a don Miguel, don Enrique, doña Teodora y doña Candida, sus enseñanzas y amor permanecerá en nuestros pensamientos y acciones.

A mis amigos y guías de campo, por su apoyo, compañía y enseñanzas en el monte Miguel, Mario, Asa, Manuelito y Rodrigo.

Al grupo Biocultural Yoloaltepetl y Colectivo de Saneamiento y Restauración de la Malintzi, Tlalcuapan, por su apoyo incondicional, por el soñar y accionar juntos para el cuidado y defensa de nuestro territorio, nuestros derechos indígenas y nuestra biocultura.

Al Dr. Guillermo Castillo Ramírez, Dr. Alexander Correa Metrio y a la Dra. Elizabeth García Gallegos por el compartir de conocimientos, durante las estancias y curso realizados en sus áreas de trabajo, que han sido contribuciones importantes para el desarrollo del presente.

A la Dra. Adriana Montoya Esquivel, con quien comencé el presente trabajo siendo parte fundamental en la planeación del mismo.

A los miembros del jurado por sus comentarios y aportaciones al presente estudio.

## ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	3
Introducción general.....	5
Literatura citada .....	9
Capítulo 1. Importancia cultural de los hongos silvestres útiles en San Pedro Tlalcuapan, Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala.....	13
Importancia cultural de los hongos silvestres útiles en San Pedro Tlalcuapan, Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala (Artículo publicado).....	14
Capítulo 2. Distribución espacial y por edades del conocimiento etnomicológico en una comunidad en La Malinche, Tlaxcala, México.....	42
Variation of ethnomycological knowledge in a community from central mexico (Artículo de requisito).....	43
Capítulo 3. Conocimiento tradicional indígena sobre hongos silvestres comestibles: relevancia cultural, prácticas de recolección y factores que conducen a cambios en su abundancia en el centro de México.....	66
Indigenous Traditional Knowledge on Wild Edible Mushrooms: Cultural Significance, Extraction Practices and factors leading to changes in their abundance in Central Mexico (Artículo aceptado) .....	67
Capítulo 4. Influencia de factores ambientales y de perturbación sobre la comunidad de hongos silvestres comestibles, en bosques del centro de México.....	111
Influencia de factores ambientales y de perturbación sobre la comunidad de hongos silvestres comestibles, en bosques del centro de México (Artículo en proceso).....	112
Discusión general y conclusiones.....	158
Literatura citada.....	172
Anexos Capítulo 3.....	180



## RESUMEN

Los bosques de coníferas y encinos son de gran importancia socioambiental en México, ya que son el segundo tipo de ecosistemas en extensión en el país. Se caracterizan por alojar una alta biodiversidad y han sido el sustento de diversos grupos sociales indígenas. En la actualidad se reconoce una fuerte dependencia de las comunidades originarias hacia sus bosques, basada en una relación biocultural que se ha desarrollado a lo largo del tiempo. Los hongos son componentes fundamentales de estos ecosistemas, siendo parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, además que, desde épocas prehispánicas, han formado parte relevante de la cultura y economía indígena de México y el mundo. Su uso ha sido un medio para que la conservación forestal sea sostenible para las comunidades locales, no obstante, los cambios socioeconómicos han amenazado la diversidad biocultural. En la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, ubicada en el Parque Nacional La Malinche los hongos silvestres son parte importante de la cultura; sin embargo, en los últimos años se ha observado un proceso de pérdida de estos y otros recursos naturales, asociados al deterioro en las áreas forestales, cambios culturales y de conocimiento tradicional, lo cual pone en riesgo la diversidad biocultural de la región. Preocupados por tal situación, miembros de la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, autoridades locales y la academia, hemos colaborado para encontrar soluciones. En ese contexto se realizó el presente estudio, con el objetivo de caracterizar las variables ecológicas, abióticas y de disturbio que afectan el desarrollo, fenología y diversidad de los hongos silvestres comestibles, así como los conocimientos y prácticas tradicionales con respecto a la comunidad fúngica. A lo largo de tres años se realizaron recorridos etnomicológicos, talleres, mapeo participativo y entrevistas semiestructuradas con el fin de conocer, documentar y comprender los usos y la importancia cultural de los hongos, así como , factores antrópicos y ambientales que inciden en ellos y prácticas actuales y potenciales de su conservación. De manera simultánea, se caracterizó la composición y estructura del bosque, clima, relieve, suelo y perturbación en sitios de recolección, en cuatro tipos de vegetación, donde se monitorearon los hongos durante dos años. Se evaluaron las diferencias en la riqueza, abundancia, producción y diversidad fúngica entre los diferentes tipos de vegetación y temporadas de muestreo. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, analítica, técnicas de ordenación y modelos de regresión lineal. La comunidad de estudio recolecta hongos principalmente para autoconsumo durante los meses de mayo a octubre. Se registraron 50 taxa, los de mayor mención fueron *Russula complex. delica*, *Amanita basii* y *Boletus complex. edulis*. Se

caracterizaron 12 sitios, en cuatro tipos de vegetación con diferente grado de perturbación, en donde se identificaron 46 morfoespecies de las 50 enunciadas en la comunidad, siendo las más abundantes *Gymnopus dryophilus*, *Hygrophoropsis aurantiaca* y *Laccaria trichodermophora*. Se observaron diferencias significativas en la abundancia y producción de hongos entre los diferentes tipos de vegetación. La riqueza y producción se vio afectada por el grado de perturbación, siendo mayor en los sitios con perturbación media. Las variables altitud, concentración de nutrientes en el suelo P, Ca y Mg, apertura del dosel, presencia de veredas, presencia de fuego, contigüidad y profundidad del mantillo, explican la presencia y producción de los hongos silvestres comestibles en la zona de estudio, de manera similar, la vegetación, clima y características del suelo son variables ambientales que la comunidad percibe como importantes para la producción de hongos, mientras que tala, incendios y mala cosecha son factores considerados perjudiciales. Los análisis demuestran que existen diferencias en el conocimiento biocultural fúngico en función de las características socioeconómicas y ubicación de las viviendas de los entrevistados, lo cual podría ser un indicador de posible pérdida en la transmisión del conocimiento en algunas áreas. La relación biocultural entre las comunidades y los bosques durante muchos años, ha desembocado en un cúmulo de conocimientos y prácticas, que junto a las características intrínsecas del ecosistema, generan un mosaico de condiciones bióticas, abióticas y socioeconómicas en los bosques, lo cual influye sustancialmente en la comunidad fúngica. La combinación de métodos etnográficos y ecológicos permitieron, de manera complementaria, identificar las características espacio-temporales de los sitios de recolección de hongos, variables que influyen en la comunidad fúngica, factores que determinan su importancia cultural, alternativas para la conservación de los hongos y el bosque, así como, desarrollar aportaciones metodológicas para analizar la variación del conocimiento tradicional. Estos aspectos sientan las bases para la generación de actividades comunitarias incluyentes y relevantes para este contexto, que permita la preservación de la riqueza biocultural.

## ABSTRACT

Coniferous and oak forests are of great socio-environmental importance in Mexico, since they conform the second largest type of ecosystems in our country. These forests are characterized by high biodiversity and have been the livelihood of numerous indigenous social groups, which strongly depend on their forests, based on a biocultural relationship that has developed over time. Fungi are fundamental components of these ecosystems, being an essential part of biogeochemical cycles. In addition, since pre-Hispanic times, they have formed a relevant part of the indigenous culture and economy of Mexico. Their use has enhanced forest conservation based on sustainable criteria, however, socioeconomic changes have threatened biocultural diversity. In the community of San Pedro Tlalcuapan located in La Malinche National Park, wild mushrooms are an important part of the culture, however, in recent years there has been a process of loss of natural resources, deterioration of forest areas, changes in culture and traditional knowledge, which puts the bioculture of the region at risk. Concerned about this situation, members of the community, local authorities and scholars have collaborated to look for solutions. This study was carried out aimed at characterizing the ecological, abiotic and disturbance variables that affect the development, phenology and diversity of edible wild mushrooms, as well as traditional knowledge and practices regarding the fungal community. Throughout three years, ethnomycological walks, workshops, participatory mapping and semi-structured interviews on conservation, importance, use, anthropic and environmental factors that affect fungi were carried out. Simultaneously, the composition and structure of the forest, climate, relief, soil and disturbance in collection sites were characterized, in four types of vegetation, where fungi were monitored for two years. The differences in richness, abundance, production and fungal diversity between the different types of vegetation and sampling seasons were evaluated. Data were analyzed using descriptive and analytic statistics, ordination techniques, and linear regression models. The community studied collects mushrooms mainly for self-consumption during the months of May to October. 50 taxa were recorded, the highest mentioned being *Russula delica* complex., *Amanita basii* and *Boletus* complex. *edulis*. Twelve sites were characterized, in four types of vegetation with different degrees of disturbance, where 46 morphospecies of the 50 listed in the community were identified, the

most abundant being *Gymnopus dryophilus*, *Hygrophoropsis aurantiaca* and *Laccaria trichodermophora*. Significant differences in the abundance and production of fungi were observed between the different types of vegetation. Richness and production were affected by the degree of perturbation, being higher in sites with medium perturbation. It was identified that the variables altitude, concentration of soil nutrients P, Ca and Mg, opening of the canopy, presence of paths, presence of fire, contiguity and depth of the mulch, explain the presence and production of edible wild mushrooms in the study area, similarly, vegetation, climate, and soil characteristics are environmental variables that the community perceives as important for mushroom production, while tree felling, fires, and poor harvests are considered detrimental factors. The studies performed show that there are differences in fungal biocultural knowledge depending on the socioeconomic characteristics and location of the interviewees' homes, which could be an indicator of a possible loss in the transmission of knowledge in some areas. The biocultural relationships between communities and forests for many years, have led to an accumulation of knowledge and practices, which, coupled with the intrinsic characteristics of the ecosystem, generate a mosaic of biotic, abiotic and socioeconomic conditions in the forests of our country that substantially influences the fungal community. The combination of ethnographic and ecological methods allowed, in a complementary way, to identify the spatiotemporal characteristics of the mushroom collection sites, variables that influence the fungal community, factors that determine their cultural importance, alternatives for the conservation of mushrooms and the forest, as well as developing methodological contributions that allow us to analyze the variation of traditional knowledge. These aspects allow establishing the foundations for the generation of inclusive and relevant community activities for this context, which allows the preservation of biocultural wealth.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques de coníferas y encinos son el segundo ecosistema en extensión en nuestro país y se caracterizan por alojar una alta biodiversidad y son considerados como los que más especies de flora, fauna, funga y microorganismos albergan (Flores-Villela y Gerez, 1994; Challenger y Soberón, 2008; Carabias *et al.*, 2010; Kuhar *et al.*, 2018\*). Estos bosques tienen una gran importancia socioambiental (Körner y Ohsawa, 2006), brindan servicios ecosistémicos y mantienen la dinámica de los ecosistemas (Landell-Millis y Bishop, 2003).

Al proveer recursos maderables, la fertilidad del suelo y su aptitud para la agricultura, el clima benigno, la fuente de diversos recursos combustibles, alimenticios y medicinales, los bosques constituyen la base de la mayor parte del recurso forestal y de la economía campesina tradicional de diversas comunidades indígenas del mundo (Challenger, 2003; Endamana *et al.*, 2016; Suleiman *et al.*, 2017). Se reconoce una fuerte dependencia de las comunidades originarias hacia sus bosques, basada en una relación biocultural que se ha desarrollado a lo largo del tiempo, y que se traduce en una gran diversidad de acervos de conocimientos tradicionales y prácticas en todo el mundo (Toledo y Barrera, 2008).

Desde épocas prehispánicas los hongos, han formado parte relevante de la cultura indígena y, en la actualidad, constituyen un recurso forestal no maderable con alto valor de cambio y una fuente importante de ingresos para muchas familias (Zamora *et al.*, 2000; Boa, 2004). Estos organismos tienen un papel ecológico relevante en los ecosistemas como descomponedores, recicladores, micorrizógenos y patógenos (Dighton, 2003; Egli *et al.*, 2010). Los bosques producen anualmente una gran variedad de hongos silvestres que son usados como alimento, ingresos económicos, medicamentos, combustibles, cosméticos, juguetes y como elemento de prácticas rituales, entre otros (Villarreal y Guzmán, 1985; Zamora-Martinez y Nieto de Pascual, 1995; Montoya *et al.*, 2003, 2004; Garibay-Orijel *et al.*, 2006, 2010).

Los bosques han sido el sustento de vida para los grupos sociales indígenas (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000) y como mencionan Challenger (2003) y Boege (2008), no es mera coincidencia que la mayoría de las zonas que aun ostentan ecosistemas en buenas condiciones de conservación se relacionen estrechamente con los lugares en donde habitan las etnias originarias en México. Gracias a la relación histórica de las comunidades rurales campesinas e indígenas con su entorno, se cuenta con un enorme acervo de conocimiento ecológico tradicional. Se trata de un complejo sistema de conocimientos, prácticas y cosmovisiones que se han desarrollado, compartido y transmitido a través de las generaciones, de acuerdo con la historia socionatural, las características y necesidades de cada pueblo (Maffi, 2005; Quinlan y Quinlan, 2007; Reyes-García *et al.*, 2013; Saynes-Vásquez *et al.*, 2013) y que, en las zonas rurales constituye un elemento fundamental de la configuración de los medios de vida de las personas (Sharma *et al.*, 2018). Sin embargo, diversas presiones sociales, económicas y ecológicas han dado lugar a variantes en el uso de los recursos naturales (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000; González-Espinosa *et al.*, 2009) que han llevado a los bosques templados a ser catalogados como uno de los ecosistemas menos conservados de México (Velázquez *et al.*, 2001).

El conocimiento tradicional juega un importante papel en los procesos de producción material de los campesinos y, sobre todo, en la obligada tarea de obtener los bienes de los recursos naturales sin destruir la delicada organización de los ecosistemas. Por ello, éste puede ser una guía de nuevas investigaciones y estudios que busquen construir un modelo de manejo sostenible. A partir de estos argumentos, disciplinas como la etnoecología y la etnobiología toman relevancia (Toledo, 1990). Estas disciplinas se enfocan en problemáticas de la realidad social y ambiental. Contribuyen a la conservación de la biodiversidad y abordan las concepciones, percepciones y conocimientos sobre la naturaleza que permiten a las sociedades rurales producir y reproducir las condiciones materiales y espirituales de su existencia social, a través de un manejo adecuado de sus recursos naturales.

El presente trabajo espera, a través de dichas disciplinas, conocer la situación actual del saber tradicional en torno a los hongos en una comunidad originaria, San Pedro Tlalcuapan, en el estado de Tlaxcala, México. En esta comunidad, a pesar de su cercanía con la ciudad de Tlaxcala, aún se llevan a cabo prácticas ancestrales en torno a los recursos naturales. Así, la investigación buscó generar, en conjunto con los habitantes, información y herramientas útiles para la conservación biocultural de la región.

La comunidad de San Pedro Tlalcuapan se ubica al noroeste del Parque Nacional La Malinche, el cual forma parte de los principales cuerpos volcánicos de la Cordillera Volcánica Transmexicana (Villers *et al.*, 2006). Esta montaña se localiza entre los estados de Tlaxcala y Puebla, con una extensión de 1,326 km<sup>2</sup> (Castillo, 2006), forma parte de la cuenca hidrológica del río Atoyac-Zahuapan y aporta volúmenes considerables a las aguas subterráneas. A partir de la cota de los 3,000 m s.n.m., la zona es considerada como Parque Nacional y contiene una de las áreas con cobertura vegetal más importante de esa región. La Malinche está cubierta con bosques de coníferas y mixtos, que son el hogar de una gran variedad de hongos (Acosta y Kong, 1991), con un registro de hasta 93 especies de hongos útiles (Montoya *et al.*, 2004). Sin embargo, la deforestación, los incendios y los cambios en el uso del suelo, han contribuido con la disminución de la infiltración el incremento del arrastre y la erosión del suelo, así como con la pérdida de la biodiversidad (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 2004; Marín-Castro *et al.*, 2015). La Malinche ha sido un espacio en el cual el medio natural se ha utilizado y transformado por la acción humana, principalmente por debajo de los 2,700 m s.n.m

San Pedro Tlalcuapan es una comunidad indígena nahua, ubicada al noroeste del PNLM (19° 16' 50.02 "N, 98° 09' 06.30" W), en el municipio de Santa Ana Chiautempan, en el Estado de Tlaxcala, México. Ocupa una superficie de 1,162 ha, se encuentra a una altitud de 2,411 m s.n.m., con una precipitación y temperatura medias anuales de 901 mm y 15.7°C, respectivamente, que caracterizan a un clima templado subhúmedo. La vegetación está conformada por bosques de coníferas (*Abies* y *Pinus*) y bosques mixtos (*Pinus-Quercus* y *Quercus-Pinus*) con diferentes niveles de conservación, así como pastizal inducido y agricultura de temporal (INEGI, 2010).

La comunidad se rige por el sistema de usos y costumbres; es decir, tiene un sistema normativo interno cuya máxima autoridad es la asamblea comunitaria. Por muchos años los habitantes de Tlalcuapan dependieron de los recursos naturales que les brindaba la

montaña, como hongos y plantas, lo que contribuyó a la generación de conocimientos, ideas y prácticas que conforman el acervo cultural de la zona, pero diversas presiones y cambios socioeconómicos han contribuido al deterioro y promovido la pérdida de conocimiento tradicional.

Los hongos son un componente importante de los ecosistemas forestales, su distribución, diversidad y composición está determinada por factores abióticos (clima, suelo), bióticos (interacciones), así como por la historia de los disturbios y sus propiedades intrínsecas (Chaudhary *et al.*, 2008). Se considera que la composición de las comunidades de hongos es un indicador de la estructura y función de un ecosistema (Quiñonez *et al.*, 2008), por lo que en lugares como La Malinche, en donde aún forman parte de la economía local, es necesario caracterizar las variables ecológicas, abióticas y de disturbio que afectan el desarrollo, fenología y diversidad. Asimismo; los conocimientos y prácticas con respecto a la comunidad fúngica. Este conocimiento puede sentar las bases para proponer estrategias locales para la conservación y manejo adecuado de estos recursos y su ecosistema.

Es importante recalcar que en Tlalcuapan, en los años recientes, se observa un proceso de pérdida de los recursos naturales, cambios culturales y en el conocimiento tradicional, que han llevado al deterioro de los ecosistemas. Preocupados por dicha situación, miembros de la comunidad y autoridades locales han mostrado interés en revalorar y fortalecer la conservación de su herencia biocultural y promover un desarrollo sostenible. Por esta razón, de manera conjunta, nos planteamos los siguientes objetivos, que nos permitirán generar herramientas para el desarrollo de un proyecto comunitario incluyente y relevante para este contexto, que posibilite la preservación de la riqueza biocultural:

- 1) Describir el conocimiento tradicional micológico y la importancia cultural de los hongos en San Pedro Tlalcuapan, así como realizar un análisis comparativo con respecto a otras comunidades de la montaña.
- 2) Desarrollar un método que permita conocer la variación de la importancia biocultural de los hongos silvestres comestibles, entre los miembros de la comunidad, en función de las diferentes zonas del territorio en donde viven y su edad.
- 3) Identificar los factores que determinan la importancia cultural de los hongos silvestres comestibles en la comunidad, así como caracterizar espaciotemporalmente los sitios de recolección de hongos, los factores que influyen en la comunidad micológica y las estrategias de uso sustentable, a través de procesos participativos.
- 4) Evaluar la producción, abundancia, riqueza y diversidad de hongos en sitios de recolección con diferente tipo de vegetación y distinto grado de perturbación.

El presente trabajo está organizado en cinco capítulos que siguen un formato de artículos científicos, en los que se reportaran los resultados de la investigación. Los capítulos siguen la misma secuencia de los objetivos y se describen a continuación.

Capítulo I. En este artículo se aborda, de manera general, la importancia del conocimiento tradicional micológico de la comunidad estudiada y se documenta el aporte de los hongos a la economía familiar. Se generó información sobre los hongos que se usan y reconocen en la comunidad, sus usos, lugares de crecimiento y temporadas de fructificación, con base en entrevistas y recorridos conjuntos. Se hace una comparación con otras comunidades ubicadas también en La Malinche para evaluar el nivel de conocimiento entre ellas. Esto contribuye con elementos que permiten reconocer la importancia de la riqueza biocultural de los hongos y su conservación, desde la diversidad cultural, espacial y biológica. Este artículo está publicado en la revista *Regiones y Desarrollo Sustentable*.

Capítulo II. En este capítulo se evalúa la importancia cultural y la distribución espacial y por edades del conocimiento etnomicológico en la comunidad de estudio. Se partió de la información recabada en entrevistas semiestructuradas y se propusieron dos vías de análisis que permiten conocer la variación de la importancia biocultural de los hongos silvestres comestibles entre miembros de la comunidad con diferentes características. Este fue el artículo de requisito para la obtención del grado de Doctora en Ciencias y fue publicado en *Journal of Fungal Diversity*.

Capítulo III. En dicho este se identifican las especies de hongos de mayor relevancia cultural mediante la adecuación de un índice cuantitativo, que nos permite identificar las razones que determinan dicha importancia en la comunidad. Mediante metodologías participativas se caracterizaron detalladamente los sitios de recolección más visitados por los pobladores y se identifican aquellos factores ambientales y antrópicos que afectan o benefician a la comunidad fúngica. Así mismo, se registraron aquellas estrategias tradicionales de uso sustentable y se evaluó la variación de dicho conocimiento con respecto a características de la población, como edad, género, ocupación y la ubicación de sus hogares en relación con las zonas de colecta. Este artículo se encuentra en revisión en la revista *Journal of ethnobiology*.

Capítulo IV. Este artículo se basa en la investigación ecológica sobre la influencia de factores ambientales (suelo, clima, relieve, vegetación) y de disturbio sobre la comunidad de hongos silvestres comestibles, en el cual se abordan los resultados del monitoreo a lo largo de dos años de la comunidad de hongos silvestres comestibles en sitios con diferente grado de perturbación, en cuatro tipos de vegetación. Mediante un análisis de varianza y de disimilitud se evaluó la variación de la producción, abundancia, riqueza y diversidad de esta comunidad fúngica espacial y temporalmente, mientras que mediante análisis multiparamétricos se indagó el efecto de los factores ambientales y de disturbio en los hongos, identificando aquellos que favorecen o afectan su producción.



## LITERATURA CITADA

- Acosta R, Kong A (1991). Guía de las excursiones botánicas y micológicas al Cerro El Peñon y Cañada Grande del estado de Tlaxcala. IV Congreso Nacional de Micología, Jardín Botánico Tizatlán, Gobierno del estado de Tlaxcala, Tlaxcala. *Folleto de divulgación No. 8.*
- Boa, E R (2004). *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people* (No. 17). Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Boege E (2008) *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas.* Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México.
- Carabias J, Sarukhán J, de la Maza J, Galindo C (coord.) (2010) *Patrimonio natural de México.* Cien casos de éxito. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.
- Castillo M E (2006) Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogenéticas. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Challenger A (2003) Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: Sánchez, O, Vega, E, Peters, E y Monroy-Vilchis O (eds) *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México.* INE.
- Challenger A, Soberón J (2008) *Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.* CONABIO, México, pp. 87-108.
- Chaudhary V, Kapoor R, Bhatnagar A (2008) Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annua* L. En *Applied Soil Ecology.* 40(1): 174-181.
- Dighton J (2003) *Fungi in ecosystem processes.* CRC, Boca Raton, Florida. 424 p.

- Egli S, Ayer F, Peter M, Eilmann B, Rigling A (2010). Is forest mushroom productivity driven by tree growth? Results from a thinning experiment. *Annals of Forest Science*, 67(5), 509-509.
- Endamana D, Angu K A, Akwah G N, Shepherd G, Ntumwe B C (2016). Contribution of non-timber forest products to cash and non-cash income of remote forest communities in Central Africa. *International Forestry Review*, 20, 1–16.).
- Flores Villela O, Gerez P (1994) *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garibay-Orijel R, Ruan-Soto F, Estrada-Martínez E (2010). El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales. In: Martínez-Carrera, D. (ed.), *Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI*, Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales, México, D.F. pp. 243-270.
- Garibay-Orijel R, Cifuentes J, Estrada-Torres A, Caballero J (2006). People using macro-fungal diversity in Oaxaca, Mexico. *Fungal diversity* 21:41-67.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Galindo-Jaimes L, Camacho-Cruz A, Golicher D, Cayuela L, Rey-Benayas JM (2009) Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política Pública*. 1(1):40-53.
- INEGI (2010). *Anuario geoestadístico de Tlaxcala*. INEGI Aguascalientes, México.
- Körner C, Ohsawa M (2006) Mountain systems. In: Hassan R, Scholes R, Ash N (eds) *Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment, Vol 1*. Washington, DC: Island Press, pp 681–716.
- Kuhar F, Furci G, Drechsler-Santos E R, Pfister D H (2018). Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). *IMA Fungus*, 9(2), A71-A74
- Landell-Mills N, Bishop J (2003) Los servicios ambientales de los Bosques: En Bishop J, Landell-Mills N, Pagiola S (eds) *La venta de servicios ambientales, Forestales, Mecanismos basados en el mercado para la Conservación y el Desarrollo*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. D.F.

- Maffi L (2005). Linguistic, Cultural, and Biological Diversity. *Annual Review of Anthropology*. 34:599–618.
- Marín-Castro M A, Silva-Díaz V, Linares-Fleites G, Castagnino A M, Ticante-Roldán J A (2015). *La biodiversidad de los hongos ectomicorrízicos y su importancia para la conservación del bosque en la zona poblana del Parque Nacional Malintzi. Vol. 1*. Zea Books. Lincoln, Nebraska
- Montoya A, Kong A, Estrada-Torres A, Cifuentes J, Caballero J (2004). Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17:115-143.
- Montoya A, Hernández-Totomoch O, Estrada-Torres A, Kong A, Caballero J (2003). Traditional knowledge about mushrooms in a Nahua community in the state of Tlaxcala, Mexico. *Mycologia* 95:793-806.
- Ochoa-Gaona S, González-Espinosa M (2000) Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography*, 20:17–42.
- Quinlan M B, Quinlan R J (2007). Modernization and medicinal plant knowledge in a Caribbean horticultural village. *Medical Anthropology Quarterly*, 21(2), 169-192.
- Quiñonez M, Garza F, Sosa M, Lebgue T, Lavin P, Bernal S (2008) Índices de diversidad y similitud de hongos ectomicorrizógenos en bosques de Bocoyna, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 33(103): 188.
- Reyes-García V, Guèze M, Luz A C, Paneque-Gálvez J, Macía M J, Orta-Martínez M, Pino J, Rubio-Campillo X (2013). Evidence of traditional knowledge loss among a contemporary indigenous society. *Evolution and Human Behavior*, 34(4), 249-257.
- Sharma S, Mistri R, Chettri A, Bhattarai B, Choubey M (2018). Indigenous Knowledge from Livelihood Perspectives in Rural Households of Sikkim: An Analysis. *Research Journal of Humanities and Social Sciences*, 9(3), 593-597.
- Saynes-Vásquez A, Caballero J, Meave J A, Chiang F (2013). Cultural change and loss of ethnoecological knowledge among the Isthmus Zapotecs of Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9(1), 1-10.
- Suleiman M S, Wasonga V O, Mbau J S, Suleiman A, Elhadi Y A (2017). Non-timber forest products and their contribution to household's income around Falgore Game Reserve in Kano, Nigeria. *Ecological Processes*, 6, 23. doi:10.1186/s13717-017-0090-8.

- Toledo V (1990) La perspectiva etnoecológica. Cinco reflexiones acerca de las “ciencias campesinas” sobre la naturaleza con especial referencia a México. *CIENCIAS* 4: 22-29.
- Toledo V M, Barrera-Bassols N (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales* (Vol. 3). Icaria editorial. Barcelona, España. 233 p.
- Velázquez A, Mas JF, Palacio JL (2001) Análisis del cambio de uso del suelo Instituto Nacional de Ecología- Instituto de Geografía, UNAM (Informe Técnico) ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).
- Villarreal L, Guzmán G (1985) Producción de los hongos comestibles silvestres en los bosques de México. *Scientia Fungorum* 1:51-90.
- Villers RL, Rojas GF, Tenorio LP (2006) *Guía botánica del parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla*. México City: Universidad Autónoma de México.
- Villers-Ruiz L, Trejo-Vázquez I (2004) Evaluación de la vulnerabilidad en los sistemas forestales. En: Martínez J, Fernández-Bremauntz (eds.), *Cambio climático una visión desde México*, INE y SEMARNAT, México D.F. 239-254 pp.
- Zamora M, Alvarado G, Domínguez JM (2000) *Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala Parte 1*. Inifap.
- Zamora-Martinez M y Nieto de Pascual P (1995) Natural production of wild edible mushrooms in the southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 72: 13-20.

## **Capítulo 1**

# **IMPORTANCIA CULTURAL DE LOS HONGOS SILVESTRES ÚTILES EN SAN PEDRO TLALCUAPAN, PARQUE NACIONAL LA MALINCHE, TLAXCALA**

Artículo original

Acceso abierto

# Importancia cultural de los hongos silvestres útiles en San Pedro Tlalcuapan, Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala

Eribel Bello Cervantes, Laura Guideoni Caamal Caamal, Adriana Montoya Esquivel Rosa Irma Trejo Vázquez, Joaquín Cifuentes Blanco

Correspondencia: lebire\_320@hotmail.com  
Maestra en Ciencias

Correspondencia: laura\_guide10@

hotmail.com

Centro de Investigación en Ciencias Biológicas  
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Correspondencia: ametnomicol@

hotmail.com

Doctora en Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.

Correspondencia: itrejoig@gmail.com

Doctora en Ciencias (Biología).

Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.

Correspondencia: jcifuentesblanco@

hotmail.com

Doctora en Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.

**Fecha de recepción:**

1-junio-2018

**Fecha de aceptación:**

21-febrero-2019

## Resumen

Por muchos años, los habitantes del Parque Nacional La Malinche (PNLM) han usado sus recursos naturales, generando conocimiento y movimiento en la economía local. Entre los recursos que destacan, los hongos, como recurso forestal no maderable, se presentan con un alto valor de cambio y como fuentes considerables de ingresos para muchas familias. El objetivo de este trabajo es analizar la importancia cultural (IC) de los hongos en la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, con respecto a otras comunidades ubicadas dentro del PNLM. Mediante entrevistas, recorridos etnomicológicos y listados libres, se enlistaron los hongos útiles de mayor importancia, sus usos, lugares de crecimiento y temporada de fructificación; asimismo, se evaluaron trabajos micológicos en 10 comunidades con diferentes rasgos culturales, mediante un Análisis de

Estadístico Multidimensional No Métrico (NMDS), con la intención de aportar elementos sobre la importancia de la riqueza biocultural de los hongos y su conservación, bajo su diversidad cultural, espacial y biológica.

For many years, the inhabitants of the National Park La Malinche (PNLM) have used their natural resources, generating knowledge and movement in the local economy. Among the resources that stand out, mushrooms, as a non-timber forest resource, are presented with a high exchange value and as considerable sources of income for many families. The objective of this work is to analyze the cultural importance (CI) of the fungi in the community of San Pedro Tlalcuapan, with respect to other communities located within the PNLM. Through interviews, ethnomycological tours and free listings, useful fungi of greater importance were listed, their uses, places of growth and fruiting season; Likewise, mycological studies were evaluated in 10 communities with different cultural features, through a Multidimensional Non-Metric Climbing Analysis (NMDS), with the intention of providing elements on the importance of the biocultural richness of fungi and their conservation under their cultural diversity, spatial and biological.

## Introducción

El uso de los recursos naturales por el ser humano es una actividad que se ha realizado desde hace miles de años en todo el mundo (Gómez y Kraus, 1994), creando relaciones entre la sociedad y la naturaleza, lo cual ha permitido la sobrevivencia (Reichel, 1968; Descola, 1988; Van der Hammen, 2003; Challenger, 2003; Toledo y Barrera, 2008).

Este conocimiento tradicional generado a lo largo de varios años es parte importante de la diversidad, ya que se ha demostrado que la diversidad cultural humana está asociada con la biológica (Nietschmann, 1992; Challenger, 2003; Boege, 2008), conformando el complejo biocultural y originado históricamente como producto de los miles de años de interacción entre las culturas y sus ambientes naturales (Toledo y Barrera, 2008). Presiones sociales, económicas y ecológicas, han dado lugar a una serie de variantes del uso de los recursos naturales y esto ha ocasionado que esta herencia biocultural se encuentre amenazada o en peligro (Ochoa y González, 2000; Toledo y Barrera, 2008; González, Ramírez, Galindo, Camacho, Golicher, Cayuela y Rey, 2009).

Este hecho hace evidente la importancia de los territorios indígenas para la conservación, ya que dichos pueblos son los que manejan y protegen diversas áreas de recursos naturales (Toledo y Barrera, 2008), por lo que es de gran relevancia articular los saberes locales con el conocimiento científico. Esta vinculación permitirá tener un mejor panorama de las amenazas hacia la diversidad y promover la generación de alternativas viables en pro de la conservación y/o manejo sustentable, ya que el cuidado de las áreas naturales solo podrá ser posible si es realizado por los dueños de estos territorios.

Uno de los recursos naturales utilizados por las comunidades originarias son los hongos, los cuales desde épocas prehispánicas han formado parte relevante de la cultura de diferentes grupos indígenas. En la actualidad, se constituyen como un recurso forestal no maderable con alto valor de cambio y una fuente importante de ingresos para muchas familias del país (Zamora, Alvarado y Domínguez, 2000). Aunado a esto, dichos organismos tienen un importante papel ecológico en los ecosistemas como descomponedores, recicladores, micorrizógenos (asociación mutualista de un hongo con las raíces de una planta que facilitan un mejor crecimiento y desarrollo en ambos) y patógenos (Winterhoff, 1992; Dighton, 2003). Los bosques producen anualmente una gran variedad de hongos silvestres que son usados principalmente como alimento, medicina, combustible, cosméticos, juguetes, para

prácticas rituales y para su comercialización (Villarreal y Guzmán, 1985; Zamora y Nieto, 1995; Montoya, Hernández, Estrada, Kong y Caballero, 2003; Montoya, Kong, Estrada, Cifuentes y Caballero, 2004; Garibay, Cifuentes, Estrada y Caballero 2006; Garibay, Ruan y Estrada, 2010). El Parque Nacional La Malinche es una montaña que forma parte de los principales cuerpos volcánicos de la Cordillera Volcánica Transmexicana (Villers, Rojas y Tenorio, 2006), con bosques templados que son el hogar de una gran variedad de hongos (Acosta y Kong, 1991) con un registro de hasta 93 especies útiles que forman parte de la economía local (Montoya, Kong, Estrada, Cifuentes y Caballero, 2004). Sin embargo, el deterioro y la densidad de población en las áreas boscosas se ha incrementado rápidamente, generando un cambio en el uso de los recursos naturales.

San Pedro Tlalcuapan es una comunidad ubicada al noroeste del volcán. Por muchos años los habitantes dependieron de los recursos naturales que les brindaba la montaña, entre ellos los hongos. Hace ocho años, un grupo de habitantes reconoció que estaban viviendo un proceso de pérdida de sus recursos naturales, desapego a la cultura y un cambio en el conocimiento tradicional, prácticas que han llevado al deterioro de los ecosistemas.

Preocupados por dicha situación, miembros de la comunidad y autoridades han mostrado interés en valorar, reafirmar y apoyar la conservación de su herencia biocultural, así como promover acciones para alcanzar un desarrollo sustentable.

La situación descrita para San Pedro Tlalcuapan es común a la mayoría de las comunidades aledañas a La Malinche, por lo que se hace necesario y urgente documentar el conocimiento biocultural, complementando la información ya recabada en el parque, lo cual permitirá tener una base para la generación de estrategias de conservación y manejo a nivel local acorde con las características particulares de cada comunidad o grupo de comunidades.

En el presente artículo se describe el conocimiento tradicional micológico de San Pedro Tlalcuapan y la Importancia Cultural (IC) de los hongos, medida con indicadores como la frecuencia de mención y los usos. La IC de los hongos se compara con la información que se ha obtenido en otras 10 comunidades ubicadas en las faldas de la montaña, mediante un análisis de ordenación (NMDS).



## 1. Marco teórico

Durante varios años se han realizado diversos estudios en México que describen el conocimiento tradicional en torno a los hongos (Villarreal y Guzmán, 1985; Moreno, Garibay, Tovar y Cifuentes, 2001; Montoya, Estrada y Caballero, 2002; Montoya, Hernández, Estrada, Kong y Caballero, 2003; Bautista, Moreno, Pulido, Valadez y Ávila, 2010) y al mismo tiempo se han desarrollado métodos cuantitativos que permiten conocer los hongos de mayor importancia y las razones que la determinan (Garibay, Caballero, Estrada y Cifuentes, 2007).

La IC que tiene un organismo hace referencia al papel que éste desempeña dentro de una cultura particular (Hunn, 1982), puede estar determinada por diversos factores ecológicos y culturales (Turner, 1988) y permite hacer inferencias sobre los sistemas de nomenclatura tradicional, apropiación, uso y valoración de los recursos (Garibay, Caballero, Estrada y Cifuentes, 2007).

Diversas investigaciones etnobiológicas han desarrollado modelos estadísticos que permiten cuantificar el grado de IC de los recursos vegetales silvestres. Entre los métodos empleados destacan el consenso de informantes, la sumatoria de usos (Phillips y Gentry, 1993; Phillips, 1996), el índice de significancia cultural (ISC) propuesto por Turner (1988), quien toma en cuenta la frecuencia de aparición de una especie, su distribución, características físicas y potencial de utilidad. Otros índices surgen a partir del de Turner, tal es el caso del Índice Étnico de Importancia Cultural (EICS) propuesto por Stoffle (1990), quien agrega la categoría de calidad de usos, y finalmente el Índice de Importancia Cultural de Plantas Alimenticias (CFSI) que sugiere Pieroni (2001), el cual suma las variables de alimento multifuncional y apreciación de sabor.

Los indicadores más usados para determinar la importancia cultural que tienen los hongos han sido: la riqueza de nombres locales que se mencionan, el número de usos (Estrada, 1989), así como la frecuencia y el orden de mención (Montoya, Kong, Estrada, Cifuentes y Caballero, 2004). Éstos últimos se obtienen mediante la técnica de listado libre.

El listado libre es la técnica más útil para aislar y definir un dominio cultural (entendiendo como dominio al grupo de categorías u otus que integran un conjunto de estudio), permite estudiar o hacer inferencias acerca de la estructura cognitiva de las personas, considerando el orden y frecuencia en que se nombran los otus y el uso de modificadores. De dichos listados se puede obtener información sobre los componentes

más importantes del dominio con un esfuerzo mínimo (Weller y Romney, 1988): consiste en pedir a la persona que mencione un número fijo de objetos de cierto dominio de interés. Con dichos listados se obtienen dos parámetros: la frecuencia de mención, obtenida al sumar el número de veces que fue nombrado un hongo; y el orden de mención, que se obtiene al considerar la posición jerárquica (estatus) en la que el hongo es nombrado. Finalmente, se considera a los organismos de mayor importancia aquellos más mencionados y los que se encuentran en los primeros estatus (Dougherty, 1985; Brewer, 2002). Por otro lado, Garibay y colaboradores (2007) estimaron, mediante un índice, la importancia cultural de las especies de macromicetos, aplicando el EICS propuesto por Pieroni (2001), adaptado a la naturaleza específica de los hongos.

En La Malinche, desde 1998, se han realizado diversos estudios, algunos de los cuales han utilizado la frecuencia y el orden de mención para determinar la IC de los hongos en diferentes comunidades de distintas ascendencias (Montoya, Estrada y Caballero, 2002; Montoya, Hernández, Estrada, Kong y Caballero, 2003; Montoya, Kong, Estrada, Cifuentes y Caballero, 2004). Se ha establecido la relación entre la IC y la disponibilidad de los hongos en el bosque, mediante un estudio ecológico comparando las laderas este y oeste del PNLM, así como la relación entre la IC y los precios de venta (valor económico). Con base en los resultados obtenidos se sugiere la regionalización ecológica y cultural de las comunidades de La Malinche (Montoya, Torres, Kong, Estrada y Caballero, 2012).

## **2. Metodología**

### *2.1 Sitio de estudio*

El Parque Nacional La Malinche forma parte de los principales cuerpos volcánicos de la Cordillera Volcánica Transmexicana (Villers, Rojas y Tenorio, 2006). Se localiza entre los estados de Tlaxcala y Puebla, con una extensión de 1,326 km<sup>2</sup> (Castillo, 2006), entre los paralelos 19° 06' 30" - 19° 20' 19" latitud norte y los 97° 55' 32" - 98° 09' 55" de longitud oeste, con intervalo altitudinal que va de 2,300 msnm, hasta los 4,460 (INEGI, 2006). El PNLM fue decretado el seis de octubre de 1938 durante el gobierno de Lázaro Cárdenas (Corona, 2005).

Dentro de la poligonal del PNLM están distribuidos 12 municipios de Tlaxcala y cuatro del estado de Puebla (CONANP, 2013). Presenta tres tipos principales de clima: templado subhúmedo con lluvias en verano C(w1) (w) con una temperatura media anual de 15.3°C, semifrío y subhúmedo con lluvias en verano y clima frío (García, 1988).

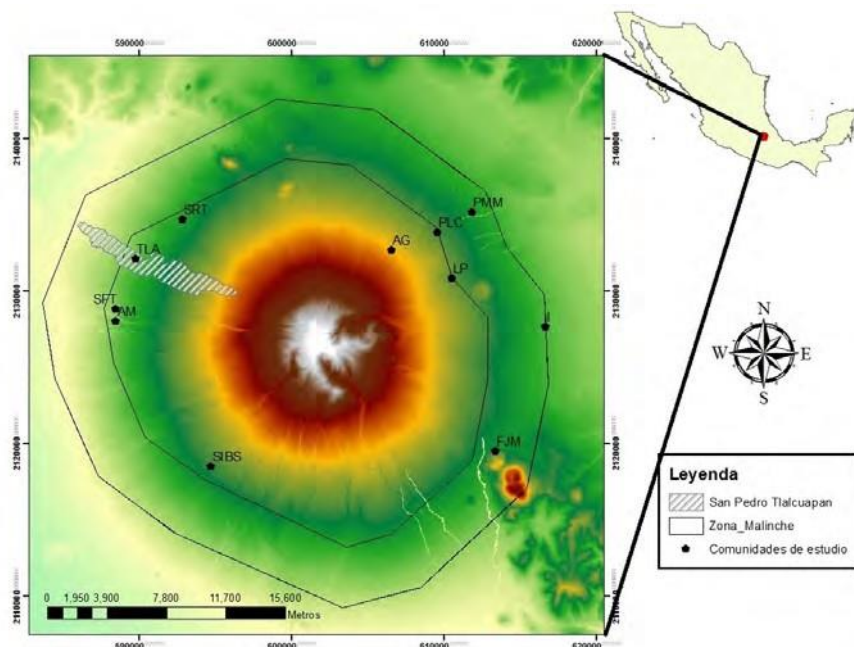
Forma parte de la cuenca hidrológica del río Atoyac-Zahuapan y aporta volúmenes considerables a las aguas subterráneas. En 1976, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) calculaba que la precipitación de La Malinche provocaba un escurrimiento anual de aproximadamente 430m<sup>3</sup>/ha.

Los tipos de vegetación presentes en la montaña son: bosque de *Quercus*, bosque de *Pinus*, bosque mixto de *Pinus-Quercus*, bosque de *Alnus*, bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies*, zacatonal de alta montaña, además de áreas destinadas a la agricultura de temporal y agricultura de riego (Villers, Rojas y Tenorio, 2006). En la mayor parte de la superficie del PNLM, el suelo es de tipo andosol vítrico, en las partes más altas se presenta el litosol y en las partes altas de algunas barrancas o cañadas se encuentra el regosol (INEGI, 1987).

Dentro del PNLM habitan comunidades indígenas, la mayoría de ascendencia nahua y una de origen otomí, quienes han resguardado una riqueza cultural entre la que se encuentra la comprensión y el cuidado de su entorno, historias y tradiciones con respecto al volcán, el aprovechamiento eficiente del agua y otros recursos, así como del resguardo de una gama de germoplasma vegetal de especies cultivadas.

El conocimiento tradicional en torno a los hongos de la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, se comparó con 10 comunidades con diferente ascendencia, ubicadas dentro del PNLM (ver Figura 1), cuatro son comunidades de ascendencia nahua, cinco son mestizos y una comunidad (Ixtenco) de ascendencia Ñuhmu (ver Cuadro 1).

**Figura 1. Ubicación de las comunidades de estudio en el PNLM, Tlaxcala, México**



Fuente: Bello, 2018.

**Cuadro 1. Comunidades del PNLM de las que se obtuvo información sobre el conocimiento y la importancia de los hongos silvestres**

Comunidad	Ascendencia	Latitud	Longitud
Los Pilares	Mestizo	19° 15' 57"	97° 56' 54"
San Isidro Buensuceso	Nahua	19° 09' 17"	98° 06' 33"
Colonia Francisco Javier Mina	Mestizo	19° 11' 25"	97° 55' 37"
Colonia Altamira de Guadalupe	Mestizo	19° 17' 04"	97° 58' 57"
San Francisco Tetlanohcan	Nahua / Mestizo	19° 15' 40"	98° 10' 19"
Pueblo de La Cruz	Mestizo	19° 18' 28"	97° 57' 39"
Pueblo de Mariano Matamoros	Mestizo	19° 18' 06"	97° 57' 18"
San Rafael Tepatlaxco	Nahua / Mestizo	19° 17' 55"	98° 07' 11"
Ixtenco	Ñuhmu	19° 15' 08"	97° 53' 48"
Acxotla del Monte	Nahua	19° 15' 09"	98° 09' 55"
San Pedro Tlalcuapan	Nahua	19° 16' 51"	98° 09' 06"

Fuente: elaboración propia, con base en Torres, 2009.

San Pedro Tlalcuapan se ubica al noroeste del Parque Nacional La Malinche (19° 16' 50.02" N, 98° 09' 06.30" W), en el municipio de Santa Ana Chiautempan, estado de Tlaxcala. Se encuentra a una altitud de 2411 msnm, en un área caracterizada por una precipitación y una temperatura media anual de 85.65 mm y 15.75°C, respectivamente. Presenta una población de 3,613 personas, la mayoría entre los 20 y 59 años de edad (45% de la población) y tan solo 10% de la población son adultos mayores. Un 13% de la población aún habla náhuatl como lengua materna.

Los Pilares está ubicado al este del PNLM, en el municipio de Huamantla, Tlaxcala. Se encuentra a una altitud de 2,678 msnm. Presenta una población de 1,280 habitantes, 0.008% son hablantes de lengua indígena. San Isidro Buensuceso está situado al sureste del PNLM, en el municipio de San Pablo del Monte, Tlaxcala. Se encuentra a una altitud de 2,619 msnm. Presenta una población de 8,769 habitantes, 71% de los habitantes son hablantes de náhuatl.

La colonia Francisco Javier Mina está situado en el municipio de Zitlaltepec de Trinidad Sánchez Santos, Tlaxcala, al este del PNLM. Se encuentra a una altitud de 2,634 msnm.

Presenta una población de 1,114 habitantes, 0.45% son hablantes de lengua indígena. La colonia Altamira Guadalupe está situado en el municipio de Huamantla, Tlaxcala. Ubicado al noreste del PNLM a 2,870 msnm. Presenta una población de 412 habitantes, de los cuales nadie habla ni una lengua indígena.

San Francisco Tetlanohcan está situado en el Municipio de San Francisco Tetlanohcan, Tlaxcala al oeste del PNLM, a 2,435 msnm. Presenta una población de 9,858 habitantes, de los cuales el 13% son hablantes de una lengua náhuatl. Pueblo de La Cruz está situado en

el municipio de Huamantla, Tlaxcala, ubicado al noreste del PNLM a 2,700 msnm. No hay hablantes de lengua indígena.

El pueblo de Mariano Matamoros está situado en el municipio de Huamantla, Tlaxcala, ubicado al noreste del PNLM, a 2,690 msnm. No hay hablantes de lengua indígena. San Rafael

Tepatlaxco está situado en el municipio de Chiautempan, Tlaxcala, al noroeste del PNLM a una altitud de 2,545 msnm. Presenta una población de 2,003 habitantes, de los cuales 2.4% son hablantes de náhuatl.

Ixtenco es un municipio de Tlaxcala, ubicado al este del PNLM, a una altitud de 2,550 msnm, presenta una población de 6,791 habitantes, de los cuales el 7% hablan alguna lengua indígena.

Acxotla del Monte se localiza en el municipio Teolocholco del estado de Tlaxcala,

al oeste del PNLN, a una altitud de 2,420 msnm. Presenta una población de 2,133 habitantes, de los cuales 16% son hablantes de náhuatl (INEGI, 2010).

### **3. Recopilación y análisis de información sobre la IC de los hongos en San Pedro Tlalcuapan**

Antes de iniciar con la presente investigación se solicitó la autorización de las autoridades de la comunidad; del mismo modo, se informó sobre el proyecto y se solicitó el consentimiento de cada persona entrevistada.

En la temporada de lluvias de 2017 se realizaron recorridos etnomicológicos con las personas de mayor conocimiento respecto a los hongos (personas que se autodenominan “hongueros”), con el objetivo de conocer el uso de los mismos, sus nombres comunes, temporada de fructificación y lugar de crecimiento. Los hongos se recolectaron, caracterizaron e identificaron mediante el uso de claves específicas dependiendo del género. Se deshidrataron y se depositaron en el herbario TLXM. Se realizaron entrevistas a un total de 135 personas, tanto a hombres como a mujeres con edades entre los ocho y 90 años.

La estructura de dicha entrevista incluyó tres aspectos: 1) los datos sociodemográficos del entrevistado, incluyendo: nombre, género, procedencia, edad y ocupación; 2) listado libre de hongos comestibles, en el que se le solicitó a cada persona que mencionara 20 hongos que conoce (entrevistas estructuradas); 3) preguntas sobre el uso y recolección de los hongos (entrevistas semiestructuradas).

Para la evaluación de la importancia cultural de los hongos silvestres útiles, se tomó como indicador de importancia la frecuencia de mención obtenida de los listados libres, para que de esta manera fuera comparable con los estudios previos realizados en el PNLN. Se realizó estadística descriptiva para conocer el uso y relevancia que tienen los hongos en la comunidad.

#### *3.1 Recopilación y análisis de información sobre la IC de los hongos en La Malinche, Tlaxcala*

Para conocer la IC de los hongos en el PNLN, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre los estudios del conocimiento tradicional desarrollados en dicha montaña, recabando información de 10 comunidades. Con la finalidad de agrupar a las comunidades con base en el

conocimiento tradicional en torno a los hongos, se integró una base de datos con información sobre: 1) las especies utilizadas, 2) las de mayor importancia, utilizando el indicador de frecuencia de mención y 3) los usos que se les da en cada comunidad. Estos datos fueron procesados mediante un Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS), en el programa R (R Core Team, 2016).

#### 4. Resultados

##### 4.1 Importancia cultural de los hongos en San Pedro Tlalcuapan

###### *Frecuencia de mención*

La mayoría de personas entrevistadas (80%) conocen más de dos hongos útiles, con un promedio de ocho. En total se registraron 70 nombres tradicionales de los cuales 39 están en español y 30 en náhuatl. Dichos nombres corresponden con 46 etnotaxa y 50 especies (ver Cuadro 2), los hongos con mayor mención son el tecax (*Russula complex. delicata*), el amarillo (*Amanita basii*) y el pante (*Boletus aff. edulis*) (ver Figura 2).

**Cuadro 2. Especies de hongos y nombres tradicionales obtenidos en la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, Chiautempan, Tlaxcala**

No	Nombre científico	Nombre en español	Nombre en náhuatl
1	<i>Agaricus bisporus</i> J.E. Lange	Champiñón	
2	<i>Agaricus campestris</i> L.	Llanero, hongo de pasto	Ayutzi
3	<i>Agaricus</i> sp.	Llanero de monte	
4	<i>Amanita aff. rubescens</i> Pers	Mantequilla	
5	<i>Amanita amerifulva</i> Tulloss	Venadito, casco de soldado	
6	<i>Amanita basii</i> Guzmán & Ram.- Guill	Amarillo, flor	Ayoxochitl
7	<i>Amanita elongata</i> Peck	Yema	
8	<i>Amanita</i> sp.		Cuehcuex
9	<i>Armillaria aff. mellea</i>		Xopitzal
10	<i>Auricularia auricula-judae</i> Bull.	Oreja ratón tronco	Quimixnacas
11	<i>Boletus aff. edulis</i> Bull.		Pante
12	<i>Calvatia cyathiformis</i> Fr.		Tzefamil



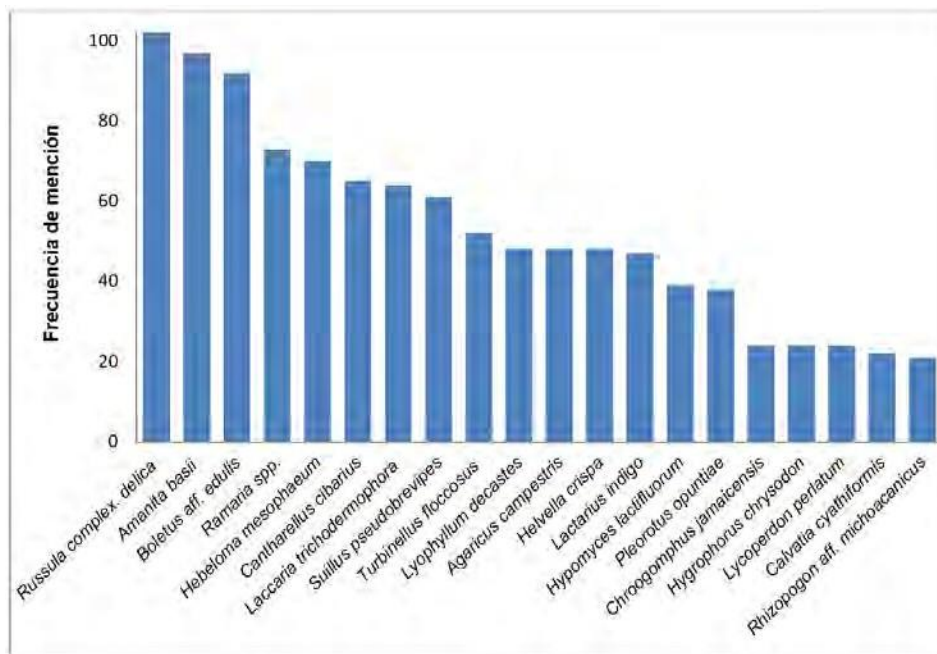
13	<i>Cantharellus aff. cibarius</i> Fr.		Tecosa
14	<i>Chroogomphus jamaicensis</i> (Murrill) O.K. Mill.	Borracho	Tlapaltecosa
15	<i>Clavaria</i> sp.	Escobetilla blanca	Xelwas
16	<i>Clavariadelphus truncatus</i> Donk.	Acocote	
17	<i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill	Xolete pata amarilla	Xoletl
18	<i>Hebeloma aff. mesophaeum</i> (Pers.) Quéf.	Xolete de chambusquina	Xoletl
19	<i>Helvella crispa</i> Bull.	Oreja de ratón, soldadito	Xocuepich
20	<i>Hygrophorus chrysodon</i> (Batsch) Fr.	Señorita, palomita	Totoltenanacatl
21	<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul.	Chilnanzi naranja	Chilnanzi, chilnanacatl
22	<i>Hypomyces macrosporus</i> Seaver	Chilnanzi café	Xhilnanzi, chilnanacatl
23	<i>Infundibulicybe gibba</i> Pers.	Cueros, sombrillitas	Nacas cuero
24	<i>Infundibulicybe</i> sp.		Totomoxnanacatl
25	<i>Laccaria</i> sp.		Xoxocoyuli cihuatl
26	<i>Laccaria trichodermophora</i> G.M. Muell.		Xoxocoyuli
27	<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray	Enchiladito	Tlapaltecax, ocotecax
28	<i>Lactarius indigo</i> (Schwein.) Fr.	Tecax azul	Tlapaltecax
29	<i>Lactarius salmonicolor</i> R. Heim & Leclair	Enchilado de oyamel	Ayometecax
30	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	Huevito blanco, tzefamil chico	Popote
31	<i>Lyophyllum aff. decastes</i> (Fr.) Singer.		Tzenzo
32	<i>Lyophyllum</i> sp.		Oco-tzenzo
33	<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer		Tulnanacatl
34	<i>Morchella snyderi</i> M. Kuo & Methven	Chipotle	



35	<i>Pholiota lenta</i> (Pers.) Singer	Xolete de ocote	Ocoxoletl
36	<i>Pleorotus opuntiae</i> (Durieu & Léville) Sacc.	Hongo de maguey	Mesonanatl
37	<i>Ramaria</i> aff. <i>rasilispora</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla	Xelhuas
38	<i>Ramaria</i> aff. <i>suecica</i> (Fr.) Donk	Escobeta café, escobilla de ocote	Xelhuas
39	<i>Ramaria</i> cf. <i>cystidiophora</i> (Kauffman) Corner,	Escobeta café	Xelhuas
40	<i>Ramaria rubricarnata</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla	Xelhuas
41	<i>Ramaria rubripermanens</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta rosa	Xelhuas
42	<i>Reticularia lycoperdon</i> Bull. (Myxomycete)	Caca de luna	Cuahtechol
43	<i>Rhizopogon</i> aff. <i>michoacanicus</i> Trappe & Guzmán	Huevito	Xitetl
44	<i>Russula brevipes</i> Peck	Tecajete	Tecax
45	<i>Russula delica</i> complex	Tecajete	Tecax
46	<i>Russula xerampelina</i> (Schaeff.) Fr.	Pastelito	
47	<i>Suillus pseudobrevipes</i> A.H. Sm. & Thiers	Pancita	Poposo
48	<i>Tricholoma flavovirens</i> (Pers.) S. Lundell	Railita, kailita	
49	<i>Turbinellus floccosus</i> (Schwein.) Singer	Corneta	Tlapitzal
50	<i>Ustilago maydis</i> (DC.) Corda		Cuitlacoche

Fuente: elaboración propia, con base en el trabajo de campo.

**Gráfica 1. Frecuencia de mención de los 20 hongos silvestres más mencionados en San Pedro Tlalcuapan, Tlaxcala**



Fuente: elaboración propia, con base en el trabajo de campo.

**Figura 2. Hongos más importantes con base en la frecuencia de mención**



Nota: de izquierda a derecha: tecax, ayoxochitl, pante, tecosa, xelhuas, xoletl, xoxocoyuli, poposo.

Fuente: elaboración propia, con base en el trabajo de campo.

### *La actividad de recolección*

El 75% de los entrevistados recolectan los hongos para autoconsumo y 3% para venta y autoconsumo; por otro lado, 17% de los entrevistados obtienen los hongos mediante la compra y el 8% no los consumen. Durante la temporada de lluvias, el consumo promedio es de dos veces por semana; además, el 93% de los entrevistados suben a la montaña para recolectar hongos al menos una vez por semana, siendo una actividad complementaria a otras que se realizan en el monte como trabajar los terrenos, ir por leña, recolección de plantas medicinales silvestres o frutas, ir a caminar e incluso ir de día de campo.

La recolección es una actividad familiar que involucra al menos dos generaciones (ver Figura 3). Las familias salen de su casa por la mañana (alrededor de las 7:00 am), especialmente los domingos. En el proceso participan niños, jóvenes, adultos y ancianos, y se observó en más de una ocasión que la persona de mayor edad que integra el grupo de recolección es el/la que sabe más y el que enseña a los más jóvenes; por lo tanto, la transmisión del conocimiento en torno a los hongos se realiza principalmente de manera vertical y es considerada por las personas de la comunidad como una enseñanza ancestral.

**Figura 3. a) Familia Ramírez-López, recolectores de hongos de San Pedro Tlalcuapan. b) Familia de recolectores de hongos de San Pedro Tlalcuapan, pertenecientes a tres generaciones (abuelo, hijo y nieto)**



Fuente: elaboración propia.

#### *4.2 Importancia cultural de los hongos en La Malinche, Tlaxcala*

Se encontraron un total de seis trabajos realizados en el PNLM (1998 al 2018), cinco de ellos fueron artículos (Montoya, Estrada y Caballero, 2002; Hernández, Estrada, Kong y Caballero, 2003; Montoya, Kong, Estrada, Cifuentes y Caballero, 2004; Montoya, Torres, Kong, Estrada y Caballero, 2012; Pacheco, Rosetti, Montoya y Hudson, 2015) y una tesis de licenciatura (Torres, 2009). En todos ellos se incluye el registro del conocimiento etnomicológico de comunidades aledañas a la montaña. En el presente artículo se retoma información específica de 10 comunidades y se integró la obtenida en San Pedro Tlalcuapan en 2017, dando un total de 11 (ver Cuadro 1).

#### *Hongos útiles y frecuencia de mención*

Se realizó un listado único de las especies útiles reportadas para cada comunidad, incluyendo las de San Pedro Tlalcuapan, constituyendo de esta manera un total de 63 hongos con algún uso. Para que los datos fueran comparables, con la frecuencia de mención en cada comunidad, se obtuvo el porcentaje de personas que mencionaron cada especie, las especies con mayor frecuencia de mención fueron *Amanita basii*, *Turbinellus floccosus*, *Bolletus* aff. *edulis*, *Lyophyllum decastes* y *Russula* complex. *delica* (ver Cuadro 3).

**Cuadro 3. Hongos con mayor frecuencia de mención en las 11 comunidades de estudio**

Comunidad	<i>Amanita basii</i> (%)	<i>Boletus aff. edulis</i> (%)	<i>Turbinellus floccosus</i> (%)	<i>Lyophyllum aff. decastes</i> (%)	<i>Russula complex. delicata</i> (%)
AG	100	100	50	95	60
PMM	100	100	55	95	50
FJM	100	95	55	40	40
LC	95	90	65	95	15
SRT	90	45	50	65	75
SIBS	85	100	100	85	45
LP	85	95	35	95	60
AM	85	80	85	95	70
SFT	80	55	100	90	65
IX	80	30	10	85	10
SPT	72	69	39	36	76

Fuente: elaboración propia, con base en Torres, 2009.

Donde:

AG= Colonia Altamaria de Guadalupe. PMM=

Pueblo de Mariano Matamoros. FJM=Colonia

Francisco Javier Mina.

LC=Pueblo de La Cruz. SRT= San

Rafael Tepatlaxco.

SIBS= San Isidro Buensuceso. LP= Los

Pilares.

AM= Axotla del Monte.

SFT= San Francisco Tetlanocan.

IX=Ixtenco.

SPT= San Pedro Tlalcuapan.

#### *Uso y recolección de los hongos*

La mayoría de las personas de las comunidades va por los hongos al monte y hace recorridos de entre tres y 10 kilómetros, con una inversión de hasta ocho horas al día en la recolección.

Durante esta actividad participan hombres y mujeres; preferentemente los hombres van a los lugares de difícil acceso, donde hay una pendiente pronunciada, en cañadas o a sitios más lejanos; la mujer es la que los separa, los guisa y en ocasiones los vende (Pacheco, Rosetti, Montoya y Hudson, 2015).

En Ixtenco pocas personas los recolectan, los obtienen mediante la compra y los consumen poco; sin embargo, fue en esta comunidad en donde se encontró la mayor cantidad de usos de los hongos silvestres (ver Cuadro 4).

El principal uso de los hongos es como alimento, los platillos más mencionados en las comunidades son el caldo o sopa de hongos, y fritos o asados; sin embargo, hay otros guisos más elaborados en los que se incluyen a los hongos, tales como el mole, pipián y texmole (ver Cuadro 5).

**Cuadro 4. Usos que se le dan a los hongos en cada comunidad de estudio**

Comunidad	Usos							
	AL	CO	IN	ME	COM	COS	OR	FO
LP	X	X	X	X	X	-	-	-
SIBS	X	X	X	X	-	-	-	-
FJM	X	X	-	X	-	-	-	-
AG	X	X	-	-	-	-	-	-
SFT	X	X	-	-	-	-	-	-
PLC	X	X	-	-	-	-	-	-
PMM	X	X	-	-	-	-	-	-
SRT	X	X	-	-	-	-	-	-
I	X	X	X	X	X	X	X	X
AM	X	X	-	-	-	-	-	-
SPT	X	X	-	X	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia, con base en el trabajo de campo.

Donde:

AG =Altamira de Guadalupe. AM =

Acxotla del Monte.

FJM = Francisco Javier Mina. I =

Ixtenco.

LP = Los Pilares.

PLC = La Cruz.



PMM = Mariano Matamoros. SFT = San Francisco Tetlanohcan. SIBS = San Isidro Buensuceso.  
 SRT = San Rafael Tepatlaxco. AL = Alimento.  
 CO = Comercio. IN = Insecticida. ME = Medicina.  
 COM = Combustible. OR = Ornamental.  
 FO = Forrajeo.

**Cuadro 5. Formas de preparación de los hongos mencionados en los diferentes estudios que se han realizado en el PNLM, Tlaxcala**

Guiso	Hongos
Caldo o sopa, con pollo, epazote o hierba buena y sal	<i>A. bassi</i> , <i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i> , <i>Lyophyllum</i> spp. <i>Agaricus</i> spp, <i>Hygrophorus chrysodon</i> , <i>Infundibulicybe gibba</i> .
Asados y al horno	<i>Lactarius indigo</i> , <i>Chroogomphus jamaicensis</i> , <i>Cantharellus</i> aff. <i>cibarius</i> , <i>Pleurotus opuntiae</i>
Frito con manteca y sal	<i>Boletus</i> aff. <i>edullis</i> , <i>Rhizopogon michoacanicus</i>
Mezclada con huevo	<i>Ramaria</i> spp.
Frito con chile, epazote y sal	<i>A. bassi</i> , <i>A. rubescens</i> , <i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i> , <i>Agaricus campestris</i>
Rellenos con puré de papa, queso, carne molida y capeado	<i>Mochella</i> spp.
Molido en metate con epazote y chile, preparado en quesadillas	<i>Pleurotus opuntiae</i> , <i>Lactarius salmonicolor</i> , <i>Russula</i> spp., <i>Hypomyces</i> spp.
Con frijoles	<i>A. campestris</i> , <i>Cantarellus</i> aff. <i>cibarius</i> y <i>Laccaria trichodermophora</i>
Mole o pipián	<i>Turbinellus floccosus</i>
Tamales con masa	<i>Lyophyllum</i> spp. <i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i>
En hoja de tamal con venas de chile y cebolla	<i>Suillus pseudobrevipes</i> , <i>Boletus</i> spp.
Texmole	<i>Hebeloma</i> aff. <i>Mesophaeum</i> , <i>Suillus pseudobrevipes</i>

Fuente: elaboración propia, con base en el trabajo de campo.

Otra actividad común es la comercialización: la mayoría de las personas realiza la venta de los hongos en sus comunidades, pero hay otro grupo de hongueros que también los vende en algunos mercados municipales o estatales, tales como el Mercado de Santa Ana Chiautempan, el de Tlaxcala, el mercado de Apizaco o en San Pablo del Monte; incluso hay personas que los venden en Puebla o en la Ciudad de México. En este último caso, se ha registrado la venta internacional por pobladores de Javier Mina.

El hongo útil como insecticida es *Amanita muscaria*, sirve para matar las moscas en una preparación con azúcar. Los que se registraron como hongos medicinales fueron *Ustilago maydis* y *Lycoperdon perlatum*, de los cuales se usan las esporas para quemaduras o heridas.

El primero de éstos también es utilizado como cosmético para refrescar o darle suavidad a la piel, las esporas de este hongo son mezcladas con limón y esta masa se coloca en la piel como una mascarilla. Algunos hongos como *Fomitopsis pinicola* y *Polyporus tsugae* son usados como combustible y como adorno en la temporada navideña, ambos usos solo se han reportado en la comunidad de Ixtenco (ver Cuadro 4). Estas dos especies también se utilizan como yesca (para iniciar fuego) por los ñuhmu, de Ixtenco.

#### *Conocimiento y usos de los hongos en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala*

Los resultados obtenidos al comparar los usos de los hongos y la frecuencia de mención, en 11 comunidades ubicadas en los alrededores del PNLN, mediante un análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) (ver Figura 4). Este análisis de ordenación dio un valor de *stress* de 0.098, lo que significa que la ordenación refleja de manera muy confiable la realidad.

El espacio en la gráfica se dividió en cuatro cuadrantes por líneas punteadas, donde se puede observar la distribución de los hongos en este espacio. Los que se ubican en la parte central (donde cruzan las líneas, todos con valores de 0) son los hongos más importantes para todas las comunidades, por ejemplo: *Boletus* aff. *edulis*, *Amanita basii*, *Lyophyllum* aff. *decastes*, *Laccaria trichodermophora* y *Russula* complex. *delica*. Éstos son hongos que fueron mencionados con el más alto valor de frecuencia por los habitantes de las comunidades estudiadas. El resto de las especies de hongos se distribuyen con base en la mayor o menor frecuencia que tuvieron en el grupo de comunidades a las que se encuentran más cerca. Sobre los usos, se puede notar que, los más mencionados y por ello más importantes (con valores de cero), también se ubicaron hacia el centro de la gráfica; en este caso, el



uso alimentario y la actividad de venta de hongos. El siguiente en importancia fue el uso medicinal, seguido de insecticida y combustible. Los menos importantes, dado que fueron menos mencionados, son el uso forrajero, cosmético y ornamental, que por ello se ubican muy alejados del centro de la gráfica, ya que fueron mencionados solo en Ixtenco.

La agrupación de las comunidades está en función tanto de los hongos que mencionaron en las comunidades, como de los usos que señalaron. De este modo, se observa que las comunidades mestizas se ubican en la parte inferior de la gráfica (cuadrantes 3 y 4). En el C3, con mayor semejanza entre ellas, se agrupan: Mariano Matamoros, La Cruz y Altamira de Guadalupe; lo que era de esperarse, ya que geográficamente se ubican muy cerca entre sí. En el mismo espacio, puede observarse el nombre de las especies de hongos que contribuyeron para su agrupación.

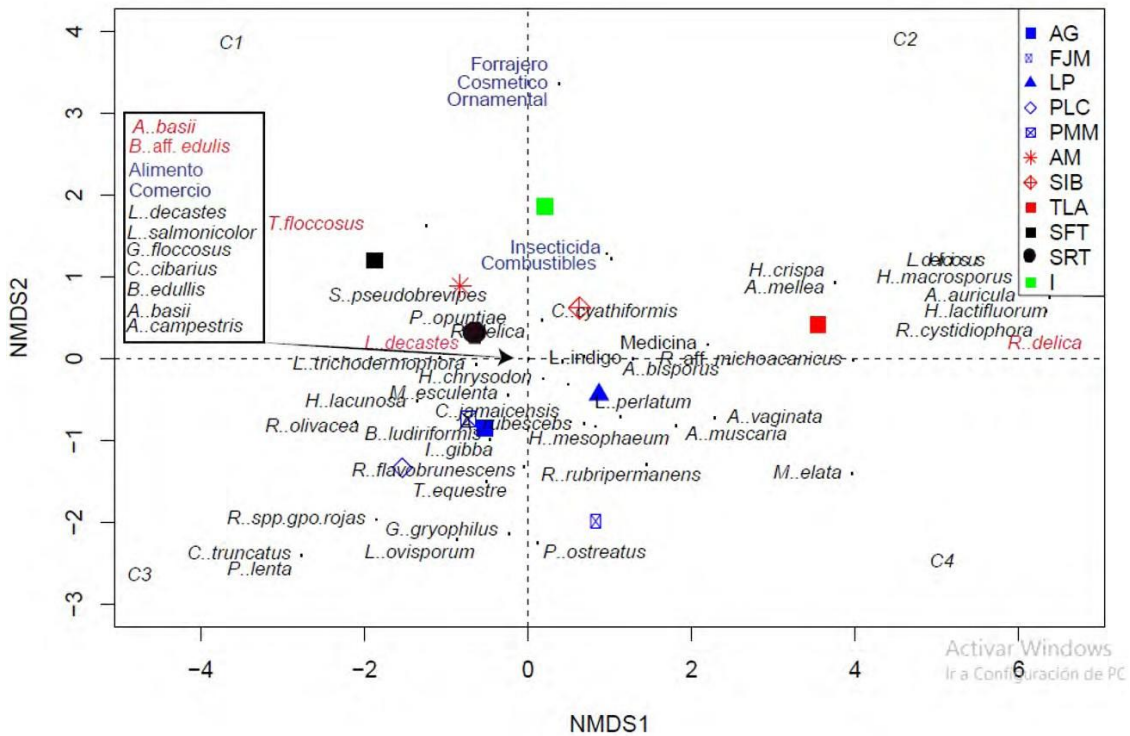
Resaltan *Russula olivacea*, *Pholiota lenta*, *Clavariadelphus truncatus*, *Tricholoma equestre* y *Gymnopus dryophilus*, porque son hongos que preferentemente se usan por las personas de ahí y no en las otras comunidades. Las otras especies de hongos ubicados en este espacio son también mencionadas en las otras comunidades con mayor o igual porcentaje. En el C4 se ubican Javier Mina y Los Pilares, alejadas una de otra tanto en la gráfica como en la realidad geográfica. Los hongos que, con similar frecuencia de mención, contribuyeron a la similitud entre estas comunidades, son: *Hebeloma aff. mesophaeum*, *Ramaria rubripermanens*, *Amanita muscaria*, *Lycoperdon perlatum* y *Morchella aff. elata*.

Cabe Resaltar que *Lyophyllum ovisporum* solo fue mencionado en Francisco Javier Mina, seguramente por ello se ubica en la parte inferior de la gráfica.

En la mitad superior de la gráfica se ubican las comunidades en las que aún se habla náhuatl en mayor o menor grado, e Ixtenco, que es también un grupo originario (Ñuhmu). Los hongos más importantes (con base en el indicador empleado) fueron: *Turbinellus floccosus*, *Suillus pseudobrevipes*, *Pleurotus opuntiae*, *Russula complex. delica*, *Calvatia cyathiformis*, *Helvella crispa* y *Armillaria aff. mellea*. Las comunidades más parecidas entre sí fueron San Rafael Tepatlaxco, San Francisco Tetlanohcan y Acxotla del Monte, todas cercanas geográficamente entre sí. Integrando otro grupo, pero con ciertas diferencias entre ellos, se ubican: Ixtenco, San Isidro Buensuceso y San Pedro Tlalcuapan. Ixtenco en este caso es distinto, ya que fue en donde más usos de los hongos se mencionaron. San Isidro Buensuceso se ubica a la mitad entre las otras comunidades, cabe resaltar que el hongo de mayor importancia en esta comunidad es *T. floccosus (tlapitzal)*. La comunidad más separada en el gráfico fue San Pedro Tlalcuapan, en la que se mencionaron hongos particulares como:

*Lactarius deliciosus*, *Hypomyces macrosporus*, *Auricularia auricula*, *Hypomyces lactifluorum* y *Ramaria cystidiophora*, aunque el hongo más importante en esta comunidad es *Russula* complex. *delica*, también mencionado en las otras comunidades.

**Figura 4. Ordenación de las 11 comunidades de acuerdo con los hongos mencionados por cada población, los usos (Nombres en azul) y los hongos de mayor frecuencia de mención (nombres en rojo)**



Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo y una comparación con la información bibliográfica de Montoya *et al.*, 2002; Montoya *et al.*, 2003; Torres, 2009; Montoya *et al.*, 2012.

Donde:

C1 = Cuadrante 1. C2 =  
 Cuadrante 2. C3 =  
 Cuadrante 3. C4 =  
 Cuadrante 4.

## 5. Discusión

A pesar del deterioro ambiental y la presión ejercida por diversos factores tanto económicos como sociales, aún persiste una cercanía hacia el uso tradicional de los recursos por parte de los pobladores de La Malinche. En particular, en San Pedro Tlalcuapan el conocimiento con respecto a los hongos es amplio, prueba de ello es la cantidad de hongos útiles reportados y nombres tradicionales que son enunciados por personas de la comunidad, tal como lo mencionó Estrada (1989).

En los estudios realizados anteriormente en La Malinche, los hongos de mayor mención han sido *A. basii* y *Boletus aff. Edulis*, lo que coincide con lo encontrado ahora en Tlalcuapan; sin embargo, tomando en cuenta el indicador de frecuencia de mención que se usó en este artículo, se observa que el hongo de mayor importancia es *Russula complex. delica*. Este hongo fue del que se recolectó en mayor cantidad en los recorridos hechos con los hongueros; además, se encontró en la mayoría de los meses de la temporada de hongos, lo que podría explicar la importancia que tiene en la comunidad (Montoya *et al.*, 2003). Los recursos más abundantes en algunas ocasiones son los más apreciados. Otra evidencia de su importancia es el hecho de que las personas han desarrollado recetas para su preparación y consumo, dado que es una especie cuya consistencia es dura, lo muelen en el metate, y lo preparan con epazote y chile para hacer quesadillas, o lo fríen bastante y hacen guisos particulares, lo que hace resaltar el sabor único y particular de este hongo. Se requieren más estudios de tipo histórico para indagar la manera en que se desarrolló el gusto por el hongo tecax (*Russula complex. delica*) en esta comunidad.

En San Pedro Tlalcuapan, la recolección de hongos en general es para autoconsumo y solo una mínima parte de los recolectores los venden. Esto es un indicador de que los hongos no son importantes únicamente por cuestiones económicas, sino porque se considera un alimento de alto valor nutricional, además de ser la recolección y preparación actividades relacionadas con un conocimiento ancestral que aún se transmite de generación en generación de manera oral y práctica.

Los datos obtenidos muestran que el principal uso de los hongos en La Malinche es como alimento. Otra actividad fundamental que se realiza con los hongos es la comercialización, pues hasta antes de 2013 se consideraba como poco importante el uso medicinal; sin embargo, recientemente se ha demostrado la necesidad de hacer estudios

particulares, cuidadosos y detallados, para obtener información que se encuentra en especialistas locales, como es el caso específico de los médicos tradicionales quienes resguardan información valiosa sobre las propiedades de los hongos (Bautista, 2013). De este modo, seguramente se incrementará el conocimiento occidental, sobre otros aspectos de este grupo de organismos. La riqueza de hongos útiles, la variedad de guisos y la temporalidad permite a los habitantes de las comunidades del parque disfrutar de una gama de sabores, propiedades nutrimentales y medicinales durante más de medio año.

El análisis de ordenación aplicado (NMDS) permitió reconocer las semejanzas y disimilitudes entre las comunidades que se encuentran dentro del PNLM, basadas en el conocimiento y uso de los hongos que se presentan en la zona. Fue una herramienta útil para corroborar la regionalización de La Malinche en dos grupos: por un lado, se encuentran las comunidades con presencia indígena; y por otro lado las comunidades mestizas. El resultado es semejante a lo obtenido por Montoya *et al.* (2012), en un estudio similar, pero que fue realizado con diferentes variables y métodos ecológicos.

Además, en este caso se integró a San Pedro Tlalcuapan en el análisis y los resultados son consistentes con la misma tendencia. Se destaca el hecho del mayor conocimiento en las comunidades que conservan parte de la identidad cultural. Los diferentes grupos encontrados en el análisis, además de corresponder con la ascendencia de las comunidades, éstos coinciden en su ubicación geográfica, ya que la mayoría de poblaciones con ascendencia indígena se encuentran ubicadas hacia el lado este de la montaña, a excepción de Ixtenco, que está en el lado oeste al igual que el resto de las comunidades. La cercanía entre ellas explica sus similitudes posiblemente debido al flujo de información entre sus habitantes.

Se observa que San Pedro Tlalcuapan es una comunidad particular, a pesar de encontrarse geográficamente entre San Francisco Tetlanocan y San Rafael Tepatlaxco; en el análisis no se agrupó con dichas comunidades como era de esperarse, debido a que hay especies de hongos mencionadas aquí que no fueron mencionadas en ninguna otra comunidad. Cabe resaltar igualmente que es en la única comunidad en la que el hongo de mayor importancia es *Russula complex. delica*.

Los estudios realizados revelan la importancia cultural de los hongos en La Malinche; se confirma que los hongos de mayor importancia son los mismos a nivel regional, incluso coinciden con los hongos más importantes en otras regiones de Tlaxcala (Alonso, Montoya, Kong, Estrada y Garibay, 2014), pero estudios a nivel de comunidad muestran que hay

diferencias en la preferencia por especies particulares. Esto puede estar relacionado con la heterogeneidad en el conocimiento y uso de las especies, la manera particular de prepararlas y aspectos históricos o culturales que no se han analizado en estos estudios.

Este trabajo es un aporte metodológico que ha permitido reconocer las diferencias en el conocimiento de los hongos en La Malinche y contribuye con la generación de estrategias de conservación y manejo de los recursos en diferentes áreas del PNLM.

## **Conclusiones**

San Pedro Tlalcuapan es una comunidad que muestra particularidades y también comparte aspectos del conocimiento tradicional micológico con otras comunidades, al ubicarse en el territorio del Parque Nacional La Malinche. Las especies de hongos más importantes son *Russula complex. dellica*, *Amanita basii* y *Boletus aff. edulis*.

El conocimiento sobre los hongos en La Malinche es diferencial y persiste alrededor de las comunidades ubicadas en las faldas de la montaña, cuyas características culturales son distintas.

Para conservar la riqueza biocultural en torno a los hongos, es necesario considerar la diversidad cultural, espacial, ecológica y biológica, así como incrementar la investigación de aspectos históricos y ecológicos, que permitan entender el origen de la variación en la importancia cultural y el efecto de las prácticas de manejo tradicional en la diversidad de hongos. Al mismo tiempo, se requiere trabajar en conjunto con las comunidades en la recopilación, revaloración y difusión del conocimiento tradicional. La finalidad de estos estudios es preservar el patrimonio biocultural que aún permanece vivo, pero gravemente amenazado.

## **Agradecimientos**

Gracias a los hongueros, autoridades y a todas las personas de la comunidad de San Pedro Tlalcuapan que participaron en esta investigación, abriendo las puertas de su comunidad y compartiendo con los autores tan valioso conocimiento en los recorridos al bosque y entrevistas. De igual manera, agradecemos al Dr. Alexander Correa Metrio, del Instituto de Geología, UNAM, su ayuda y enseñanza en el análisis de datos categóricos. De igual manera se le agradece a CONACyT y al programa UNAM-PAPIIT (IN301118).

## Referencias bibliográficas

- Acosta R., K. (1991). Guía de las excursiones botánicas y micológicas al Cerro El Peñón y Cañada Grande del estado de Tlaxcala IV Congreso Nacional de Micología. *Folleto de divulgación*, 8, Gobierno del estado de Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- Alonso Aguilar, L. E., Montoya, A., Kong, A., Estrada Torres, A. y Garibay Orijel, R. (2014). The cultural significance of wild mushrooms in San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 10 (27), 1-14.
- Bautista González, J. A. (2013). Conocimiento tradicional de los hongos medicinales en seis localidades diferentes del país. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Bautista Nava, E., Moreno Fuentes, A., Pulido M., K. T., Valadez Azúa, R. y Ávila, R. (2010). Bases bioculturales para el aprovechamiento y conservación de los hongos silvestres comestibles en el municipio de Tenango de Doria, Hidalgo, México. En Moreno Fuentes, A., Valadez Azúa, R., Pulido, M. T., Mariaca, R., Mejía, P. y Gutiérrez, T. (Eds.). *Etnobiología y sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural*. Pachuca, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Asociación Etnobiológica Mexicana/Sociedad Latinoamericana de Etnobiología.
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Brewer, D. (2002). Supplementary interviewing techniques to maximize output in free listing tasks. *Field Methods*, 14, 108-118.
- Castillo, M. E. (2006). Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénicas. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Challenger, A. (2003). Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En Sánchez, O., Vega, E., Peters, E. y



- Monroy Vilchis, O. (Eds.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. (pp. 316). México: INE.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Corona Varga, M. C. (2005). Conservación del Parque Nacional La Malinche. En Fernández y López (Comp.). *Biodiversidad del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala*. (pp. 324). México.
- Descola, P. (1988). *La selva culta, simbolismo y praxis achuar*. Quito, Ecuador: Abya Yala, Quito.
- Dighton, J. (2003). *Fungi in ecosystem processes*. Florida, USA: CRC, Boca Raton.
- Dougherty J., W. D. (1985). *Direction in Cognositive Antropology*. Chicago, USA: University of Illinois Press/Urban and Chicago.
- Estrada Torres, A. (1989). La etnomicología: Avances, problemas y perspectivas. Examen predoctoral Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N., México.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema climático de Koppen*. México: SIGSA.
- Garibay Orijel, R. J., Caballero, A., Estrada Torres y Cifuentes, J. (2007). Understanding cultural significance, the edible mushrooms case. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3 (4), 1-18.
- Garibay Orijel, R, Ruan Soto, F. y Estrada Martínez, A. (2010). El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales. En Martínez Carrera, D. (Ed.). *Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI*. (pp. 243-270). México: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales.
- Garibay Orijel, R., Cifuentes, J., Estrada Torres, A. y Caballero, J. (2006). People using macro- fungal diversity in Oaxaca, Mexico. *Fungal diversity*, 21, 41-67.
- Gómez Pompa, A. y Kraus, A. (1992). Taming the wilderness myth. *Bioscience*, 42, 71-79.
- González Espinosa, M., Ramírez Marcial, N., Galindo Jaimes, L., Camacho Cruz, A., Golicher, D., Cayuela, L. y Rey Benayas, J. M. (2009). Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política Pública*, 1 (1), 40-53.

- Hunn, E. (1982). The utilitarian factor in folk biological classification. *American Anthropologist*, 84, 830-847.
- INEGI (1987). *Anexo cartográfico del estado de Tlaxcala*. México.
- INEGI (2006). *Anuario estadístico de Tlaxcala Tomo I*. México.
- Montoya, A., Kong, A., Garibay Orijel, R., Méndez Espinoza, C., Tulloss, R. E. y Estrada Torres, A. (2014). Availability of wild edible fungi in La Malinche National Park, México. *Journal Mycolgy*, 2014, 1-15.
- Montoya, A., Torres García, E. A., Kong, A., Estrada Torres, A. y Caballero, J. (2012). Gender differences and regionalization of the cultural significance of wild mushrooms around La Malinche Volcano, Tlaxcala. *Mycologia*, 104 (4), 826-834.
- Montoya, A., Kong, A., Estrada Torres, A., Cifuentes, J. y Caballero, J. (2004). Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity*, 17, 115-143.
- Montoya, A., Hernández Totomoch, O., Estrada Torres, A., Kong, A. y Caballero, J. (2003). Traditional knowledge about mushrooms in a Nahua community in the state of Tlaxcala, México. *Mycologia*, 95 (5), 793-806.
- Montoya, A., Estrada Torres, A. y Caballero, J. (2002). Comparative Ethnomycological survey of three localities from La Malinche Volcano, Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 22, 103-131.
- Moreno Fuentes, A., Garibay Orijel, R., Tovar Velasco, J. A. y Cifuentes, J. (2001). Situación actual de la etnomicología y el mundo. *Etnobiología*, 1, 75-84.
- Nietschmann, B. Q. (1992). *The interdependence of biological and cultural diversity*. USA: Center of World Indigenous Studies, Olympia.
- Ochoa Gaona, S. y González Espinosa, M. (2000). Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography*, 20, 17-42.
- Pacheco Cobos, L., Rosetti, M. F., Montoya, A. y Hudson, R. (2015). Towards a traditional ecological knowledge-based monitoring scheme: a proposal for the case of edible mushrooms. *Biodiversity and Conservation*, 24, (5), 1,253-1,269.
- R Core Team (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. USA: R Foundation for Statistical Computing.
- Reichel Dolmatoff, G. (1968). *Desana: simbolismo de los indios Tukano del Vaúpes*. Colombia: Universidad de los Andes, Departamento de antropología/Editorial Revista Colombiana.



- Toledo, V. M. y Barrera Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural, La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona, España: Icaria editorial.
- Torres, E. A. (2015). Estudio ecológico y frecuencia de mención de los hongos silvestres en el Parque Nacional La Malinche. Tesis para obtener el título de Bióloga. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Van der hammen, C. (2003). *The indigenous Resguardos of Colombia*. USA: International Union for Conservation of Nature, Amsterdam.
- Villarreal, L. y Guzmán, G. (1985). Producción de los hongos comestibles silvestres en los bosques de México. *Revista Mexicana Micología*, 1, 51-90.
- Villers, R. L., Rojas, G. F. y Tenorio, L. P. (2006). *Guía botánica del parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Weller, S. C. y Romney, A. K. (1988). *Systematic data collection. Qualitative research methods*. USA: SAGE publications.
- Winterhoff, W. (1992). *Fungi in Vegetation Science Kluwer*. Union Europea: Academic Publishers, Dordrecht.
- Zamora, M., Alvarado, G. y Domínguez, J. M. (2000). *Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala Parte 1*. México: INIFAP.
- Zamora Martinez, M. y Nieto de Pascual, P. (1995). Natural production of wild edible mushrooms in the southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology Management*, 72, 13-20.

## **Capítulo 2**

# **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y POR EDADES DEL CONOCIMIENTO ETNOMICOLÓGICO EN UNA COMUNIDAD EN LA MALINCHE, TLAXCALA, MÉXICO**

## ARTÍCULO DE REQUISITO

### VARIATION OF ETHNOMYCOLOGICAL KNOWLEDGE IN A COMMUNITY FROM CENTRAL MEXICO

**Bello-Cervantes, E., Correa-Metrio, A., Montoya, A., Trejo, I., & Blanco, J. C. (2019). Variation of ethnomycological knowledge in a community from Central Mexico. *Journal of Fungal Diversity*, 1(1), 6.**

### Variation of Ethnomycological Knowledge in a Community from Central Mexico

Eribel Bello-Cervantes<sup>1,\*</sup>, Alexander Correa-Metrio<sup>2</sup>, Adriana Montoya<sup>3</sup>, Irma Trejo<sup>4</sup>, Joaquín Cifuentes-Blanco<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 04510, Ciudad de México.

<sup>2</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 02376, Ciudad de México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Biodiversidad, Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala

<sup>4</sup>Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 04510, Ciudad de México, Ciudad de México.

#### Abstract

We analyze the effects of the ethnomycological knowledge depending on the age range of its users and how far their homes are from the forest areas. As a study model, the traditional mycological knowledge of San Pedro Tlalcupan SPT, in Central Mexico was used. During 2017, 135 semi-structured interviews were conducted with people of three age ranges and living in three areas of the community located at different distances from the forest. Data was analyzed using descriptive statistics and analyses of non-metric multidimensional scaling, which were then applied to calculate two indices. The effect of age and origin of the individuals on bio-cultural relevance was assessed using multiple linear regression models. Fifty species of edible wild mushrooms were registered, those mentioned most often were of the *Russula delica* complex., *Amanita basii* and *Boletus aff. edulis*. Ninety-five percent of the people interviewed consumed wild mushrooms on average two times a week, while 57% collected them. Wild mushrooms are mainly recognized for their food and ecological importance. Ordination and regression analyses show that people closest to the forest, as well as older people, are able to identify more of the wild mushrooms and have greater bio-cultural mushroom awareness. Results show that there is a risk that traditional knowledge about wild mushrooms will disappear, since it is only popular in a part of the community and only at some age ranges, indicating that there is a disconnect in the transfer of knowledge.

**Corresponding author:** Eribel Bello-Cervantes, Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 04510, Ciudad de México. Email: [lebire\\_320@hotmail.com](mailto:lebire_320@hotmail.com)

**Keywords:** Bio-cultural significance, Index of ethnotaxa, fungi, transmission of traditional knowledge, wild mushrooms, traditional knowledge change, NMDS, Tlaxcala biodiversity, Nahua

**Received:** Mar 19, 2019

**Accepted:** May 28, 2019

**Published:** Jun 05, 2019

**Editor:** Samantha Chandranath Karunarathna, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of

## Introduction

Bio-cultural heritage is maintained by traditional knowledge, which is a belief system (cosmos), knowledge (corpus) and practice (praxis) that have been generated, specialized, shared and transferred across generations in native communities, according to the characteristics and the needs of each people. This knowledge is transferred through conversation. This transference is weakened and may possibly become extinct if communities no longer reassess it, use it and pass it on [1, 2].

Different socioeconomic pressures have resulted in a series of modifications in the use of natural resources, which has threatened and endangered bio-cultural diversity [3, 4, 5]. It has been observed a cultural change driven by the formal education systems [6, 7, 8], the integration of local communities in the market economies [9]; the restriction on access to resources through conservation programs [10], in addition to the processes of modernization that include, introduction of technology, urbanization and modern health services [11].

This cultural change has been reflected in the variation of the distribution of traditional knowledge. The age, gender and profession are some factors that influence the diversity and richness of this knowledge ([12]. It has been documented that older persons embrace greater local knowledge [13]. As well, persons involved in few or no environment-related activities have less traditional knowledge [12, 14, 15]). In other words, elderly people and/or those connected with the environment are currently protecting this traditional environmental knowledge and can pass on to other generations.

Wild mushrooms play an important ecological [16] and cultural role in many communities, from pre-Hispanic times. Even, today, they continue to be a valuable forest resource that provide much-needed income for many families in the world [17]. Various studies have described differences in the ethnomycology knowledge within communities or by gender [18, 19, 20, 21]), and by age [22, 23]. So far, however, we did not have the tools to discover the causes and ways in which traditional mycological knowledge about mushrooms is distributed.

San Pedro Tlalcuapan (SPT) is a community of indigenous nahua ancestry, located in the slopes of the National Park La Malinche (PNLM) in Tlaxcala, Mexico. Activities, such as collecting mushroom and edible or medicinal plants contributed to the generation of knowledge, ideas and myths, as well as to the local economy. Currently, natural resources are dwindling, resulting in a change and detachment from traditional ecological knowledge. Concerned about this situation, local authorities and members of the community have shown interest in reaffirming and supporting the conservation of their bio-cultural heritage.

This paper, therefore, explores the effect that the distance from a house to the forest has on the preservation of traditional knowledge as well as the change of knowledge according to age. Then can we develop a strategy for the conservation of the area's mycological resources and the knowledge about them.

## Materials and Methods

### Study Area

The community of SPT, located in the Northwest part of the PNLM (19 ° 16' 50.02 'N, 98 ° 09' 06.30' W), is a municipality of Santa Ana Chiautempan, in the State of Tlaxcala, Mexico (Fig. 1). It has an altitude of 2,411 meters above sea level, in an area characterized by precipitation averaging 901 mm a year and annual temperatures averaging 15.75 ° C. The community is surrounded by pine forests, pine-oak forests, oak-pine forests, each with different levels of conservation, as well as man-introduced grassland and temporary agriculture [24].

San Pedro Tlalcuapan extends along 1,162 hectares, of which approximately 600 are covered by crops and forest; the rest belongs to the local population, which is divided into three main areas: La Defensa, La Iglesia and La Colonia (Fig. 1). La Defensa is the area closest to the forest, located 200 m from it. La Iglesia is located in the center of the village, about 2.5 km away from the forest, and La Colonia, situated on the outskirts of the village, is the farthest from the forest (4.4 km) and closer to the city of Santa Ana Chiautempan (2.2 km).

Tlalcuapan has 3,613 people spread over 837

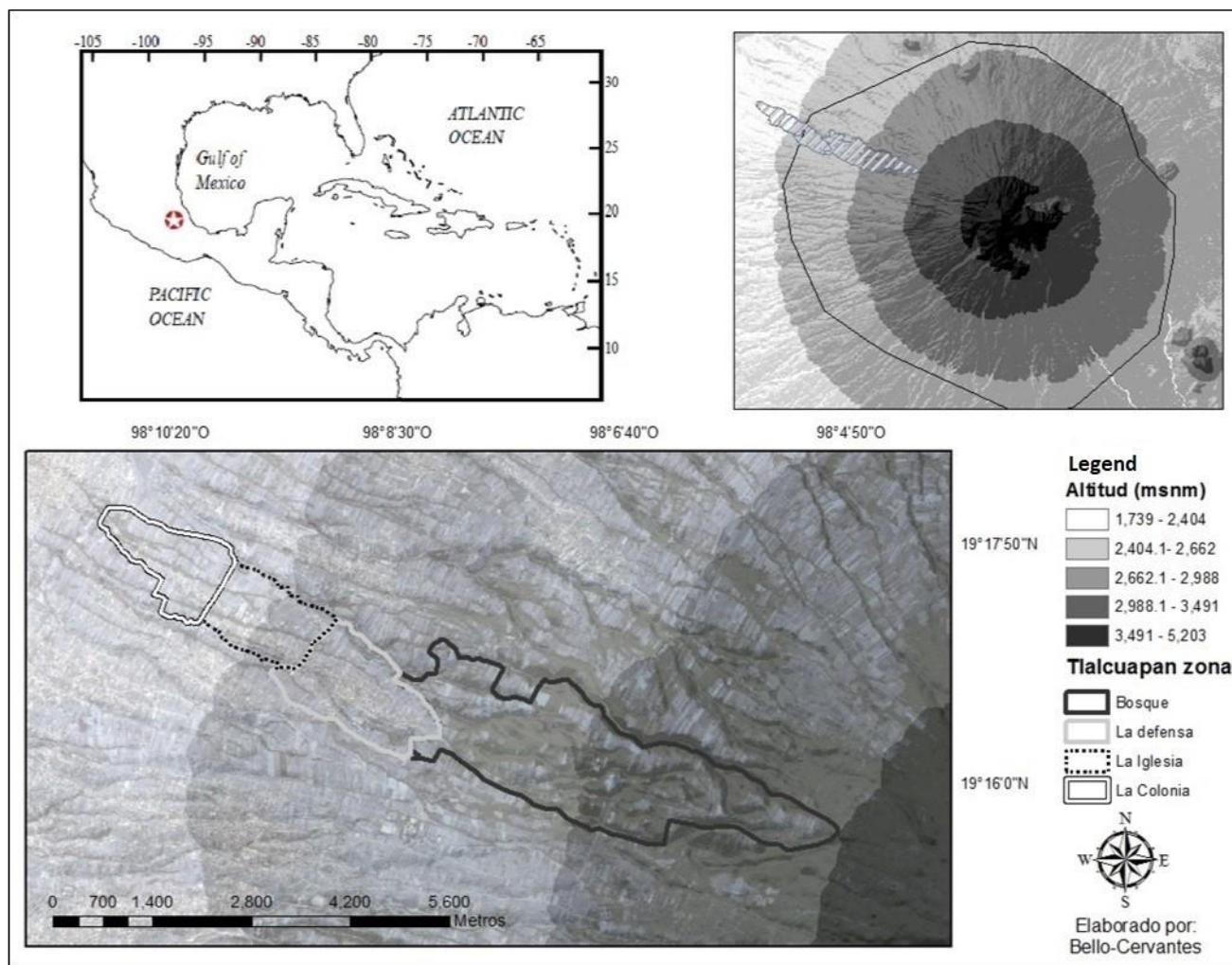


Figure 1. Location of the SPT in the National Park La Malinche Tlaxcala, Mexico. Top left of the image represents the location of the National Park La Malinche inside Mexico. Top right, represents SPT within the national park. In the lower part of the image, the 4 main areas of the studio area are shown.

households, 45% of the population is between 20 and 59 that included three aspects: (a) the respondent's personal years of age, 10% is older than 60, and 13% of the information, including name, gender, origin, age and population still speaks the Nahuatl (native language) [24].

#### Fieldwork and Interviews

Before this research started, we requested permission from the local authorities of the community to conduct it, notifying them about the project and requesting the consent of each interviewee.

Field trips were undertaken in the 2017 rainy season, accompanied by local people who knew the local mushrooms (hongueros), to learn the uses and names of the mushrooms, their seasons and where they grew. The mushrooms collected were identified taxonomically and deposited in the TLXM herbarium.

A semi-structured interview [25] was designed

occupation; (b) edible mushroom-free listing, where each person was asked to name 20 mushroom her she knew; (c) questions about each mushroom's bio-cultural importance (use, who uses it, how many times per week it is used, since when it has been used, way to get the mushrooms, harvesting activity, current or obsolete activity, its role in the forest and local management of mushroom collection and declared significance.

The interviews were divided into three groups of 45 individuals each. Each group corresponded to the areas in which the community is divided. The groups were composed of people of different ages, ranging from 8 to 90 years, which were classified into three age



ranges: youth (8-20 years old), adults (21-60 years old) and older adults (persons over 60 years); each age range consisted of 15 individuals. In total, 135 people were interviewed, representing 15% of the main households of Tlalcuapan.

### Statistical Analysis

The data obtained was analyzed with descriptive statistics to determine the importance that mushrooms have in the community. Two analyses of Multidimensional Non-Metric Scaling (NMDS) were applied to calculate two indices: a) Ethnotaxa Index (EI), to group persons according to the mushrooms mentioned in the free listing task, B) Bio-Cultural Significance Index (BCSI), to evaluate the Cultural significance of mushrooms, between the interviewed persons.

A qualitative matrix (46 X 135 OTUs or persons) was constructed with mushroom local names, age and home location of each person (from the three studied areas) to calculate de EI. In the case of BCSI, another qualitative matrix (29 X 135 OTUs or persons) was constructed, using the third section of the interview data, age and home location of each person (from the three studied areas). Responses to each question were coded as binary variables [26]. A similitude analysis was carried out using the Euclidian distance index, followed by a NMDS Ordination analysis. So that each individual's scores represent each index. All eigenvalues, their percentages and their cumulative percentages were obtained. The age and origin of the interviewed persons were used to explain the scores obtained by them in each index (EI, BCSI). This relationship was assessed using models of multiple linear regression [27], with the score of each person in the index as the dependent variable, and the age and origin as explanatory variables. Finally, a third linear regression was developed to evaluate the relationship between EI and BCSI. All analyses were carried out in the program R [28].

## Results

### Relevance of Edible Wild Mushrooms in SPT

The people of Tlalcuapan use 70 traditional names for the edible wild mushrooms found in the area, of which 39 are in Spanish and 31 in Nahuatl. These names correspond to 46 ethnotaxa and 50 species

(Table 1). Most of the people interviewed (80%) identified more than two edible mushrooms. The mushrooms most often mentioned were *Russula delica* complex, *Amanita basii* and *Boletus aff. edulis*.

The data shows that people living in the area of La Defensa (the closest to the forest) were able to name more mushrooms, compared to the people in the other areas. The results also show that, regardless of the place of origin, older people can identify more types of mushrooms than the younger ones can (Fig. 2).

The young people named, in total, 30 mushrooms. The young person who recognized more species, mentioned a maximum of 21. In this age group, 71% identified 6 mushroom or fewer. Among the adults, in total, 39 different mushrooms were identified, 56% identifying 8 or fewer mushrooms. It is notable, however, that at least 20% of the adults identified 31 or more mushrooms. Older adults named a total of 40 mushrooms, and 76% knew 16 mushrooms or more (Fig. 3).

People in the community identify six areas and/or types of vegetation where the different edible mushrooms are collected: (1) pine (*Pinus*) forest, (2) oak (*Quercus*) forest, (3) oyamel (*Abies*) forest, (4) Zacatón (grassland of *Stipa ichu*), (5) agricultural land and (6) burn sites. The *Pinus* forest has the greatest abundance of mushrooms (30 spp.), followed by the *Quercus* forest (15 spp.) and the agricultural land (Table 1).

The interviews show that people get the most mushrooms by direct harvesting. Only 38% of the population purchases them and 5% does not eat them. People who harvest mushroom live mostly in La Defensa and in the La Iglesia region (Table 2).

During mushroom season, eating mushrooms is very common in these communities, with locals eating them about twice a week, although it does vary depending on the area where people live. In La Defensa, young people and adults consume mushrooms, on average, two times a week, but older adults eat them three times a week. In La Iglesia, all three age ranges ate mushrooms at least once a week and, in the case of the area farthest from the forest (La Colonia), young people no longer eat them, whereas adults and older people eat mushrooms on average once a week



Table 1. Wild mushroom name, tradicional name and place of growth known in SPT. Organization based to the frequency mentioned.

Scientific Name	Common Spanish name	Common Nahuatl name	Mention frequency	Vegetation and ground use					
				P	Q	G	A	B	C
Russula brevipes Peck	Tecajete	Tecax	102	X		X			
Russula complex. Delica Fr.		Tecax	102	X		X			
Amanita basii Guzmán & Ram.-Guill	Amarillo, Flor (Yellow, flower)	Ayoxochitl	97	X					
Boletus complex. Edulis Bull.		Pante	92	X		X			
Ramaria spp.	Escobeta (Broom)	Xelwas	73	X					
Hebeloma aff. mesophaeum (Pers.) Quéf.	Xolete de chambusquina (Xolete from burned areas)	Xoletl	70					X	
Cantharellus aff. cibarius Fr.		Tecosa	65		X	X			
Laccaria trichodermophora G.M. Muell.		Xoxocoyuli	64	X					
Suillus pseudobrevipes A.H. Sm. & Thiers	Pancita (Little belly)	Poposo	61	X	X				
Turbinellus floccosus (Schwein.) Singer	Corneta (Trumpet)	Tlapitzal	52				X		
Agaricus campestris L.	Llanero, Hongo de pasto (Plain or grass mushroom)	Ayutzi	48						X
Lyophyllum aff. decastes (Fr.) Singer.		Tzenzo	48		X				
Lactarius indigo (Schwein.) Fr.	Tecax azul (Blue tray)	Tlapalte-cax	47	X	X				
Pleurotus opuntiae (Durieu & Lévillé) Sacc.	Hongo de maguey (Maguey mushroom)	Meso-nanatl	38						X
Chroogomphus jamaicensis (Murrill) O.K. Mill.	Borracho (Drunk)	Tlapalte-cosa	24	X	X				
Hygrophorus chrysodon (Batsch) Fr.	Señorita, Palomita (Miss, Little dove)	Totolte-nanacatl	24	X					
Lycoperdon perlatum Pers.	Huevito blanco, Tzefamil chico (White little egg, Little tzefamil)	Popote	24	X		X			
Calvatia cyathiformis Fr.		Tzefamil	22						X

Rhizopogon aff. michoacanicus Trappe & Guzmán	Huevito (Little egg)	Xitetl	21	X				X	
Amanita sp.		Cuehcuex	20						X
Hypomyces lactifluorum (Schwein.) Tul. & C. Tul.	Chilnanzi naranja (Orange chilnantzi)	Chilnanzi, Chilnana-catl	20	X					
Hypomyces macrosporus Seaver	Chilnanzi café (Brown chilnanzi)	Chilnanzi, Chilnana-catl	19	X					
Reticularia lycoperdon Bull. (Myxomycete)	Caca de luna (Moon shit)	Cuahtechol	13	X					
Lactarius deliciosus (L.) Gray	Enchiladito (With chile)	Tlalpaltex, Ocotecax	12	X					
Amanita amerifulva Tulloss	Venadito, casco de soldado (Little deer, soldier's helmet)		11	X					
Auricularia auricula-judae Bull.	Oreja ratón de tronco (Mouse ear's trunk)	Quimixnacas	8				X		
Lyophyllum sp.		Ocotzenzo	7	X					
Morchella snyderi M. Kuo & Methven	Chipotle		7				X		
Agaricus bisporus J.E. Lange	Champiñon		6						
Ustilago maydis (DC.) Corda		Cuitlacoche	5						X
Infundibulicybe gibba Pers.	Cueros, sombrillitas (Leather, Little umbrella)	Nacas cuero	4	X	X		X		
Macrolepiota aff. procera (Scop.) Singer		Tulnana-catl	4	X					X
Amanita complex. rubescens Pers	Mantequilla (Butter)		3	X					
Armillaria complex. mellea		Xopitzal	3		X				
Infundibulicybe sp.		Totomoxnanacatl	3		X				
Ramaria aff. suecica (Fr.) Donk	Escobeta café, Escobilla de ocote (Brown broom)	Xelhuas	3	X					
Ramaria cf. cystidiophora (Kauffman) Corner,	Escobeta café (Brown broom)	Xelhuas	3		X				
Tricholoma flavovirens (Pers.) S. Lundell	Railita, Kailita		3	X					
Amanita elongata Peck	Yema (Yolk)		2	X		X			
Gymnopus complex. dryophilus (Bull.) Murrill	Xolete pata amarilla (Yellow foot xolete)	Xoletl	2	X					

Helvella crispa Bull.	Oreja de ratón, Soldadito (Mouse ear's, soldier)	Xocuepich	2	X	X				
Laccaria sp.		Xoxocoyulicahuatl	2	X	X				
Lactarius salmonicolor R. Heim & Leclair	Enchilado de oyamel (Mushroom with chile from fir)	Ayometecax	2				X		
Ramaria aff. rasilispora Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla (Yellow broom)	Xelhuas	2		X				
Ramaria rubricarnata Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla (Yellow broom)	Xelhuas	2		X				
Ramaria rubripermanens Marr & D.E. Stuntz	Escobeta rosa (Pink broom)	Xelhuas	2		X				
Russula complex. xerampelina (Schaeff.) Fr.	Pastelito (Little cake)		2	X					
Agaricus sp.	Llanero de monte (Mountain Llanero)		1	X					
Clavariadelphus truncatus Donk.	Acocote		1		X				
Pholiota lenta (Pers.) Singer	Xolete de ocote (Pine's xolete)	Ocoxoletl	1	X					
Total mushroom by vegetation and ground use				30	15	5	5	2	6

\* P = pine forest, O = oak forest, G = grassland, A = fir forest, B = burned areas, C = cropland.

Table 2. Perspective about mushroom harvesting and consumption, by different age groups in the three main areas of San Pedro Tlalcuapan.

Area	Age Group	Buy*	Harvest	Weekly consume	Participate during harvesting	Age of activity	
						Past	Past/present
La Defensa	Youth	2	14	2	13	2	13
	Adults	4	14	2	14	1	14
	Old adults	4	15	3	15	0	15
La Iglesia	Youth	5	11	1	8	5	10
	Adults	12	12	1	13	2	13
	Old adults	11	12	1	14	2	13
La Colonia	Youth	8	8	0	7	5	10
	Adults	11	6	1	12	5	10
	Old adults	11	9	1	15	4	11

\*Buy: this column indicates the number of people interviewed who buy the mushrooms. Harvest: Indicates how many people collect them. Weekly consume: Is the average of how many times per week eat mushrooms. Participate during harvesting: Indicates the number of interviewees who participate in the harvest. Age of activity: Number of interviewees who consider the collection and consumption of mushrooms obsolete or something in force.

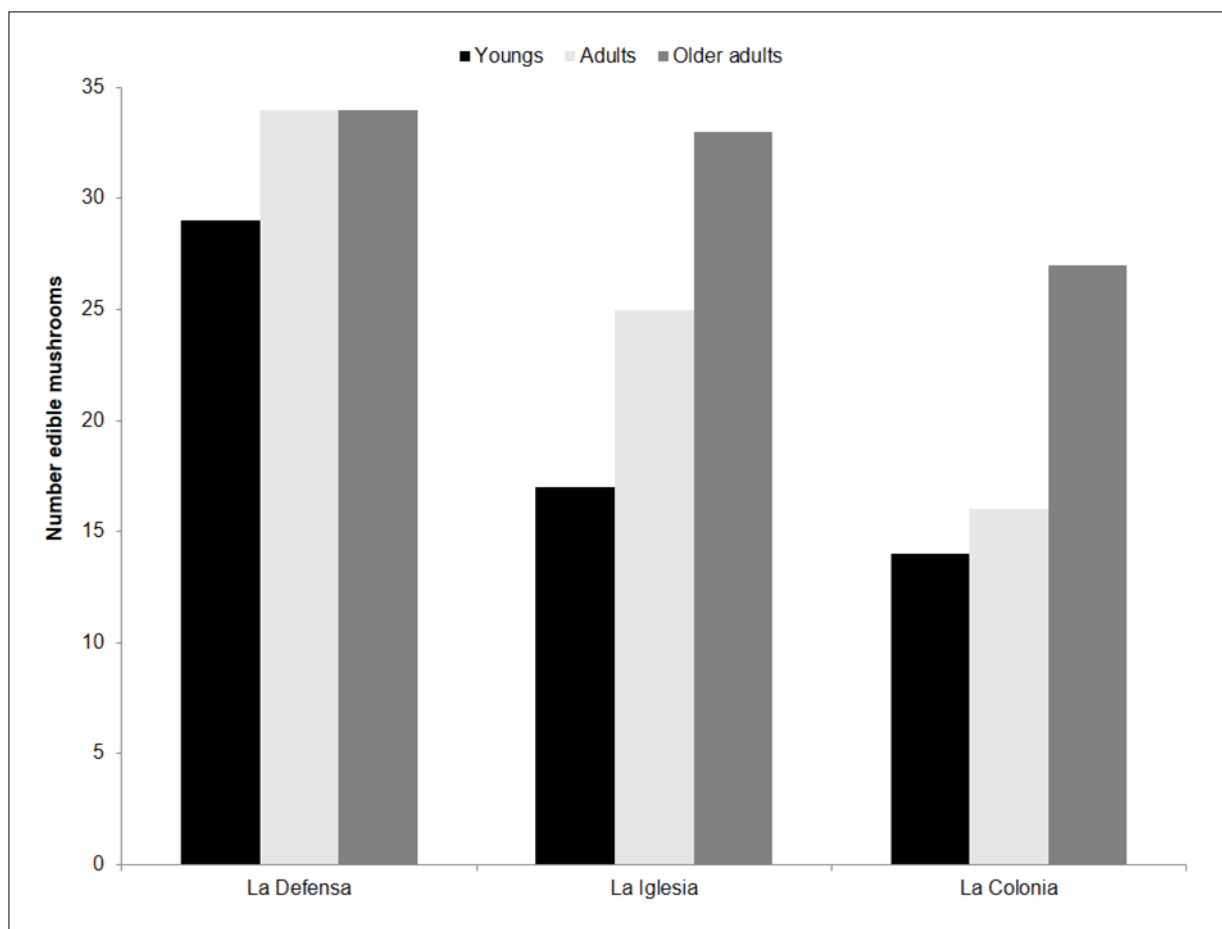


Figure 2. Number of edible mushrooms mentioned by each age range in the three areas of the community.

(Table 2).

During fieldwork in the forest, it was noted that collection is a family activity, involving at least two generations, which includes children, young people, adults and the elderly, and the transmission of knowledge about mushrooms is mostly consecutive. In other words it is passed along from the grandparents to their children and grandchildren, and so on, from generation to generation.

Table 2 shows that the people of La Defensa participate in mushrooms gathering regardless of age (young people, adults and the elderly), but the participation of children decreases at more distant forestsites. Most people (75% of respondents) consider collecting mushrooms as being a part of current ancestral knowledge and when you get farther away from the forest (La Iglesia and La Colonia), it is considered to be antiquity (Table 2).

During fieldwork in the forest and in the interviews, the fruiting season of each ethnotaxa was recorded. The mushroom season comprises six months, running from May to October, with July and August being the time of the greatest abundance of ethnotaxa (Table 3).

As for the role that mushrooms play in the forest, the people interviewed considered their greatest contribution to be a fertilizer for trees, as well as producing seeds to make more mushrooms in the following seasons. They are also food for forest animals and, to a lesser extent, act as disintegrator. Ninety-one percent of those interviewed recognize that there is a close relationship between mushrooms and trees.

Furthermore, three major "controlling" strategies were mentioned as ways to preserve mushrooms. The first is that, when harvesting, one should leave a part of the mushroom in the place where it is found; another is

Table 3. Wild mushrooms growing during the season (May-October 2017), in SPT, Tlaxcala.

Mushroom species	May	June	Juy	August	September	October
<i>Agaricus campestris</i>	X					
<i>Reticularia lycoperdon</i>	X					
<i>Pleurotus opuntiae</i>	X	X				
<i>Calvatia cyathiformis</i>	X	X				
<i>Rhizopogon complex aff. michoacanicus</i>	X	X				
<i>Hebeloma aff. mesophaeum</i>	X	X				
<i>Agaricus bisporus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Lyophyllum aff. decastes</i>		X	X			
<i>Amanita sp.</i>		X	X			
<i>Lyophyllum sp.</i>		X	X			
<i>Macrolepiota aff. procera</i>		X	X			
<i>Lactarius aff. salmonicolor</i>		X	X	X		
<i>Amanita basii</i>		X	X	X		
<i>Pholiota lenta</i>		X	X	X		
<i>Boletus aff. edulis</i>		X	X	X	X	
<i>Suillus pseudobrevipes</i>		X	X	X	X	
<i>Lactarius indigo</i>		X	X	X	X	
<i>Lactarius deliciosus</i>		X	X	X	X	
<i>Ramaria sp.</i>		X	X	X	X	
<i>Laccaria trichodermophora</i>		X	X	X	X	
<i>Russula xerampelina complex.</i>		X	X	X	X	
<i>Hypomyces lactifluorum</i>		X	X	X	X	X
<i>Hypomyces macrosporus</i>		X	X	X	X	X
<i>Infundibulicybe gibba</i>		X	X	X	X	X
<i>Lycoperdon perlatum</i>		X	X	X	X	X
<i>Russula brevipes</i>		X	X	X	X	X
<i>Russula delica complex.</i>		X	X	X	X	X
<i>Chroogomphus jamaicensis</i>		X	X	X	X	X
<i>Helvella crispa</i>		X	X	X	X	X
<i>Amanita amerifulva</i>		X	X	X	X	X
<i>Cantharellus aff. cibarius</i>			X	X	X	X
<i>Turbinellus floccosus</i>			X	X	X	X
<i>Hygrophorus chrysodon</i>			X	X	X	X
<i>Laccaria sp.</i>			X	X	X	X
<i>Tricholoma flavovirens</i>			X	X	X	X
<i>Amanita elongata</i>			X	X	X	X
<i>Ustilago maydis</i>			X	X	X	
<i>Hebeloma aff. mesophaeum</i>			X	X	X	
<i>Amanita rubescens complex</i>			X	X	X	
<i>Armillaria mellea complex</i>			X	X		
<i>Agaricus sp</i>			X	X		
<i>Infundibulicybe sp.</i>				X	X	
<i>Clavariadelphus truncatus</i>				X	X	
<i>Auricularia auricula-judae</i>					X	X
<i>Morchella snyderi</i>						X

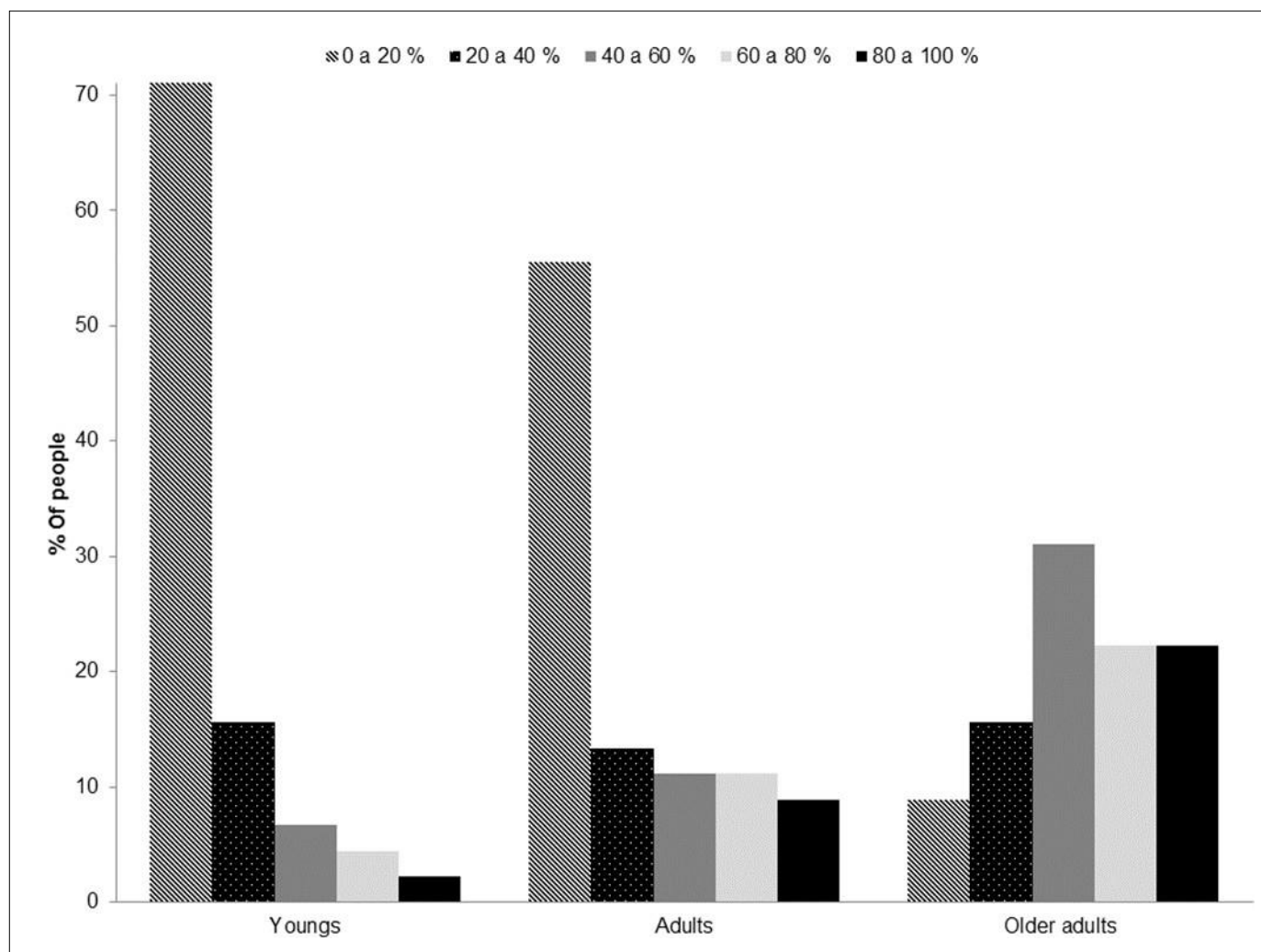


Figure 3. Percentage of people who identify the mushrooms referred to in each of the age categories.

not to harvest all of the mushrooms growing in an area; and another is that to collect them, then clean and shake them where they are picked to promote their dispersion. Only 42% of the respondents -- mostly people living in La Defensa -- actually do this (Table 4).

Finally, when respondents considered the detailed relevance of wild mushrooms, they thought that they are important because they are food and they have ecological and economic value (Fig. 4).

#### Ethnotaxa and Bio-Cultural Significance Index

The result of the NMDS performed with a free listing of the mushrooms named by the respondents is acceptable (stress 0.13), the resulting ordination analysis shows a greater dispersion of the observations along axis 1, than the axis 2 (with values of between - 1.6 to 3.35) (Fig. 5).

Ten more wild mushroom mentioned are ordered at the positive end of the axis 1, while rare mushrooms are found in the negative end. This order suggests a positive relationship between this axis and the diversity of mushrooms that people are familiar with (ethnotaxa index). Thus, high values on the one axis indicate knowledge of the greater diversity of wild mushrooms (Fig. 5).

As for the age of the interviewees, young people were found in the negative part of Axis 1, implying a lesser knowledge of ethnotaxa within this demographic age range. Older adults, regardless of where they live, are notably separated from young people, having positive rates of ethnotaxa, i.e., having a greater knowledge of mushrooms.

Where interviewees live is also a variable that has an impact on the grouping, with most of the La

Table 4. Wild mushroom relevance in the forest and traditional use in different areas of San Pedro Tlalcuapan and age groups.

Areas	Age group	Wild mushroom in the forest				Relationship mushroom/plant	Traditional use		
		Fertilizer	Animal food	Seed	Desintegrator		Leave part of the mushroom	Leaves some mushrooms	Cleans out all the area
La Defensa	Youth	11	1	4	0	14	6	0	2
	Adults	8	3	8	0	13	10	1	3
	Old adults	8	1	7	0	15	11	0	2
La Iglesia	Youth	5	4	2	0	13	5	0	0
	Adults	6	2	9	1	14	5	2	0
	Old adults	8	2	7	0	14	5	0	1
La Colonia	Youth	6	7	2	0	11	3	0	0
	Adults	5	3	5	0	14	2	1	0
	Old adults	8	1	7	0	14	3	0	0

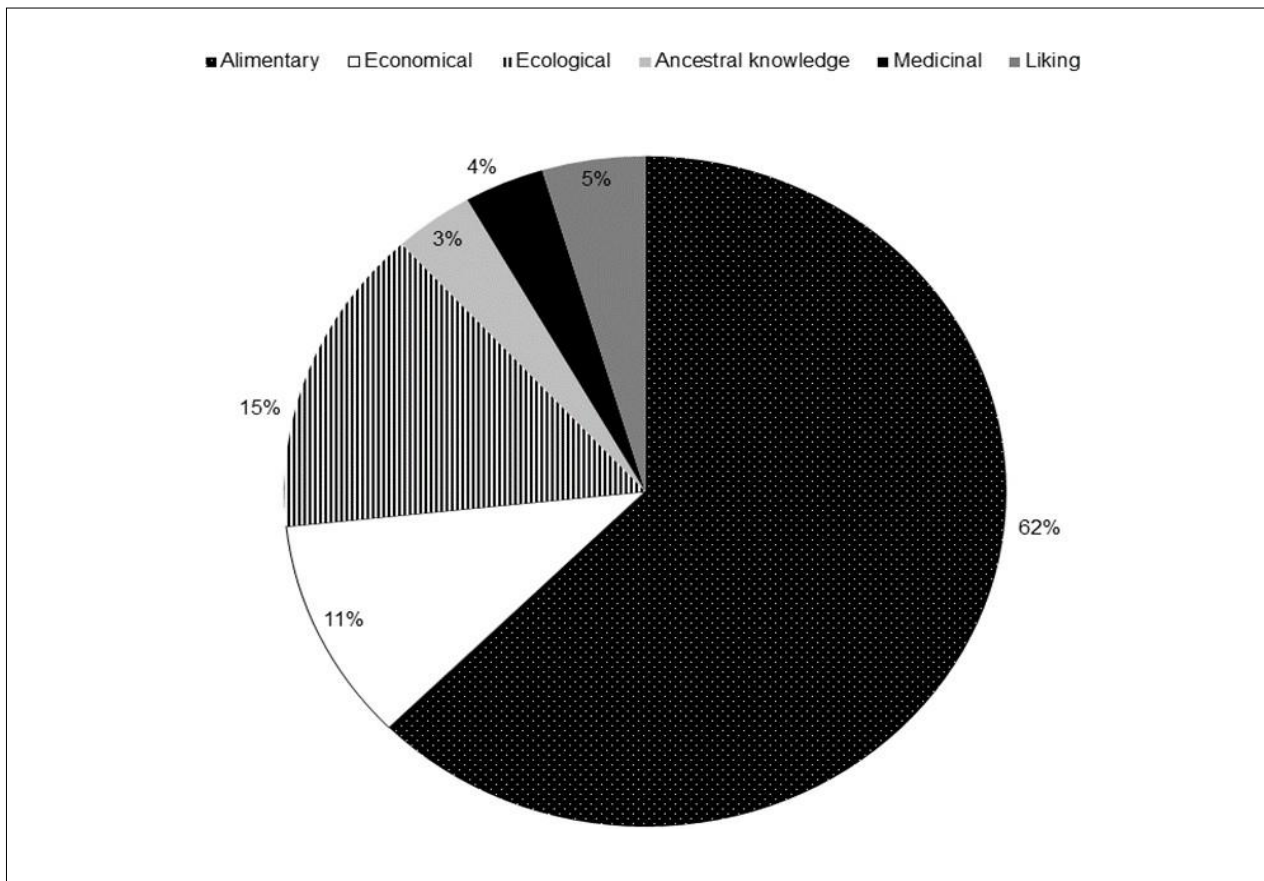


Figure 4. Importance of wild mushrooms for inhabitants of the community of Tlalcuapan.



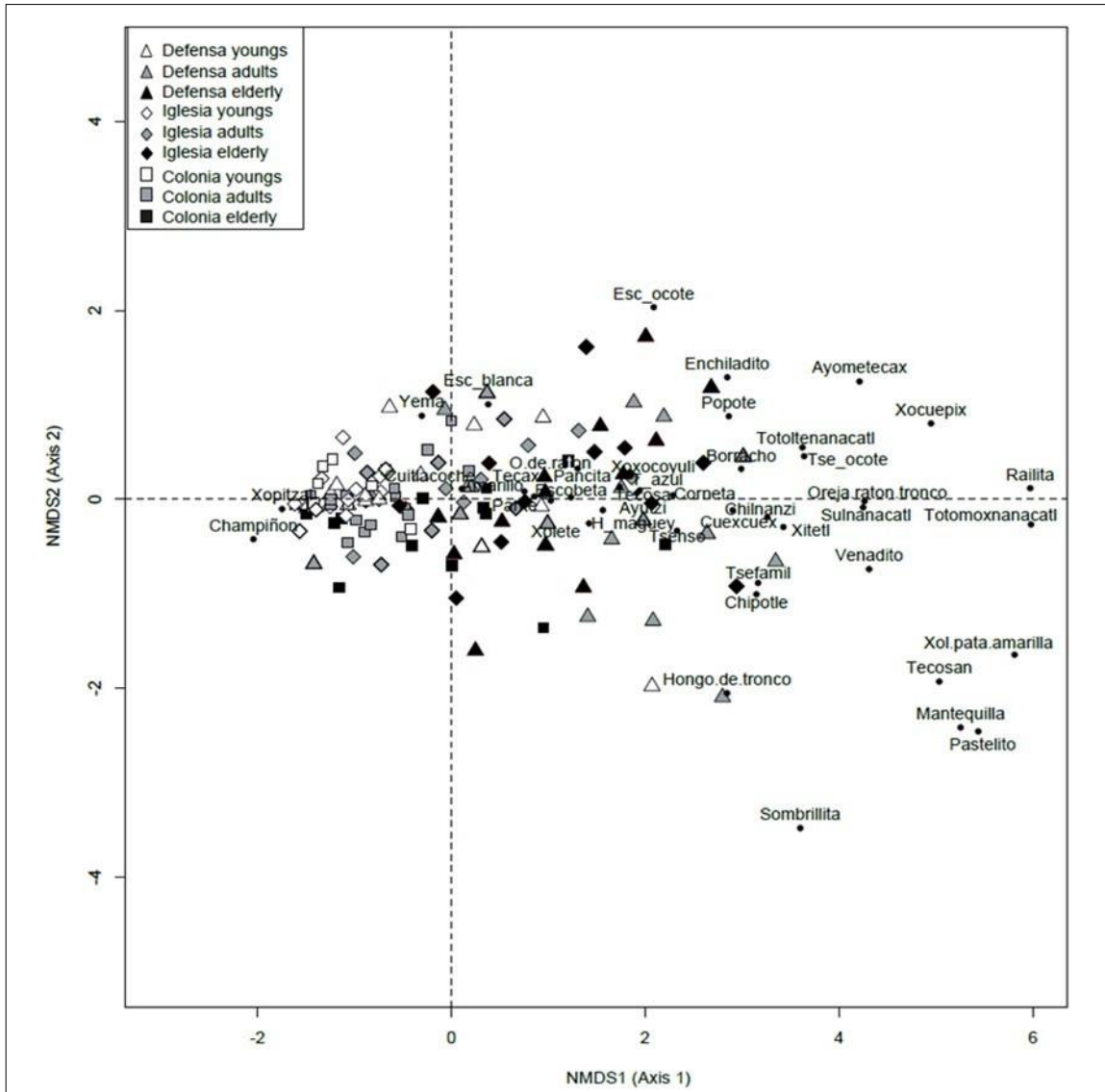


Figure 5. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) that shows the distribution in the axis of the inhabitants of the different areas of SPT, according to their age category and its relationship with the regional diversity of mushroom. Triangles represent people from La Defensa, the diamonds to La Iglesia and squares to people of La Colonia. White makes reference to young people, gray to adults and black to older adults. The solid round dots allow to locate the ethnotaxa.



Defensa interviewees showing positive index values (between 0.003 and 3.34), corresponding to the interviewees who mentioned the majority of mushrooms. The people of La Colonia (values between -1.6 and 0) know less about mushrooms including in their responses a cultivated white mushroom known as "el Champiñon". Because of this, they have a lower rate of ethnotaxa. Those who live in the area of La Iglesia have values ranging from -1.6 and 3.09 as they share knowledge in both areas.

The NMDS applied to the data from the interviews on bio-cultural relevance is acceptable (stress 0.25), showing a greater variability associated with Axis 1, with values between -1.5 and 3 (Fig. 6). Given the nature of the data, this analysis incorporates the importance and use of mushrooms.

The negative values of Axis 1 are a result of most of the variables related to ancestral knowledge and handling of the mushrooms, such as harvesting, consumption, forest functions and control strategies.

Three variables are located on the positive side of the Axis 1: purchase, disintegrator and animal food. For example, the people who buy mushrooms are put into a group that does not know where to find them or how to harvest them. As well, some consider mushrooms to be important only as food for animals and as a disintegrator in the forest and not as a useful resource for human beings.

It is observed that the variables that represent an extensive knowledge of mushrooms are grouped toward the negative side of the axis. Thus, a lower score on the axis of one of the variables of perception-based NMDS represents a greater bio-cultural relevance.

The majority of interviewees living in La Defensa are grouped in the negative part of Axis 1, which corresponds to a greater knowledge of mushrooms. The people of La Colonia, however, are grouped on the positive side, while the people of La Iglesia are mostly located in the middle part of the axis to correspond with their territorial location. With respect to the age groupings, there is no clear distribution the only age group that clusters together is the one comprising older people, which is located toward the negative side of the axis.

Change in Local Knowledge According to age and the

Territory

The models of multiple linear regression were adjusted to explain ethnotaxa rates and bio-cultural relevance according to respondents' age and their area of origin. Both were significant (see Tables 5 and 6). According to the coefficients estimated for the ethnotaxa index, the index changed depending on the age of the respondent: the older he or she gets, the higher the rate of ethnotaxa index, being 0.03 the reason for the change. The ethnotaxa index also varies according to the area where a person lives: those living nearest to the forest will have a higher rate (see Table 5). Although the value of the contribution of each of the variables was significant ( $p = 0.001$ ), the model presents a relatively low  $r^2$  ( $r^2 = 0.52$ ), indicating that the regression explains the pattern of the data, but does not have predictive power.

The index of bio-cultural relevance is also explained by age and where respondents live. The model indicates that this index changes with the age of the individual; the reason for change is -0.005, i.e., on average an individual who is one year older than another will have a lower rate (lower than 0.005). Thus, older people tend to have the most negative relevance bio-cultural indices, which is confirmed with a reliability of 95%. The index of cultural relevance is also significantly related ( $p = 0.01$ ) to the area where people live: according to the estimated coefficients, people living in La Colonia obtained a score of 0.66, for people that live in La Iglesia or in La Defensa decreased in 0.39 and 0.96 points, respectively (coefficients negative, Table 6). Therefore, the respondents who live nearest the forest will have a lower rate, i.e., a greater knowledge about mushrooms (Table 6).

#### Association Between the Indices

Regression analysis from the axis was significant (Fig. 7). According to the estimated coefficient, it suggests that for every unit of decline in the ethnotaxa index, there is a 1.05 increase in the value of the index of bio-cultural relevance ( $p < 0.001$ ). While this regression significantly explains the contribution of relevant bio-cultural index values, the  $r^2$  is relatively low ( $r^2 = 0.37$ ), indicating that they do not have any predictive value. As shown in Fig. 7, there is abundant variability in the data. Both indices explain the

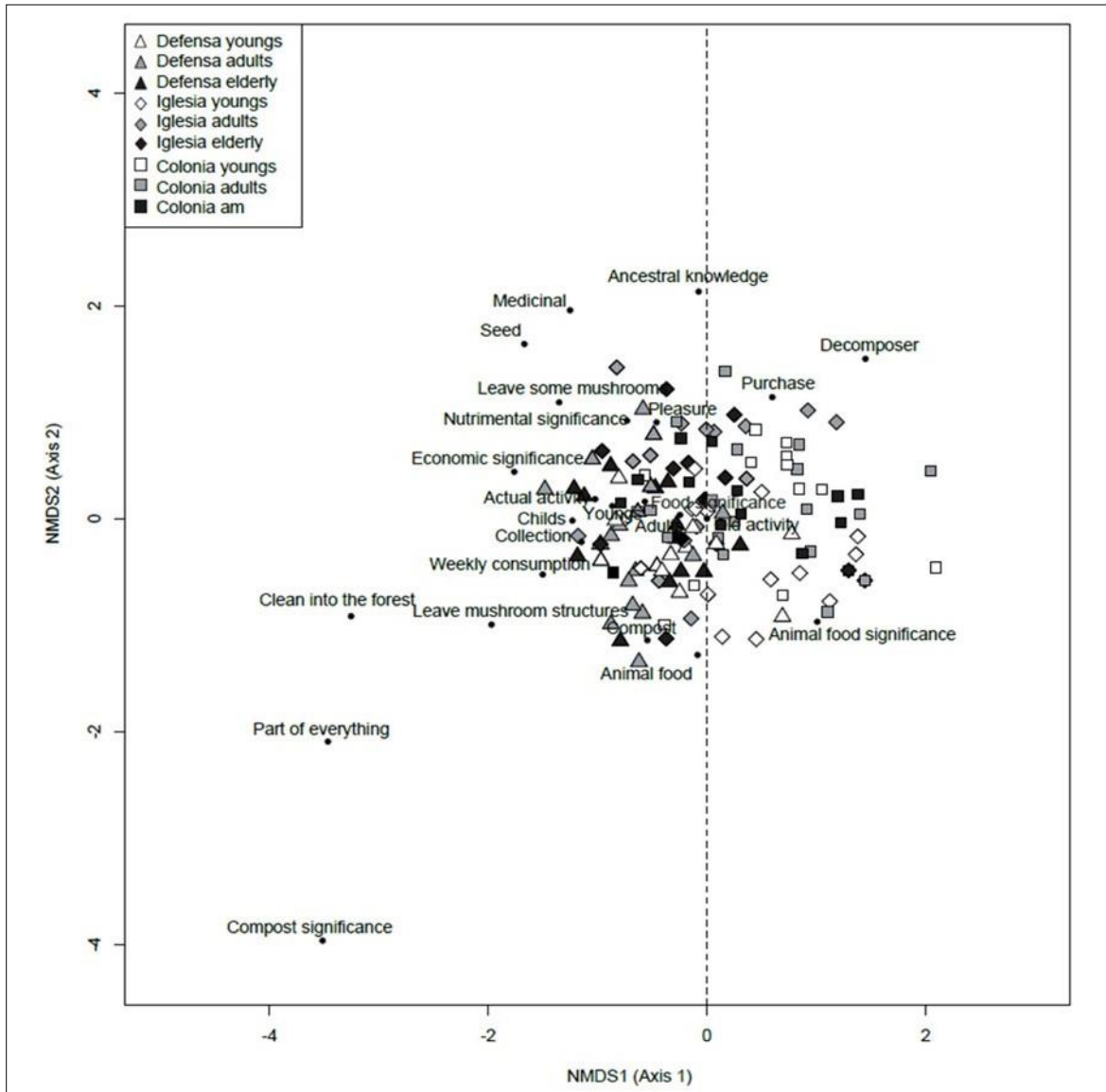


Figure 6. Non-metric multidimensional scaling (N-MDS) showing the distribution on the axis of the inhabitants of the different areas of SPT, according to their age range and its relationship with mushrooms bio-cultural knowledge. Triangles represent people from La Defensa, the diamonds to La Iglesia and the squares to the people of La Colonia. White makes reference to young people, gray color to adults and black to older adults. The solid round dots allow to locate the ethnobotany.

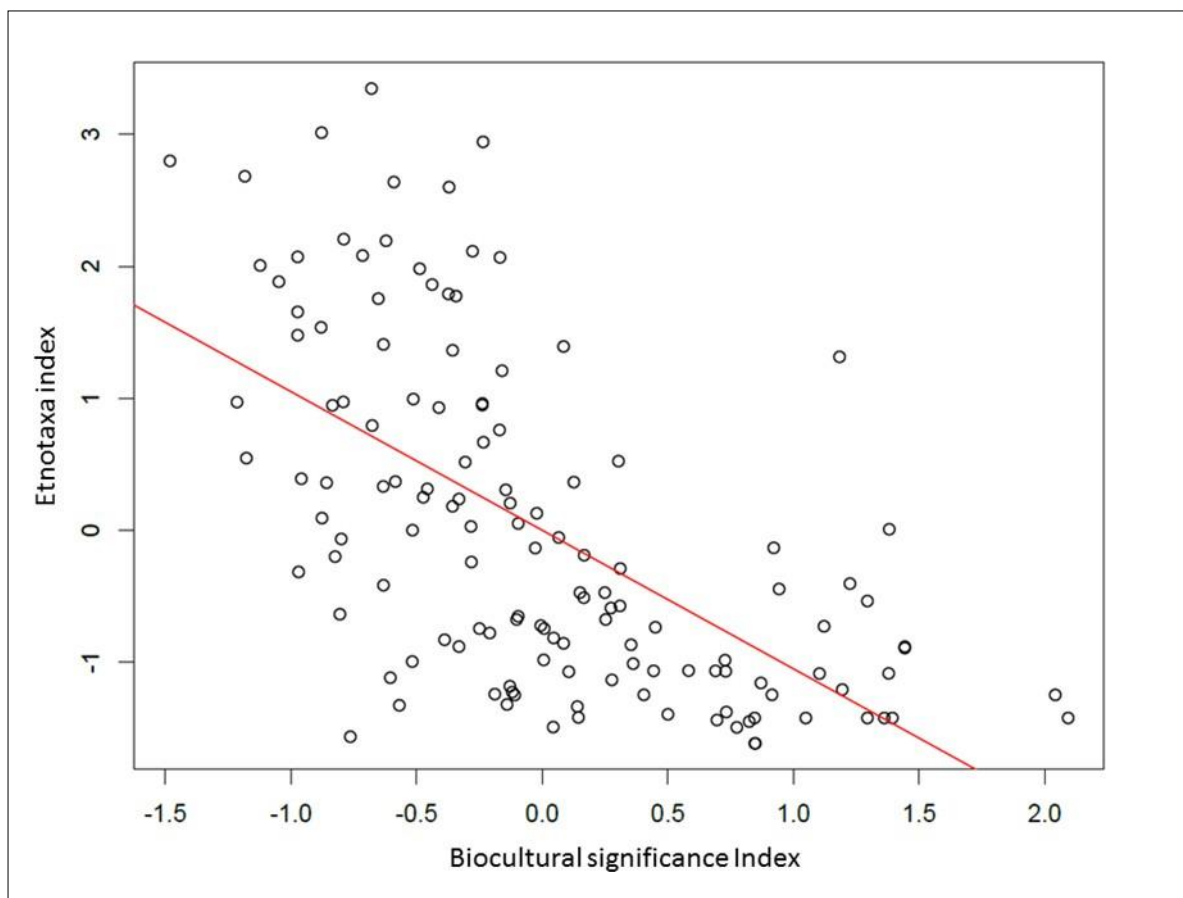


Figure 7. Regression on the index of ethnotaxa according to biocultural relevance,  $p$  index < 0.001,  $r^2 = 0.37$ .

Table 5. Multiple regression on the rate of ethnotaxa according to the place where respondents live and their according to their age.

	Estimated value	T Value	P Value
INTERCEPT	-1.94	-9.93	< 0.001
LA DEFENSA	1.57	8.29	< 0.001
LA IGLESIA	0.64	3.39	< 0.001
AGE	0.03	8.72	< 0.001
$r^2 = 0.52$			

Table 6. Multiple regression on relevance of bio-cultural knowledge depending on where people live and their age index.

	ESTIMATED VALUE	T VALUE	MEANING
INTERCEPT	0.66	4.85	< 0.001
LA DEFENSA	-0.96	-7.28	< 0.001
LA IGLESIA	-0.39	-2.93	0.01
AGE	-0.005	-2.24	0.05
$r^2 = 0.31$			

differences that exist in the ethnomycological knowledge is mainly passed on through oral and hands-on communications. finding cannot be predicted based on the other.

## Discussion

The data obtained show that, in SPT, mushrooms are an important natural resource for the community, since the majority of the population identify and use them. The richness in the variety of names that are given to the wild mushrooms by specific ethnic groups is one of the indicators of the importance of these species, and the many traditional mushroom names correspond to a greater knowledge about their use and biology [29]. SPT has more useful mushroom species (50) than other communities situated on La Malinche [18, 19, 30]. Although they have reported about 15 to 30 species of mushrooms, the number of species in the community studied is similar to that reported for the Nahua community of San Isidro Buensuceso, where 48 species have been recorded [30].

Two of the species most frequently mentioned by respondents to this study (*Amanita basii* and *Boletus edulis* complex.) largely agree with those recognized as the most important in other communities of La Malinche, Tlaxcala and other regions of Mexico [19, 31, 32, 33]. This confirms the importance of these mushroom species in Mexico. The preference of *Russula delica* complex, is a special trait that distinguishes to this community.

The majority of the people who consume edible wild mushroom mentioned in this study had been eating them for at least six months per year. Many of the respondents (mainly those who live in the two areas closest to the forest) obtain the mushrooms by harvesting them directly. This activity, as well as how the mushrooms are used, is still passed along from generation to generation. As is suggested by Boesch and Tomasello [34], this type of cultural transmission occurs between individuals of different generations, but within the same family (vertical transmission), for example, from parents to children. Furthermore, it is observed that this transmission is oral and hands-on, as mentioned by Luna-Morales [35], who showed that traditional knowledge has been generated, selected and accumulated collectively over thousands of years, and lives on in the memory and practices of the people and

The residents of SPT also recognize the roles that wild mushrooms play in the forest, such as providing fertilizer, seed for new growth and food for wild animals, so, the mushrooms are considered an important part of the natural environment in which they grow. This is confirmed because many of the interviewees noted that mushrooms are associated with trees and, over the years, they have used different methods to maintain their care.

Some studies in which traditional mycological knowledge is described mention that this knowledge varies depending on age [36, 37, 38, 23] and gender [19, 20, 21], however, in most of these studies they compare the number of fungi and uses that people enunciate, without considering other variables or statistical analyzes that allow identifying the differences between age ranges. An exception is that of Pacheco-Cobos et al. [20] who GPS-tracked the foraging pathways of 21 pairs of men and women from an indigenous Mexican community searching for mushrooms in a natural environment; measures of costs, benefits and general search efficiency were analyzed and related to differences between the two sexes in foraging patterns.

In this case, the two indices proposed in this study show significant differences in the knowledge about mushrooms depending on the age of, or the area inhabited by, the people of SPT. The EI is useful because it takes into account the mushrooms that everyone knows and not just their number allowing distinguishing those exclusive of certain age ranges. On the other hand, the BCSI considers different variables about uses, collection and mushroom ecology, that indicate the importance of the mushrooms as a resource, what facilitated knowing the knowledge distribution.

The age was an important factor in the level of knowledge, as it was observed in other studies [12, 15, 39,]. Regression analysis demonstrated that older people have a higher ethnotaxa index, i.e., they can identify the highest number of wild mushrooms in the area. But also a lower BCSI, which indicates that the elderly have a greater ecological knowledge, about

collection and more uses than young people. adults.  
This situation could be explained by, as Significant differences were observed between

suggested by Garro [40], that age is associated with the the three areas of the community. The BCSI, permitted the natural process of the acquisition of knowledge, i.e., the observation that most of the people living the furthest away greater the awareness in older adults is attributed to the from the forest have less mushroom knowledge, since they greater opportunities they have had to learn, acquiring more do not collect, eat fewer of them and buy the mushroom experience and contact with the natural resources around what they do eat. They do not know where the mushrooms them [15]. Also several studies have shown that the peak grow or how to take care of them. Because these people live of acquisition of teoríc knowledge, i.e. when this knowledge in an urban area, they seem to think it easier to go to the is similar to an adult, occurs at 10-15 years old [41, 42, grocery store to buy the farmed white mushrooms 43], with an important increasing (Champiñon) than to go to the forest to look for the wild between 9-12 years old [44, 45, 46]. There are another ones. Bonilla-Moheno and García-Frapolli [51] as well factors affecting the acquisition process. as, Reyes-García et al. [52] mention that the integration

The fact the children and young people know less and participating less in these collection activities, indicate a loss to the Market is an important factor that modifying traditional knowledge because people who can pay these in the transmission of mushroom knowledge, specially in kind of market products, substitute the forests products, making traditional knowledge irrelevant. Most of the people La Colonia area. Eyssartier et al. [47], found that the living in La Defensa close to the forest eat mushrooms which transmission of traditional knowledge begins in early they themselves have picked, which increases local childhood, when children accompany their parents in knowledge about mushrooms, where they grow, what cultivating the land. It appears, however, that, today, there season they appear and their uses. In addition, the majority are fewer opportunities for children to spend time with their says that it is a complementary activity to their daily work parents, grandparents and others who know the practices in agriculture, involving the whole family. Other authors and beliefs about conservation [48]. It has documented have noted this also [14, 15] people who work with the that formal education marginalizes local knowledge [14, environment are able to maintain a greater knowledge of 49], causing changes and promoting an urban life style [50, mushrooms than those who do not. 12].

The study findings also suggest that lower level of For La Defensa residents, it is more economical and knowledge among young people may be result of lack of rewarding to get food from the mountain instead of going interest in traditional knowledge, as young people – to the supermarket in the city, since that would incur major expenses. Many people said "we do not know the quality influenced by modernization -- may well consider this type of knowledge to be obsolete. It has, indeed, been of what we buy and, in the forest, everything is clean and demonstrated that older people are less affected by healthier." This is why they continue eating wild mushrooms. external influences than the young [13]. Young people The people of La Iglesia share both perceptions. Although tend to abandon their homes and ancestral customs as they the regression analysis indicates that each area has a different view of wild mushrooms, it confirms that the focus their interests on meeting the demands of Western distance of housing from the forest has a significant impact culture [50]. on traditional knowledge. This indicates that there is a loss

The EI shows that people of each range age mention on mycological knowledge among people who live far from the forest and closer to the city. exclusive mushrooms, for example, Champiñon (*Agaricus bisporus*) is the most popular between young people. While the bio-cultural relevance index includes more Yellow foot xolete (*Gymnopus dryophilus*) and Little cake variables analyzed and, therefore, raises several questions, (Russula xerampelina complex) were named only by adults, whereas the Ayometecax (*Lactarius salmonicolor*), both indices were useful for achieving the Tzunanacatl (*Macrolepiota aff. procera*) and Xocuepex (Helvella crispa) were mentioned by older



objectives of this study, allowing the comparison of de México", was also supported by the project PAPIIT mushroom knowledge among local sites in the community IN301118. We are very grateful to the people of SPT for and age groups. In addition, this study makes a their hospitality, interest and enthusiasm in participating in methodological contribution since it can bereplicated in any this research, especially to the families of Mrs. Mary, Mrs. other community or group of communities. It must be taken Maura, Mrs. Tomasita, Mrs. Felix, Doña Teodora, Mario into account, however, that neither of the indices can Orlando and Angel Eduardo who shared their knowledge to predict the outcome ofthe other. So future studies need to us and supported in the forest fieldwork. We are equally establish clearobjectives and decide which index to use or grateful to Eleazar Bello Cervantes, who shared their perhaps develop one that it encompasses both objectives, knowledge about the statistical analysis of data. Thanks to since these data are independent. Ing. Elizabeth Hernández and Gundi Jeffrey, by critically reviewing the English version of this manuscript.

## Conclusions

SPT is a community in which currently the wild mushroom are a resource of great importance; however, previous analyses, and as authorities and residents of SPT have stated, there is a risk that traditional wild mushroom knowledge will vanish, as it seems to berestricted to only a part of the community's territory and to particular age groups, indicating that there is a fragmentation in the transmission of knowledge from generation to generation. This study will allow researchers to focus on how to better disseminate this knowledge to the vulnerable age groups and suggest strategies of strengthening the transmission of this knowledge to other age groups and/or territories.

On the other hand, the proposed indicesfacilitate the evaluation of the variables associated with the distribution of traditional knowledge and allow comparisons among different areas of study. These are also flexible, since the bio-cultural variables can be included or eliminated and adjusted to different cultures or natural resources.

## Authors' Contributions

EB-C designed the study, carried out the field work, the analysis and interpretation of data and wrote the manuscript. AC-M made substantial contributions to the analysis and interpretation of data. RIT-V, AM andJC participated in the design of the study, and therevision of the document. All authors read and approved the final manuscript.

## Acknowledgements

This research was supported by a doctorate grant assigned to Eribel Bello by CONACyT (number of award 290010) and the "Universidad Nacional Autónoma

## References

1. Berkes F, Colding J, Folke C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecol Appl* 10(5), 1251-1262.
2. Boege E. (2008) El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas. 1era ed. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
3. Jarblad A. (2003) The global politic economy of transnational corporation: a theory of asymetric interdependence. Lulea of University Technology, C Ektended Essay 47.
4. Toledo V M, Barrera-Bassols N. (2008) La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. 1era ed. España: Icaria editorial.
5. González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Galindo-Jaimes L, Camacho-Cruz A, Golicher D et al. (2009) Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública* 1(1):40-53.
6. Maffi L. (2005) Linguistic, Cultural, and Biological Diversity. *Annual Rev Anthropol* 34:599–618.
7. Zent S, Maffi L. (2010) Methodology for Developing a Vitality Index of Traditional Environmental Knowledge (VITEK) for the Project "Global Indicators of the Status and Trends of Linguistic Diversity and Traditional Knowledge." Final Report on Indicator

- No. 2. British Columbia, Canada: Terralingua.
8. Reyes-García V, Guèze M, Luz AC, Paneque-Gálvez J, Macía M J et al. (2013) Evidence of traditional knowledge loss among a contemporary indigenous society. *Evol Hum Behav* 34(4), 249-257.
  9. Godoy R, Reyes-García V, Byron E, Leonard W R, Vadez V. (2005) The effect of market economies on the well-being of indigenous peoples and on their use of renewable natural resources. *Ann Rev Anthropol* 34, 121-138.
  10. Gómez-Baggethun E, Mingorría S, Reyes-García V, Calvet L, Montes C. (2010) Traditional ecological knowledge trends in the transition to a market economy: empirical study in the Doñana natural areas. *Conserv Biol* 24(3), 721-729.
  11. Aswani S, Lemahieu A, Sauer W H. (2018) Global trends of local ecological knowledge and future implications. *PLoS One* 13(4).
  12. Saynes-Vásquez A, Caballero J, Meave JA, Chiang F. (2013) Cultural change and loss of ethnoecological knowledge among the Isthmus Zapotecs of Mexico. *J Ethnobiol Ethnomed* doi:10.1186/1746-4269-9-40.
  13. Quinlan MB, Quinlan RJ (2007) Modernization and medicinal plant knowledge in a caribbean horticultural village. *Med Anthropol* 21:169-192.
  14. Zent, S. (2001) Acculturation and ethnobotanical knowledge loss among the Piaroa of Venezuela. Demonstration of a quantitative method for the empirical study of traditional environmental knowledge change. In: Maffi L (ed) *On biocultural diversity. Linking language knowledge, and the environment*. Smithsonian Institution Press, Washington, pp 190–211.
  15. Silva F, Ramos M A, Hanazaki N, Albuquerque UP. (2011) Dynamics of traditional knowledge of medicinal plants in a rural community in the Brazilian semi-arid region. *Rev Bras Farmacogn* 21(3): 382-391.
  16. Dighton J. (2016) *Fungi in ecosystem processes*. CRC Press, USA.
  17. Boa E. (2004) *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people*. Food and Agriculture Org.
  18. Montoya A, Estrada-Torres A, Caballero J. (2002). Comparative ethnomycological survey of three localities from La Malinche Volcano, Mexico. *J Ethnobiol* 22:103-131.
  19. Montoya A, Torres-García EA, Kong A, Estrada-Torres A, Caballero J. (2012) Gender differences and regionalization of the cultural significance of wild mushrooms around La Malinche Volcano, Tlaxcala, Mexico. *Mycologia* 104 (4) 826-834.
  20. Pacheco-Cobos L, Rosetti MF, Cuatlanquiz C, Hudson R. (2010) Sex differences in mushroom gathering: men expend more energy to obtain equivalent benefits. *Evol Hum Behav* 31(4), 289-297. doi: 10.1016/j.evolhumbehav.2009.12.008
  21. Burrola-Aguilar C, Montiel O, Garibay-Orijel R, Zizumbo-Villarreal L. (2012) Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Rev Mex Mic* 35:1-16.
  22. Santiago F H, Moreno J P, Cázares B X, Suárez J J A, Trejo E O et al. (2016) Traditional knowledge and use of wild mushrooms by Mixtecs or Nuu savi, the people of the rain, from Southeastern Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 12(1), 35.
  23. Robles-García D, Suzán-Azpiri H, Montoya-Esquivel A, García-Jiménez J, Esquivel-Naranjo E U et al. (2018) Ethnomycological knowledge in three communities in Amealco, Querétaro, México. *J Ethnobiol and Ethnomedicine* 14(1), 7.
  24. INEGI (2010) *Anuario geoestadístico de Tlaxcala*. INEGI México.
  25. Alexiades MN. (1996) Collecting ethnobotanical data: An introduction to basic concepts and techniques. In: Alexiades M (ed.) *Selected guidelines for ethnobotanical research: A field Manual*, New York Botanical Garden, Nueva York.
  26. Legendre P, Legendre L. (2012) *Numerical Ecology*. Elsevier Scientific. Oxford.
  27. Zar JH (1999) *Biostatistical Analysis*, 4th ed. Upper Saddle River, Prentice-Hall, NJ.
  28. R Core Team (2016) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation

for Statistical Computing.

29. Estrada-Torres A. (1989) La etnomicología: Avances, problemas y perspectivas. Examen predoctoral. México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.
30. Montoya A, Hernández-Totomoch O, Estrada-Torres A, Kong A, Caballero J. (2003) Traditional knowledge about mushrooms in a Nahua community in the state of Tlaxcala, Mexico. *Mycologia* 95:793-806.
31. Montoya A, Kong A, Estrada-Torres A, Cifuentes J, Caballero J. (2004) Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fung Divers* 17:115-143.
32. Garibay-Orijel R, Caballero J, Estrada-Torres A and Cifuentes J. (2007) Understanding cultural significance, the edible mushrooms case. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-4>.
33. Alonso-Aguilar L E, Montoya A, Kong A, Estrada-Torres A, Garibay-Orijel R. (2014) The cultural significance of wild mushrooms in San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala, Mexico. *J Ethnobiol Ethnomed* 10:27.
34. Boesch C, Tomasello M. (1998) Chimpanzee and Human Cultures. *Curr Anthropol* 39(5):591-604.
35. Luna-Morales C. (2002) Ciencia, conocimiento tradicional y etnobotánica. *Etnobiología* 2:120-135.
36. Geng Y, Zhang Y, Ranjitkar S, Huai H, Wang Y. (2016) Traditional knowledge and its transmission of wild edibles used by the Naxi in Baidi Village, northwest Yunnan province. *J Ethnobiol Ethnomed* 12(1), 10.
37. Fui F S, Saikim F H, Kulip J, Seelan JSS. (2018) Distribution and ethnomycological knowledge of wild edible mushrooms in Sabah (Northern Borneo), Malaysia. *J Trop Biol Conserv* 15, 203-222.
38. Kamalebo H M, Malale H N S W, Ndabaga C M, Degreef J, De Kesel .A (2018) Uses and importance of wild fungi: traditional knowledge from the Tshopo province in the Democratic Republic of the Congo. *J Ethnobiol Ethnomed* 14(1), 13.
39. Cortés-González JJ. (2007) Variabilidad intracultural y pérdida del conocimiento sobre el entorno natural en una comunidad zapoteca del sur de México (Nizanda, Oaxaca). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
40. Garro LC. (1986) Intracultural variation in folk medical knowledge: A comparison between curers and noncurers. *Am Anthropol* 88:351-370.
41. Godoy R, Reyes-García V, Broesch J, Fitzpatrick I C, Giovannini P et al. (2009) Long-term (secular) change of ethnobotanical knowledge of useful plants: separating cohort and age effects. *J Anthropol Res* 65(1), 51-67.
42. Carrière S M, Sabinot C, Pagezy H. (2017) Children's Ecological knowledge: drawings as a tool for ethnoecologists (Gabon, Madagascar) *AnthropoChildren*.
43. Tian X. (2017) Ethnobotanical knowledge acquisition during daily chores: the firewood collection of pastoral Maasai girls in Southern Kenya *J Ethnobiol Ethnomed* 13(1), 2.
44. Shenton J, Ross N, Kohut M, Waxman S. (2011) Maya Folk Botany and Knowledge Devolution: Modernization and Intra-Community Variability in the Acquisition of Folkbotanical Knowledge. *Ethos* 39 (3), 349-367.
45. Demps K, Zorondo-Rodríguez F, García C, Reyes-García V. (2012) Social learning across the lifecycle: cultural knowledge acquisition for honey collection among the Jenu Kuruba, India. *Evol Hum Behav* 33(5), 460-470.
46. Quinlan M B, Quinlan R J, Council S K, Roulette J W. (2016) Children's acquisition of ethnobotanical knowledge in a Caribbean horticultural village. *J Ethnobiol*, 36(2), 433-457.
47. Eyssartier C, Ladio AH, Lozada M. (2008) Cultural Transmission of Traditional Knowledge in two populations of North-western Patagonia. *Jour Ethnobiol Ethnomed* 4(25):1 -8.
48. Berkes F, Turner N. (2006) Knowledge, Learning and the Resilience of Social-Ecological Systems. *Hum Ecol* 34:479-494.
49. Gómez-Baggethun E, Reyes-García V. (2013) Reinterpreting change in traditional ecological knowledge. *Hum Ecol* 41(4), 643-647.



50. Ladio AH, Lozada M. (2003) Comparison of wildedible plant diversity and foraging strategies in two aboriginal communities of northwestern Patagonia. *Biodivers Conserv* 12:937-951.
51. Bonilla-Moheno M, García-Frapolli E. (2012) Conservation in context: a comparison of conservation perspectives in a Mexican protected area. *Sustainability* 4(9), 2317-2333.
52. Reyes-García V, Paneque-Gálvez J, Luz A C, Gueze M, Macía M J et al. (2014) Cultural change and traditional ecological knowledge. An empirical analysis from the Tsimané' in the Bolivian Amazon. *Hum Organ* 73(2), 162

➤ **Capítulo 3**

**CONOCIMIENTO TRADICIONAL INDÍGENA SOBRE HONGOS  
SILVESTRES COMESTIBLES: RELEVANCIA CULTURAL, PRÁCTICAS  
DE RECOLECCIÓN Y FACTORES QUE CONDUCEN A CAMBIOS EN  
SU ABUNDANCIA EN EL CENTRO DE MÉXICO**

**Indigenous Traditional Knowledge on Wild Edible Mushrooms:  
Cultural Significance, Extraction Practices and factors leading to  
changes in their abundance in Central Mexico.**

**Artículo aceptado por Journal of Ethnobiology 2023**



## **Indigenous Traditional Knowledge on Wild Edible Mushrooms: Cultural Significance, Extraction Practices and factors leading to changes in their abundance in Central Mexico**

Bello-Cervantes Eribel<sup>1\*</sup>, Trejo Irma<sup>2</sup>, Figueroa Fernanda<sup>3</sup>, Cifuentes Blanco Joaquín<sup>4</sup>

1 Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 04510, Ciudad de México.

2 Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

3 Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

4 Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*Corresponding author ([lebire\\_320@hotmail.com](mailto:lebire_320@hotmail.com))

### **Abstract**

Wild edible mushrooms (WEM) constitute a relevant component of indigenous cultures worldwide; their use is part of forest management practices that promote conservation by local communities. However, global biocultural diversity is threatened by socioeconomic, political, and cultural changes. Through participatory research, this study analyzes the cultural significance of selected mushroom species, local traditional knowledge about conditions and processes affecting WEM communities, and traditional practices employed in their extraction in an indigenous community in Central Mexico. We carried out ethnomycological hikes and participatory mapping to characterize collection sites and conducted semi structured interviews with people from diverse socio-economic backgrounds about the importance of WEM, extraction and conservation sustainable practices, and anthropogenic and environmental factors affecting them. Fifty species of WEM were registered. We developed an index of the cultural importance of WEM that led us

to establish the species of highest cultural relevance. Vegetation type, rainfall, soil composition, selected logging by outsiders, fires and the use of traditional harvesting techniques were recognized as factors affecting mushroom production. Traditional harvesting techniques locally perceived as adequate include leaving part of the stipe in place, collecting only mushrooms of large size while leaving those of smaller size, and cleaning and shaking them at the place of collection. Results suggest that the prevalence of biocultural knowledge about WEM is influenced by age, main economic activity, and household's distance to the forest. Integrating traditional knowledge and the community context by combining ethnographic and quantitative methods, resulted in a complementary approach to spatial, temporal, and environmental characterization of mushroom collection sites; it also allowed understanding factors influencing WEM cultural significance, and traditional local knowledge of WEM communities and their management.

**Keywords:** biocultural heritage, cultural significance, ethnomycology, forest use, indigenous knowledge participatory research.

## Introduction

Conifer and oak forests are the second most extensive vegetation types in Mexico and are recognized by their high biodiversity, ecological complexity, and socioenvironmental importance (Carabias et al. 2010; ONU 2011). They provide timber and fuel, food and medicinal resources. They also support soil fertility, regulate microclimatic conditions, and sustain hydrological regimes (Körner and Ohsawa 2006). Worldwide, about 350 million people, particularly indigenous communities, live in forests and depend on them for their subsistence (Suleiman et al. 2017, World Bank 2020). Non-timber forest products (NTFPs) are a relevant component of forest peoples' livelihoods as they contribute to food security when other resources are scarce. Moreover, their extraction may be part of sustainable strategies to improve socioeconomic conditions of communities (Lepcha et al. 2019; Raj et al. 2018).

Forest communities depend upon forest resources and have developed strong biocultural relationships throughout time. These relationships involve the use, care and foster of diverse species used for food, fuel, and spiritual purposes, among others; they are founded on a large and diverse cultural heritage of traditional knowledge and practices (Toledo and Barrera 2008). This abundant heritage of traditional ecological knowledge (TEK) is the result of historical socio-natural relations between indigenous and rural communities and their environments. These are complex systems encompassing knowledge, practices, and meanings shared and transmitted from one generation to another, and shaped by the socio-natural realities of each community, that allow individuals and communities to survive over time without degrading their environment (Quinlan and Quinlan 2007; Reyes-García et al. 2013; Saynes-Vásquez et al. 2013). In rural areas, TEK is key in the configuration of peoples' livelihoods (Sharma et al. 2018).

Biological and cultural diversity are interdependent and geographically overlapped (Boege 2008; Challenger 2003; Maffi 2005). For some authors, the conservation of the world's biological

diversity depends largely on the permanence of indigenous communities, and on the maintenance of their knowledge and practices systems that support the management, use, and protection of diverse ecosystems (Toledo and Barrera 2008). The responsible use of NTFPs by local communities, particularly of mushrooms, may have a key role on temperate forest conservation (Boa 2004; Lovrić et al. 2020). However, socioeconomic, cultural, and political changes worldwide have transformed the local use of natural resources and induced the erosion of TEK, threatening biocultural diversity (Aswani et al. 2018; Reyes-García et al. 2013, 2014). But TEK is dynamic and may also be shaped by -and shape- environmental and socioeconomic processes (Gómez-Baggethun and Reyes-García 2013), not necessarily leading to loss, but to adaptation for survival (Trung et al. 2007).

Within each household, TEK is shared and protected through social interactions among family members. Therefore, there can be variations in TEK depending on gender, age, and the household's labor division. At a broader scale, knowledge shared collectively also varies among families, communities, and territories, as is shaped by sociocultural identity (Boege 2008; Saynes-Vásquez et al. 2013).

Since pre-Columbian times, mushrooms have been a prominent element in indigenous culture (Guzmán 2016). Today, they still stand out among NTFPs given their importance as a forest resource for communities (Montoya et al. 2004; Tomao et al. 2017). Mushrooms are also a fundamental component of biodiversity, performing key roles in ecosystems functioning, and are highly susceptible to changes in forest growth and productivity (Egli et al. 2010).

Studies about traditional mycological knowledge (TMK) show that knowledge is heterogeneously distributed within communities. Differences have been linked to factors such as age and gender. Commonly young people know fewer mushroom types and their uses (Bello-Cervantes et al. 2019b; Fui et al. 2018), though in some communities, mushroom extraction is a

family activity that involves children's participation (Montoya et al. 2008; Robles-García et al. 2018). Gender-related differences in the number of mushrooms and uses known or in collection strategies have also been found (Burrola-Aguilar et al. 2012; Fui et al. 2018; Garibay-Orijel et al. 2012; Kamalebo et al. 2018; Pacheco-Cobos et al. 2010; Robles-García et al. 2018).

The Matlalcuéyatl or La Malinche National Park (LMNP) is part of the main volcanic bodies of the Trans-Mexican Volcanic Cordillera. It is an isolated area representative of central Mexico, where we find coniferous and mixed forests inhabited by indigenous communities. They own their territory in the form of collectively held land tenure (ejidos) and private lands (López-Domínguez and Acosta 2004). These communities have a strong TMK heritage: to date, 93 useful mushrooms species have been registered (Montoya et al. 2004). In this region, mushrooms are used as food, tinder, cosmetic, insecticide, medicine, ornaments and for sale (Montoya et al. 2002, 2003). Various studies have highlighted the cultural significance of fungi in the region (Bello-Cervantes et al. 2019a; Montoya et al. 2003, 2004, 2012), however, the factors influencing this significance and the conservation of the fungal community have not been studied in depth.

The ecological and socioeconomic importance of wild mushrooms qualifies them as a good study model to address factors influencing TMK and fungal diversity, in collaboration with community members. This study seeks to better understand the link between people and fungi in the LMNP, the variation of TMK among different social groups within communities, and the local understanding of how environmental factors and human activities shape WEM communities. We address these elements by: 1) describing the relationship between a forest community and WEM, in the LMNP; 2) examining the cultural importance of a selected group of WEM and the factors shaping it, 3) characterizing WEM extraction sites; and 4) analyzing the influence of age, gender, occupation, and distance of household to extraction areas on intracommunity variations of traditional knowledge about factors influencing WEM communities and adequate extraction

strategies. A better understanding of these elements may contribute to the design of community-based strategies aimed conserving the fungal community and the TMK.

## Methods

### Study Area

LMNP, located in East-Central Mexico, is the fifth largest national park in the country. It is considered one of the most important isolated mountains in Mexico (Villers et al. 2006), as it provides water to most of the state of Tlaxcala and the county of Puebla (SEMARNAP 2000). LMNP forests are threatened by deforestation, forest fires and land use change, reducing water infiltration and increasing soil erosion and biodiversity loss (Marín-Castro et al. 2015; Villers-Ruiz and Trejo-Vázquez 2004).

San Pedro Tlalcuapan (SPT) is one of the 66 communities located within the LMNP. It is a Nahua community, formed as a result of indigenous people's displacements after the Spaniard Conquest. It belongs to the Chiautempan municipality (state of Tlaxcala, Mexico) and is located in the northeastern part of the LMNP (19° 16' 50.02 "N, 98° 09' 06.30" W). Approximately 50% of the SPL territory is within the LMNP. As is the case for most protected areas in Mexico, land tenure granted by the Agrarian Reform is respected; yet resource use is restricted by the park's environmental regulations. The territory of SPT is a complex mixture of tenure types: ejido, agrarian community and small private property. However, community decisions are made by all in a general assembly. Despite its proximity to the city and its easy access by road, SPT has preserved its traditions and collective indigenous organization. SPT stands at 2,411 m a.s.l., and is characterized by subhumid temperate climate, with a mean annual precipitation of 901 mm, and mean annual temperature of 15.7 °C. Conifer forests (*Abies* and *Pinus*) and mixed forests (*Pinus-Quercus* and *Quercus-Pinus*) in varying degrees of conservation are the predominant vegetation



types; also, important are induced land uses, as pasturelands and seasonal agriculture (INEGI 2020). SPT spans over an area of 1,162 ha; from which *ca.* 600 ha correspond to forest and crop cover, while the remaining area corresponds to the settlement. Traditionally, community inhabitants divide the settlement in three zones, determined by distance to the forest, which also reflect sociocultural relations: for some, people living farther from the forest and nearer to the city do not participate in community activities and ignore traditions, especially young people. For the purpose of this study and as suggested by people of the community, we used this local subdivision (Figure 1).

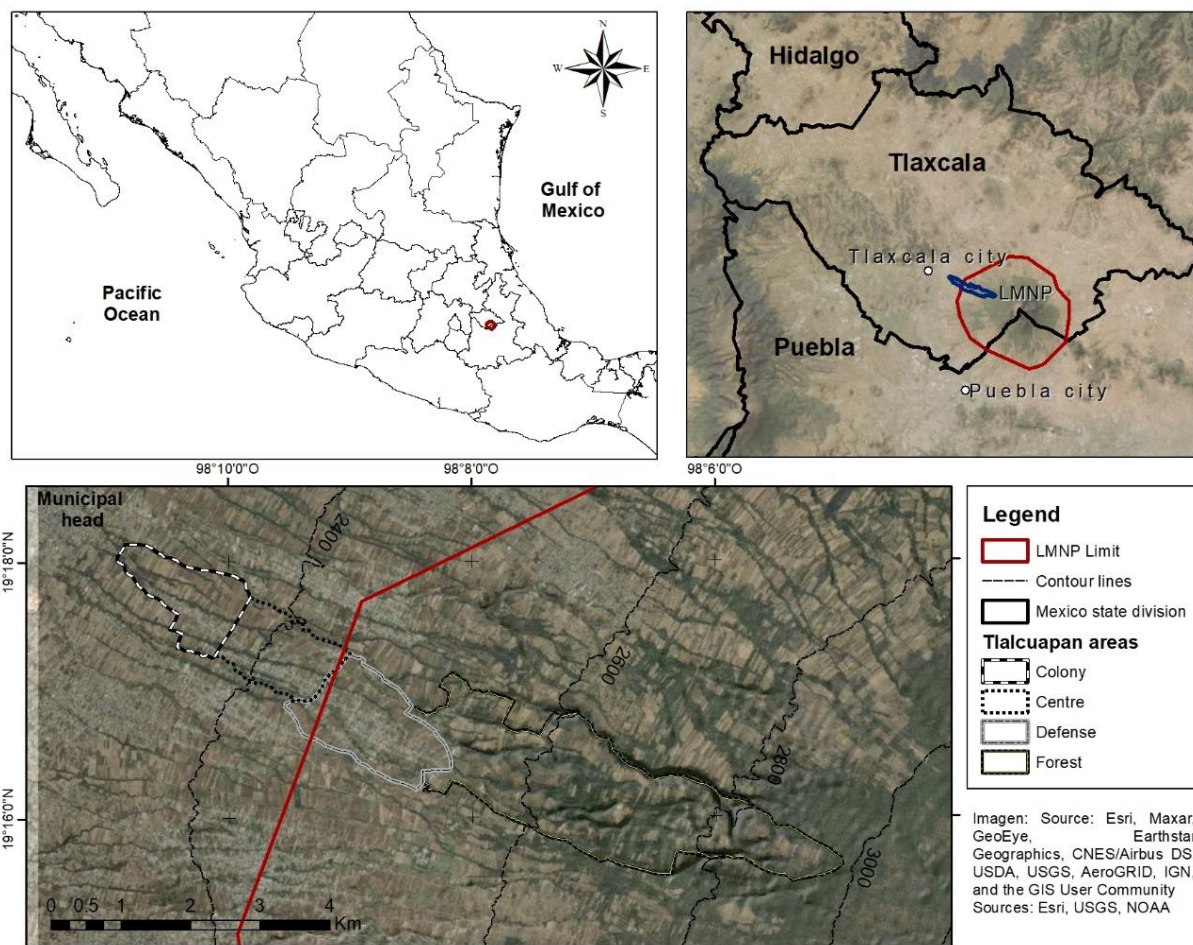


Figure 1. Location of the community of San Pedro Tlalcuapan, within the LMNP, Mexico.

Community zones (bottom image) according to their distance to forests.

STP is inhabited by 4,143 people, living in 1,046 households. Nearly a quarter of the population (23 %) is between 18 and 59 years old, while 12% are over 60 (INEGI 2020). Only 9% of the population are Nahuatl speakers (bilingual), but 78% consider themselves as indigenous people and retain sociocultural traits that support such self-identification (INEGI 2020)<sup>1</sup>. Historically, the local economy has depended on agriculture but has also strongly relied on the extraction of forests resources. These activities are shaped by the complex system of knowledge and practices that characterize local socionatural relations. Currently, local people recognize the loss of forest resources and cultural changes as possibly linked to ecosystems degradation. In response, local authorities and community members have organized in groups (Figure 2) for promoting their cultural expressions, traditional knowledge, improving their local regulatory systems and sustainability<sup>2</sup>. Various studies about the current situation and conservation of TEK have been fostered by local authorities, including the present study. As many indigenous communities in Mexico, customary rules guide people’s behavior and collective decisions are made in the community assembly. All community members have access to natural resources in the territory, which are considered part of the common good. Assembly decisions regarding these resources must be respected by all.



Figure 2. Organized community group in San Pedro Tlalcuapan. Photograph: Bello-Cervantes.

## **Procedure**

We guided our investigation by an accepted ethics code (Villamar et al. 2018). This project belongs to a larger community project designed with community authorities and people from organized groups; however, specific actions were explained to them in various meetings, and we requested their approval before starting. We also obtained the informed consent of each participant. During the rainy seasons (May-October) of 2017 and 2018, we carried out 25 ethnomycological walks accompanied by collectors of wild mushrooms (“*hongueros*”; people locally recognized as having ample knowledge about mushrooms; Montoya et al. 2002). Through these walks we learned how they locate mushrooms, their local names, the places where they grow and their characteristics. We collected specimens, dried them and identified them with taxonomic keys and experts opinion (Cifuentes et al. 1986). Participant observation involving walks, collection of mushrooms and food preparation allowed us a greater understanding of the relationship between the local population, forests and mushrooms (Figure 3). Collection sites were georeferenced, and fungi monitored throughout the study period (Bello-Cervantes, 2023 in prep.). Sites were always accessed with the permission of authorities and accompanied by local people.





Figure 3. Participation with people from the community in collecting mushrooms and preparing mushroom foods. A) Visiting a monera in Tlalcuapan (territorial limit), after collecting mushrooms with lady Tomasita, sons and friends in the Pinus-Quercus forest. B) Cooking the mushrooms collected with lady Mau and family. Photograph: Bello-Cervantes.

### **Interviews and Cultural Significance Index of Edible Mushrooms**

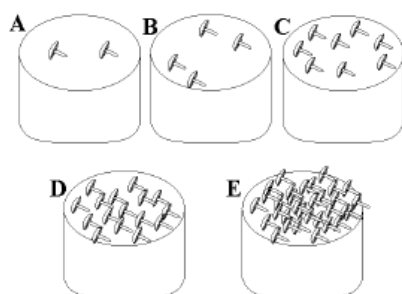
A semi-structured interview was designed (Alexiades 1996) and applied to 134 local inhabitants of ages ranging from 8 to 90 yr. old, 63 of which were women, and 71 men. Interviews included the following: a) personal information; b) free listing of mushrooms, they were asked to name at least 20 edible mushrooms; c) conservation and traditional extraction practices of mushrooms, as well as anthropogenic and environmental factors that affect them (Supplementary document 1). Interviews were always individual and conducted in Spanish by the first author, who is also a local inhabitant, during 2017 and 2018, in interviewees' households. Interviewees were suggested by community authorities and members of organized groups, with the intention of including the

*hongueros* and people representing different ages, living along the three community zones, and involved in diverse occupations (Supplementary Table 1).

From the list of 20 mushrooms obtained from each interview, we constructed an ordinal species list based on the frequency of mention. The 10 most mentioned mushrooms were selected to assess their cultural relevance through the Edible Mushroom Cultural Significance Index (EMCSI), proposed by Garibay-Orijel et al. (2007), modified by Peña-Cañón and Enao-Mejía (2014), and also by us for this study.

The EMCSI provides a general idea of the role of edible mushrooms in the community, and is composed by nine subindexes (Table 1). Based on the version of Garibay-Orijel et al. (2007), we modified the *Multifunctional Food subindex* to improve its ability to reflect the diversity of mushrooms uses in food preparation and their role in different dishes (as main or complementary ingredient; Table 1). The EMCSI calculation was based only in information provided by interviewees that knew the species considered. The information used to construct each subindex was obtained and categorized from a questionnaire of multiple choice questions (Table 1); since not all interviewees are familiar with these instruments, we read the questions and possible answers for them. Subindexes have values from 0 to 10 and have the same weight in the calculation of the EMCSI; the total value of each subindex represents the average value obtained from all interviewees for each species. The total value of the EMCSI is the sum of subindexes.

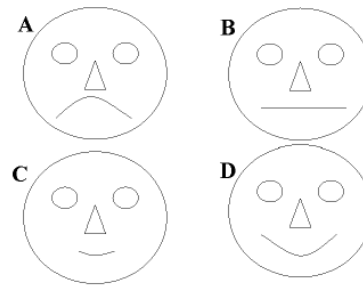
Table 1. Categories and values assigned to each subindex to construct the Edible Mushroom Cultural Significance Index (EMCSI), modified by us from (Garibay-Orijel et al. 2007). Data obtained from a survey applied to SPT experts on edible mushrooms.

Subindex	Subindex meaning	Answers	Assigned value
<b>QI.</b> Frequency of mention subindex.	Relative number of mentions. $QI = (N^\circ \text{ of mentions of the species} / N^\circ \text{ total of informants}) * 10$	The questionnaire was only applied to informants who knew these species; therefore $QI=10$ .	10
<b>PAI.</b> Perceived Abundance Subindex	Perceived resource availability. It is determined with the aid of drawings; greater value is assigned to greater abundance.		<p>A=0</p> <p>B=2.5</p> <p>C=5</p> <p>D=7.5</p> <p>E=10</p>
<b>FUI.</b> Frequency of Use Subindex	Frequency of consumption of the species during a year.	<p>The interviewee consumes the species:</p> <p>A) Never</p> <p>B) Not yearly</p> <p>C) Once a year</p> <p>D) Two or three times per year</p> <p>E) Four or more times per year</p>	<p>A=0</p> <p>B=2.5</p> <p>C=5</p> <p>D=7.5</p> <p>E=10</p>

**TSAL.** Flavor Score  
Appreciation Subindex

Flavor appreciation of each species. It is determined with the aid of drawings.

How much do you like species i?



A=0  
B=3.33  
C=6.67  
D=10

**MFFI.** Multifunctional  
Food Subindex

Diversity of ways in which each species is consumed, and its role as main element (as opposed to complementary) in dishes. Values were assigned by combining both aspects:

No. of dishes where it is present:

- A) Do not know
- B) On one or two dishes
- C) Three or four dishes
- D) Five or more dishes

A = 0  
B = 1.66  
C = 3.33  
D = 5.00

MFFI= No. of dishes + No. of dishes in which it is main element

No. of dishes in which it is main element:

- 1. One to two dishes
- 2. Three to four dishes
- 3. Five or more dishes

1=1.672  
2=3.33  
3=5.00

<b>KTI.</b> Knowledge Transmission Subindex	Indicates how knowledge of the species was acquired and the involvement of transgenerational transmission.	<p>Knowledge about the species:</p> <p>A) Is newly acquired by him/herself.</p> <p>B) Was taught by an outsider.</p> <p>C) Was taught by someone from the community.</p> <p>D) Was taught by a parent, but he/she has not taught it to children.</p> <p>E) Three or more generations involved (grandparents, parents, children)</p>	<p>A=0</p> <p>B=2.5</p> <p>C=5</p> <p>D=7.5</p> <p>E=10</p>
<b>HI.</b> Health Subindex	How safe and healthy the consumption of the species is considered to be	<p>The interviewee:</p> <p>A) Avoids it, as it can be confused with a toxic mushroom</p> <p>B) Has eaten it, with negative consequences</p> <p>C) Eats it confidently and considers it healthy</p> <p>D) Eats it as a medicinal food</p>	<p>A=0</p> <p>B=3.33</p> <p>C=6.67</p> <p>D=10</p>
<b>IE.</b> Economic Subindex	Frequency of market transactions and market value of the species	<p>The interviewee</p> <p>A) Does not sell or purchase</p> <p>B) Sells or purchases occasionally at low prices</p> <p>C) Sells or purchases regularly at considerable prices</p> <p>D) Sells or purchases at high prices</p>	<p>A = 0</p> <p>B = 3.33</p> <p>C = 6.67</p> <p>D = 10</p>



<b>LNI.</b> Local	Based on the names of mushrooms	A) Without name	A= 0
Nomenclature subindex	registered during the research. Categories are ordered in a logical sequence from those linked to the local culture, to those recently-introduced Spanish names. When a species was found to be placed in several categories, the category with the highest value was selected.	B) Name in Spanish related to another object	B=1
		C) Name in Spanish, shared with more species.	C=2
		D) Name in Spanish for genus or higher taxa	D=3
		E) Specific or variety (binomial) name in Spanish	E=4
		F) Spanish and indigenous name	F=5
		G) Indigenous name with relation to another object	G=6
		H) Indigenous name shared with other species	H=7
		I) Indigenous name for genus or higher taxa	I=8
		J) Specific or variety (binomial and trinomial) indigenous name	J=9
		K) Own indigenous name	K=10

---

The EMCSI is calculated as follows:

$$\text{EMCSI} = (\text{PAI} + \text{FUI} + \text{TSAI} + \text{MFFI} + \text{KTI} + \text{HI} + \text{IE} + \text{LNI}) \text{ QI}$$

Given that the EMCSI was based on information provided by people who knew these species, *QI* value was always 10. It does not reflect variation among species, but it was retained in the EMCSI calculation for it to be comparable with other studies.

### **Community participatory mapping**

To explore the community knowledge about both their territory and mushroom extraction sites, we implemented three participatory workshops. Fifteen adult people of different ages (six men and nine women), suggested by community authorities and organized groups working on the preservation of biocultural heritage, were invited. It was sought to include *hongueros*, community authorities and people knowledgeable about the territory. The invitation was made directly in their homes. Workshops were held at community and ejido headquarters. Workshop 1, “Delimiting our territory”, was designed to recognize the territory of SPT. A satellite image printout was used to identify the territory limits, as well as relevant landmarks (Fig. 4a), given that there is no official map of the community. The objective of Workshop 2, “Mushrooms extraction sites”, was for participants to spatially locate and characterize places where the community collects edible mushrooms. Two teams were formed: the first identified collection sites on a satellite image, while the second drew sketches of these sites on cardboard. The most important collection sites were identified and characterized by participants. Characterization included vegetation type, the conservation state of the forest, soil characteristics, climate and human activities present (Fig.4b). The objective of Workshop 3, “Where do mushrooms live?”, was for participants to identify mushroom species by observing images and to locate their growing sites. Participants placed small pictures of specimens on the corresponding sites on the map and illustrated the vegetation characteristic of each site (Fig. 4c).



Figure 4. Workshops of participatory mapping implemented in San Pedro Tlalcuapan. Photograph: Ramírez-López.

### Data Analysis

Subindexes that have more influence in the cultural importance of mushrooms were determined by grouping and ordination techniques (Legendre and Legendre 2012). Based on a matrix of species and cultural importance subindexes, Euclidean distances between species were calculated and an aggregation analysis was applied to identify species grouping (i.e., groups of fungi with similar subindexes values). Also, a Principal Component Analysis (PCA) was performed to identify which subindexes determine

similarities and differences among fungi groups, and if some specific subindexes have a more relevant role in shaping cultural importance.

On the other hand, factors perceived by interviewees to influence the WEM community were classified into four categories: vegetation type, climate, soil characteristics and human activities. These factors and the harvest strategies regarded as adequate for the conservation of WEM and used by collectors, were coded, standardized, and analyzed through analytical and descriptive statistics. The variation of knowledge about WEM within the community was evaluated using Chi<sup>2</sup>; we used interviewees' age, occupation, gender, and household location as categories. All analysis were carried in R (R Core Team 2016).

## Results

### Collection, use, and management of Wild Edible Mushrooms

In SPT, people use 42 common Spanish and 36 common Nahuatl names for mushrooms. “*Nanacatl*” is the term used for mushrooms. Forty-six ethnotaxa were identified, corresponding to 51 species (Supplementary, Table 2). The most frequently mentioned mushrooms, by over half the interviewees, were *tecax* (*Russula* complex. *delica*), *ayoxochitl* (*Amanita basii*), *pante* (*Boletus* complex. *edulis*), *escobeta* (*Ramaria* spp.) and *xolete de chambusquina* (*Hebeloma* aff. *mesophaeum*, Figure 5). Conversely, *llanero de monte* (*Agaricus* sp.), *acocote* (*Clavariadelphus* sp.) and *xolete de ocote* (*Pholiota lenta*) were mentioned only once.



Figure 5. Mushrooms mentioned by more than half of the interviewees. A) *Tecax* (*Russula* complex. *delica*), b) *Ayoxochitl* (*Amanita basii*), c) *Xelhuas* (*Ramaria* spp.), d) *Pante* (*Boletus* complex. *edulis*), e) *Xoletl* (*Hebeloma* aff. *mesophaeum*). Photograph: Bello-Cervantes.

SPT population collect mushrooms mainly for subsistence purposes (75% of interviewees), although some purchase them (17%) and others do not consume them (8%). Only four interviewed families collect for selling within and outside the community. The mushroom season spans from May to October, with July and August as the months of highest ethnotaxa abundance and richness, according to interviewees. Abundance differs among taxa throughout the season.



During the season, people consume mushrooms, on average, twice a week, and invest an average of 48 days a year ( $\sigma = 1.4$ ) in WEM extraction. Nearly all interviewees (93%) and their families walk to the forest to collect mushrooms at least once a week investing 5 - 12 hours in this activity. Generally, the harvest is carried out in community forests but occasionally also outside its limits. Collecting mushrooms is a family activity and complement other economic activities carried out in forest areas, such as attending crops and collecting firewood, medicinal plants, or wild fruits (Figure 6). Visits to the forest also include recreative activities, such as going for a walk or a picnic.



Figure 6. Harvesting mushrooms: family activity and complementary to other activities. A) Nahua family (mother and children) beginning the walk to collect mushrooms in the *Pinus* forest. B) Honguera with *Boletus* sp. and bouquet of medicinal plants in *Pinus* forest. Photograph: Bello-Cervantes.

Community members recognized that mushrooms fulfill diverse functions in the forest. For example, they consider that mushrooms serve as fertilizer for trees and disintegrators of matter, provide seeds for more mushrooms in the following seasons, and are food for animals. But in terms of the declared importance, mushrooms are firstly recognized as a food source, for their role in the forest (ecological importance) and their economic importance (commerce) (Figure 7).

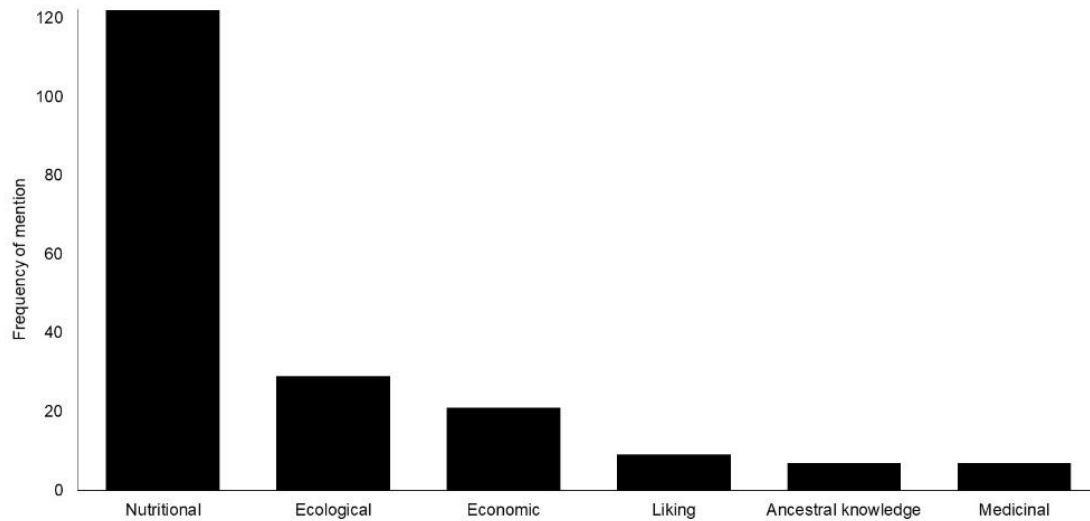


Figure 7. Importance of wild mushrooms for community members of San Pedro Tlalcuapan.

### Edible Mushroom Cultural Significance Index (EMCSI)

The variation of the EMCSI subindexes with respect to the 10 most mentioned fungi is described below.

1. Perceived abundance subindex. Mushrooms perceived as highly abundant ( $IAP \geq 7.5$ ) were *Russula complex. delica*, *Cantharellus aff. cibarius*, *Laccaria trichodermophora* and *Hebeloma aff. mesophaeum*. Contrarily, *Amanita basii* was perceived as scarce ( $IAP \leq 2.5$ ).

2. Frequency of use subindex. Most mushrooms studied are consumed twice a year or more ( $FUI \geq 5$ ). *R. delica* is consumed four or more times a year by more than 50% of the respondents, while *Turbinellus floccosus* is consumed only once a year or less.

3. Flavor score appreciation subindex. Most interviewees enjoy mushrooms' taste; thus, this subindex had generally high values. *Hebeloma aff. mesophaeum* scored highest ( $IS = 9.5$ ), while *Suillus pseudobrevipes* scored the lowest ( $IS = 6.67$ ).

4. Multifunctional food subindex. Seventeen different food preparations based on mushrooms were identified. *R. complex. delica*, *H. aff. mesophaeum* and *Ramaria spp.* are used to prepare five different

dishes (MFFI= 8.33), whereas the rest are the base for 3 or 4 dishes. Mushrooms are mostly consumed as the main ingredient, commonly prepared roasted or fried with sliced chili and onion. *Laccaria trichodermophora*, *Cantharellus* aff. *cibarius*, *Lyophyllum* aff. *decastes* and *T. floccosus* are consumed in combination with other mushrooms and ingredients, but generally not with meat. The first two species are usually cooked with recently harvested beans, while *Lyophyllum* aff. *decastes* is used to prepare *tamales*, substituting meat. *A. basii* also substitutes meat in preparations like chicken soup. Most interviewees (98%) mentioned the use of most mushrooms in a traditional sauce made with corn dough, called *Texmole*.

5. Knowledge transmission subindex. This subindex shows the highest values. The studied mushrooms are part of traditional knowledge in SPT and for most of them, this knowledge can be traced back through three or more generations; yet knowledge is no longer transmitted to children for species like *Turbinellus floccosus* and *Lyophyllum* aff. *decastes* (KTI= 8.5).

6. Health subindex. Most analyzed mushrooms are considered “nutritious”, “healthy” or “good for your body”. For example, for one interviewee, *Cantharellus* aff. *cibarius* provides strength. No one expressed fear of eating mushrooms or the idea of them being harmful, but some indicated that, after eating them, one should avoid getting angry; otherwise, one would get intense stomach aches.

7. Economic subindex. Mushrooms are mostly collected in the forest and usually not bought, as expressed by the low values of this subindex; however, a large variation is observed in the data (Supplementary Table 3). *Turbinellus floccosus* and *Amanita basii* are the exception (IE=4.17 and 4.50 respectively), since they are sold at an elevated price (\$8.67- \$10.62 USD per kg; \$1 USD = \$20.7 MXN). Others are seldom sold, but if sold, have a low price (\$3.86-\$5.79 USD per kg), like *Suillus pseudobrevipes*.

8. Local nomenclature subindex. This subindex uses the nomenclature to explore the relationship that the 10 selected fungi have had over time with the local culture. Four of these 10-mushrooms are designated by indigenous terms which are species-specific (LNI=10): *L. trichodermophora* (*xoxocoyuli*),



*L. aff. decastes* (*tzenzo*), *C. aff. cibarius* (*tecosa*) and *H. aff. mesophaeum* (*xolete*). Sometimes, the terms refer to broader categories or a genus, such as *escobeta* or *xelhuas* (LNI=8), which refer to the branch macromycetes. Traits like color and habitat are also used to distinguish species. *A. basii*, *B. complex. edulis* and *T. floccosus* (LNI=6) are designated by an indigenous term that is also used to name other objects, e.g., the term *ayoxochitl* refers also to zucchini flowers.

*H. aff. mesophaeum* showed the highest cultural relevance (EMCSI=627.47), followed by *R. delica* y *C.aff. cibarius*. The lowest value was shown by *T. floccosus* (468.27). Species were separated in three clear groups by the cluster analysis. The first group was integrated by *H. aff. mesophaeum*; *L. trichodermophora* and *C. aff. cibarius*, separated from the rest at a distance of 2.41. The second group was composed by *L. aff. decastes*, *R. complex. delica* and *Ramaria* spp (distance = 3.41), which are species with the highest MFFI. The third group was constituted by *S. pseudobrevipes*, *T. floccosus*, *A.basii* and *B. complex. edulis*, and was separated from the rest at a distance of 4.8 (Figure 8a).

Table 2. Subindexes values and cultural significance index.

Species	Sub-indexes values									EMCSI
	PAI	FUI	TSAI	MFFI	KTI	HI	IE	LNI	QI	
<i>Russula</i> complex. <i>delica</i>	7.5	9.4	8.3	8.3	8.9	7.2	2.8	8.0	10.0	604.2
<i>Amanita basii</i>	2.5	7.3	9.2	6.7	9.0	7.2	4.5	6.0	10.0	522.5
<i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i>	2.8	7.6	7.8	6.7	9.0	7.2	3.8	6.0	10.0	508.7
<i>Laccaria</i> <i>trichodermophora</i>	8.9	7.6	8.0	5.0	9.0	7.0	2.7	10.0	10.0	581.6
<i>Turbinellus</i> <i>floccosus</i>	4.0	4.5	7.5	5.0	8.5	7.2	4.2	6.0	10.0	468.3
<i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i>	6.6	7.0	8.0	8.3	8.5	7.0	3.8	10.0	10.0	592.9

<i>Ramaria</i> spp.	6.0	7.6	7.0	8.0	9.0	7.0	2.7	8.0	10.0	553
<i>Cantharellus</i> aff. <i>cibarius</i>	8.0	8.5	8.8	5	9.0	7.2	3.5	10.0	10.0	600
<i>Suillus</i> <i>pseudobrevipes</i>	5.5	7.5	6.7	5.0	9.0	7.0	2.5	5.0	10.0	481.6
<i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i>	9.0	7.9	9.5	6.7	8.9	7.5	3.3	10.0	10.0	627.5

PCA allowed to visualize the variation of subindices and to infer those that group some species. The results are consistent in the conformation of the first two groups; a third group was also formed but subdivided into two subgroups (Figure 8b). The first two components explain 65% and 16% of total variation (eigenvalues 8.6 and 2.1, respectively); most variability is explained by the subindex of perceived abundance, followed by the local name and multifunctional food indexes. Group one is defined by the most abundant species in the region and by those designated with specific Nahuatl names. Group 2 is characterized by species used in a wide variety of dishes, while the species in Group 3 (*B. complex. edulis* y *A. basii*) are less abundant but are recognized as beneficial to health and have the highest market value, such as *T. floccosus*; this species and *S. pseudobrevipes* integrate group 4, as they are prepared in few dishes and have a low LNI.

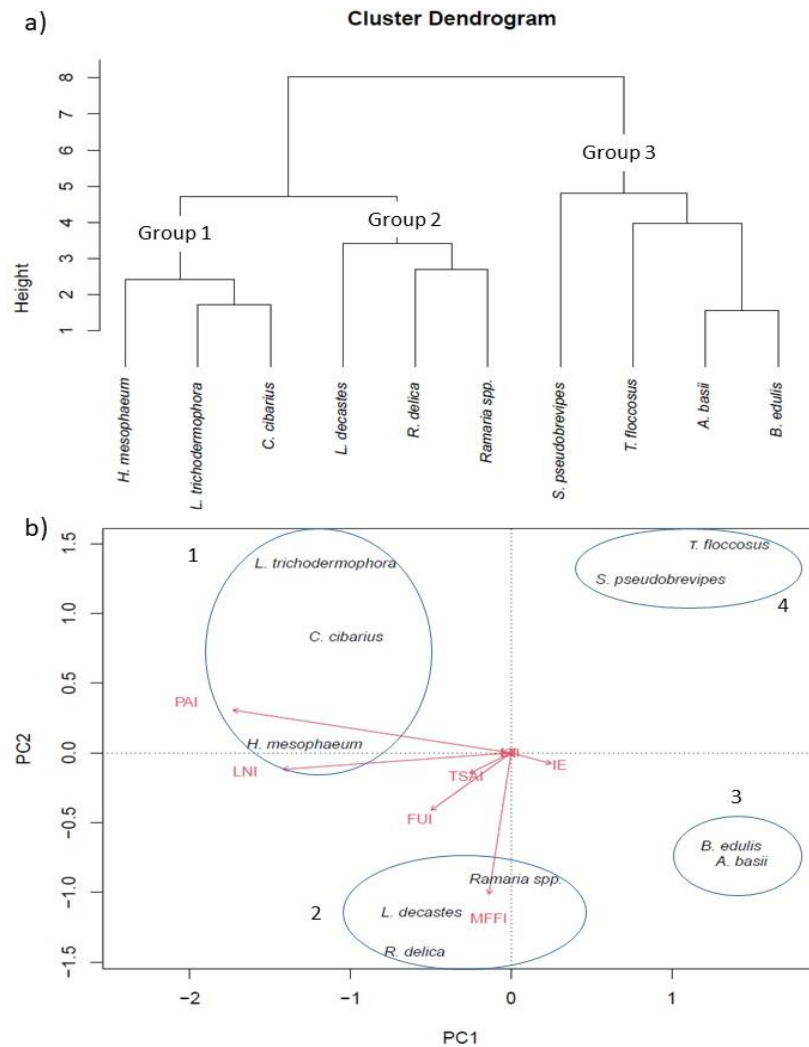


Figure 8. Similarities between wild edible mushroom species according to their cultural significance subindexes, a) Phenogram of Euclidean distances among species based on the values provided by the cultural significance subindexes. b) Component Analysis of the main edible mushrooms, based on the values of cultural significance subindexes. Groups are enclosed by ellipses.

### Traditional Knowledge on Factors Related to Collection Sites and WEM Production

Knowledge of environmental factors influencing the presence of WEM is shared in SPT. We found no differences among people according to their socioeconomic or demographic profile (gender, age, household location, and economic activity,  $p > 0.01$ ). Vegetation types, soil, and the rainy season were the more frequent recognized variables (Supplementary Table 4).

Nearly all interviewees (91%) recognize a relationship between trees and mushrooms and identify six main vegetation cover types in which mushrooms occur: pine forest (*Pinus* spp.), oak forest (*Quercus* spp.), places with madrones (*Arbutus xalapensis*), grasslands (*Stipa ichu*), fir forest (*Abies*) and croplands. According to interviewees, pine forests harbor the highest species richness while only one species (*Chroogomphus jamaicensis*) was mentioned as present in sites where madrone trees grow (Figure 9).

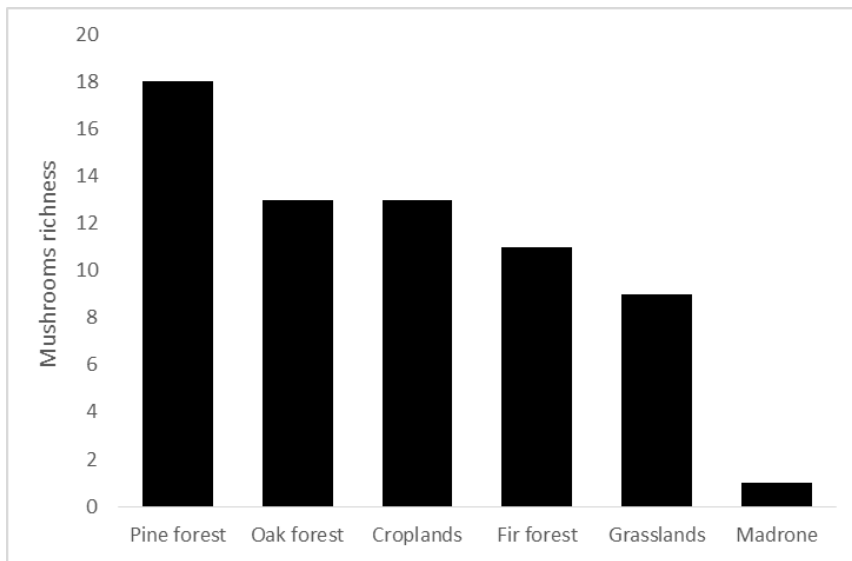


Figure 9. Mushrooms richness by vegetation type, according to the people interviewed in the community. Through participatory mapping, collaborators identified elements relevant for them in their territory: its limits, churches, schools, main roads, community and *ejido* areas, and “*jagüeyes*” (artificial or natural water bodies). Also, sacred sites which bear biocultural importance and are named in Nahuatl (Figure 10a). This exercise led the participants to identify 21 mushroom collection sites, 13 of which were catalogued by them as those of high diversity. Also, areas characterized by certain tree species were located; these coincided with categories registered in interviews: pine, oak, madrone, grassland and fir (Figure 10b). Participants recognize that *Pinus* forest covers most of the territory, while *Quercus* forest is

found mostly in ravines in low-altitude areas, and *Abies* grows on more remote areas, at higher altitudes.

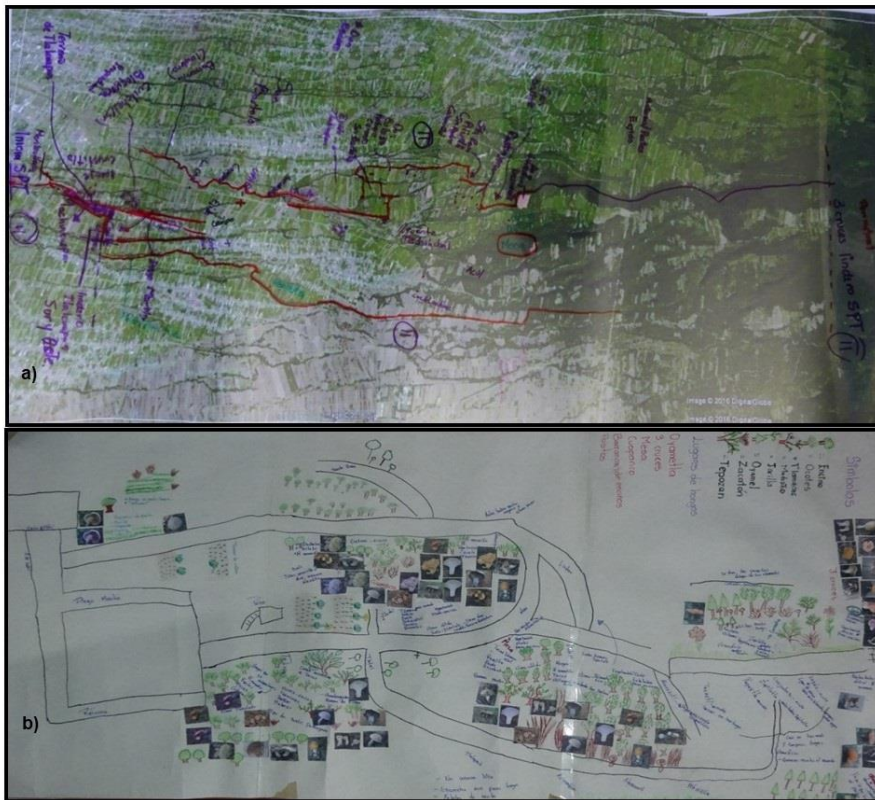


Figure 10. Maps of the territory of San Pedro Tlalcuapan, built through participatory workshops. a) Map of limits and important places in the territory. b) Final map resulting from the workshop “Where do mushrooms live?”.

Most participants recognize that rain determines the presence of mushrooms, but they also mentioned that sunny days or sunny mornings with rainy afternoons are also needed, so that “the earth is warmed up” (Table 3). Among important environmental characteristics of good collection sites are the color and texture of soils (*i.e.*, yellow, brown, black, limestone, sandy, porous, rocky, and hard) (Supplementary Table 5). Humid, less compacted soils with abundant leaf litter are depicted as characteristic of sites with highest abundances: “in moist soil with ocoxal or oak compost is where fungi grow [...but on] very trampled soils, they stop growing” (Table 3).

Table 3. Mention frequency of environmental factors that favor the presence of mushrooms.

<b>Abiotic factors</b>	<b>Favorable characteristics</b>	<b>Frequency</b>
Weather	Frequent rain	132
	Presence of sun and rain during rainy season	31
	Cloudy days	6
	Warm weather	1
Soil	Soil with abundant fertilizer	76
	Humid soil	32
	Any soil in the bush	31
	Not-compacted soils	22
	Limestone	5

Human activities common in collection sites include agriculture, selective logging, and forest fires. The last two are perceived as more negative for the presence of mushrooms. Yet, for 33% of interviewees, forest fires benefit and induce the presence of *H. aff. mesophaeum*, one of the most important mushrooms for the community, while *Ustilago maydis* and *Pleurotus opuntiae* are only found in croplands.

According to maps generated in the workshops, some mushrooms (e.g. *Agaricus campestris*, *Calvatia cyathiformis*) are only found in abandoned croplands near the town; others (e.g., *Ramaria* spp., *Lyophyllum* aff. *decastes*) are specific to the *Quercus* forests in ravines at low and mid-altitude areas (Figure 7b). The highest species richness is found in *Pinus* forest sites within (and even slightly out of) the community territory, while mushrooms such as *Turbinellus floccosus*, *Auricularia auricula-judae* and *Lactarius salmonicolor* are collected in an *Abies* forest site outside the community territory.

## **Traditional Knowledge on Threats to the WEM Community and Strategies of Extraction**

### *Threats to the WEM Community*

Most interviewees (92%) detect a reduction in tree abundance and an increase of littering in forests. They also perceive a decrease in mushroom's richness and abundance in the last decade, although some of the

older people (5%) mentioned an increase of *Hypomyces* abundance. Changes in the WEM community are attributed to selective logging, forest fires, population growth combined with people applying inadequate extraction techniques and changes in local climate. These perceptions were similar among people of different gender and household location, but there were significantly distinct among people of various ages and occupations. For young people, tree felling, and forest fires are more important for decreasing mushroom richness and abundance, while population growth and poor extraction techniques (as opposed to traditional strategies, see the next section) are less relevant. Contrastingly, adults and elder people consider poor extraction techniques and fires as having the largest negative effects on the WEM community. Additionally, people dedicated to primary activities (i.e., working directly on fields and forests) and housewives, consider more commonly that inadequate extraction techniques are the main cause of WEM decrease. Conversely, those engaged in secondary economic activities deem soil degradation as main negative factor, and those involved in the tertiary sector and students, consider it to be forest fires and selective logging (Table 4).

Although some of the factors perceived as detrimental for WEM communities are associated with agricultural activities developed inside forests, these activities are not considered as harmful as other factors. On one hand, agricultural lands are the foundation of food production; on the other, in interviews, workshops and walks, participants reported that various mushroom species grow in the furrows limiting agricultural plots (“*metepantle*”), and some of the most frequently mentioned species (*L. trichodermophora*, *C. aff. cibarius* and *S. pseudobrevipes*) can be found around fallen trees and in abandoned croplands.

Table 4. Frequency of mention of factors that negatively affect the WEM community by socioeconomic characteristics of respondents.

Socioeconomic characteristics		Factors					Chi-square
		Fire	Population growth-inadequate extraction techniques*	Tree removal	Diminishing rains	Soil degradation	
Gender	Male	19	12	20	7	12	3.396
	Female	20	18	13	7	8	p=0.49
Age range	Youth	16	2	16	4	5	19.411
	Adults	10	10	9	7	7	p=
	Elderly	13	18	8	3	8	0.01
Distance to forest	Near	16	14	7	6	5	8.691
	Mid-distance	12	8	12	5	5	p=0.36
	Far away	11	8	14	3	10	
Economic activity	Primary	4	8	2	4	1	29.251
	Secondary	1	0	1	1	3	p=
	Tertiary	11	8	9	3	6	0.01
	Student	13	1	13	4	5	
	Home	10	12	8	2	3	

\* Respondents mentioned that both the increase in the population harvesting mushrooms and the inadequate collection techniques used by these people are affecting the WEM community; therefore, both factors are combined

### *Local Mushrooms Harvesting Strategies*

In SPT, inadequate extraction practices are perceived as one of the main threats to the WEM community; thus, the knowledge about adequate techniques is central for its maintenance. For elder people, there are three main strategies of adequate management currently implemented. The one most practiced by collectors is to leave part of the stipe in place; the second involves collecting only some of the mushrooms



while and leaving the smaller ones; and the third is to clean and shake them in the place of collection, promoting spores dispersal (Figure 11).



Figure 11. Traditional collection techniques. A) Nahua man cleaning a *Ramaria* sp. in the *Quercus* forest. B) Young man removing part of the stipe of fungi of the genus *Laccaria*. C) Children selecting the largest *Hebeloma* fungi in the burned area. D) Lady showing her grandson the proper cleaning of *Boletus* fungus, after harvesting

Only 42% of interviewees carry out these practices. There is significant variation in their use, depending on the distance of home to forest. Adequate mushroom extraction techniques are more widely practiced by those living closer to the forest than those living further. Although there were no significant differences in the techniques used with respect to other socioeconomic traits, almost half of older people, and of those dedicated to primary activities and housework practice them, in contrast with young people and those engaged in secondary and tertiary activities (Table 5).

Table 5. Association of socioeconomic characteristics of collectors and the use of traditional techniques for mushroom collection.

Socioeconomic characteristics		Traditional extraction techniques				Chi-square
		Leaving part of the mushroom	Leaving some mushrooms	Cleaning mushrooms in the field	No management practice used	
Gender	Male	28	2	6	39	2.016 (p=0.58)
	Female	22	2	2	39	
Age range	Young	14	0	2	30	9.979 (p=0.12)
	Adult	17	4	3	23	
	Elderly	19	0	3	25	
Distance to forest *	Near	27	1	7	13	32.763 (p=0.00)
	Mid-distance	15	2	1	29	
	Far away	8	1	0	36	
Economic activity	Primary	11	1	1	4	16.904 (p=0.14)
	Secondary	2	0	2	5	
	Tertiary	8	2	1	20	
	Student	14	0	2	25	
	Housewife	14	1	2	20	

*Local Proposals for the Protection of WEM*

The changes in the presence and abundance of WEM observed by community members have led to the local construction conservation proposals. These include avoiding forest fires and selective logging, and enforcing sanctions for these activities; also, adequate management of solid wastes, using traditional management techniques, implementing reforestation and soil conservation practices, and promoting the protection of forests among young people. There are different perspectives about these possible strategies among community members (e.g., fire suppression), but reaching agreements is the next step envisaged by them.

Socio-economic characteristics of interviewees did not influence differences in the proposed actions for mushrooms conservation. For most of them, deforestation and fires are the relevant practices to avoid. Yet, younger people made more proposals, while adults emphasized the importance of avoiding fires and applying traditional management techniques (Supplementary Table 6).

## **Discussion and Conclusions**

### **Community Relationship with Mushrooms and their Cultural Importance**

Studies have shown the paramount importance of wild mushrooms for communities located within the LMNP (Montoya et al. 2002, 2003, 2012). Interestingly, ethnomycological knowledge varies among communities, related to cultural differences. For SPT, mushrooms are a highly important biocultural resource (Bello-Cervantes et al. 2019a, 2019b). Cultural importance, as measured here by a modified version of the EMCSI, allows for the integration of several aspects of the relevance of mushrooms and is scale dependent (Pieroni 2001; Turner 1988). Results derived from the ECMSI differ from those obtained if only the frequency of mention is considered.

In this study, *R. complex delica* was always ranked among the three most important species, which is consistent with previous studies (Bello-Cervantes 2019a, 2019b). The preference in SPT for this species may be related with its high perceived abundance and frequency of use, as most abundant natural resources

are sometimes the most appreciated (Montoya et al., 2003). However, Montoya et al. (2014) identified *L. trichodermophora* and *H. aff. mesophaeum* as abundant species on the southeast and southwest slopes of the LMNP. Ecological monitoring of *R. delica* would allow understanding the relation between abundance and importance in the study area.

The frequency of use of a resource is influenced by various factors, including access and its availability (Robles-García et al. 2018). The only species consumed only occasionally in SPT (*T. floccosus*) is found in remote locations of *Abies* forests, with limited access as they are located outside the community; thus, its price is comparatively higher and then seldom consumed. Taste is also important; although all species are considered agreeable, *H. aff. mesophaeum* y *A. basii* are regarded as the tastiest, as occurs in other regions of Tlaxcala and Mexico (Alonso-Aguilar et al. 2014; Robles-García et al. 2018), while, for example, species of the *Ramaria* genus are the most appreciated in other regions of the world (Peña-Cañón and Enao-Mejía 2014).

The high cultural importance of mushrooms in SPT is expressed in their role in traditional cuisine, as main or secondary element of numerous recipes. Their preparation depends on culinary traditions, the availability of the species, the economic situation of the household, the time required to cook them, and family traditions and preferences (Garibay-Orijel et al. 2007). Also, mushrooms' spatial and temporal availability influence some preparations. Mushrooms are also consumed in SPT as they are considered healthy and nutritious. This notion is related to the idea of mushrooms as wild, growing in forests “free of pollution”, “free of chemicals” (Alonso-Aguilar et al. 2014; Robles-García et al. 2018).

Usually, cultural transmission takes place among individuals of different generations but within the same genealogy (Boesch and Tomasello 1998). Even though in SPT ethnomycological knowledge is more prevalent in some parts of the territory and in specific age groups (Bello-Cervantes et al. 2019b), indicating a possible disruption of knowledge transmission, knowledge regarding the mushrooms analyzed in this study is generally still transmitted vertically, from one generation to another. The continuing intergenerational transmission reinforces the direct relationship and dependency of the

community to the forest, since mushrooms are key to family economy and subsistence. In this regard, the market-based economic importance of mushrooms is low, as expected, since most families are involved in subsistence extraction. The exception is *T. floccosus*, with high market values.

The relation of mushrooms to the local cultural history may be explored through the ethnobiological nomenclature. Berlin (1992) argues that it generally depicts the species' morphological traits and reflect the dynamic interaction of local inhabitants with their environment (Garibay-Orijel 2009). Common names given to mushrooms in SPT are generally associated to their shape, habitat and color (Peña-Cañón and Enao-Mejía 2014; Ruan-Soto et al. 2007). They represent the morphology of body parts or ordinary objects (e.g., *tecax* -*tecajete*=small brazier-; *ocotecax* -small brazier of pine-; *quimix nacas* -mouse ear-). Sometimes binomial names are used in both Nahuatl and Spanish, or mixed, like scientific nomenclature. Primary names are simple and indicate shared characteristics grouping various mushrooms in the same category (Berlin 1992), like “brooms” or *xelhuas* that refer to the genus *Ramaria*. Secondary names refer to colors or habitat (pink broom, yellow broom or *ocote* broom) and is equivalent to the species name. Four of the species studied here have specific Nahuatl names, without Spanish translation, indicating probable ancient use and the maintenance of knowledge through time.

The cultural importance of mushrooms in SPT is high (EMCSI ranges between 468-627), as compared with that of other American countries (EMCSI ranges between 2.3 - 399.4; Alonso-Aguilar et al. 2014; Garibay et al. 2007; Peña-Cañón and Enao-Mejía 2014). However, values in this study were obtained only for the 10 most frequently mentioned species; lower values could be expected for a similar analysis using all mushroom species reported by interviewees. Also, as expected, the most relevant species for SPT (*H. aff. mesophaeum*, *R. complex delica*) and differs from those described in other countries (*A. basii*, *B. complex. edulis*), while others coincide (*C. aff. cibarius*; Boa 2004).

The use of the ECMSI has the virtue of integrating diverse dimensions of the importance of mushrooms for a community and facilitates the comparison between regions. However, its limitations are also clear. On one hand, it excludes aspects of the cultural importance, many of which are

incommensurable; on the other, as with any quantitative method, it oversimplifies a complex reality and devoid cultural traits of its original meaning. We are aware that the description of a particular sionatural relation cannot be objectified and quantified. While recognizing the contribution of our analysis, we also guide our delimitation of the scope and reach of the study with these considerations.

### **Traditional Knowledge Factors Affecting the WEM Community**

In SPT, people associate the presence of WEM communities with vegetation type, climate, and soil characteristics, as has been reported in other sites (Goldmann et al. 2015; Toledo et al. 2014; Tomao et al. 2017). Topography, considered as relevant for mushrooms distribution (Alday et al. 2017; De-Miguel et al. 2014) was not mentioned in the interviews but recognized as a factor during participatory mapping.

For community members, the highest species richness is found in *Pinus* forests, which are the most extended and accessible in the territory. Mushrooms collection in *Quercus* forest require greater abilities, since it is less accessible and occurs in ravines. *Abies* forest is the farthest and located outside the limits of SPT territory, thus mushroom collection there is more complicated.

In the TK of SPT there is a strong association between mushrooms presence and rain: “more rain, more mushrooms”, as has been previously described (Burrola-Aguilar et al., 2012). Also, and as shown by other studies (Bautista-Sánchez et al. 2013), soil characteristics are important. Traits such as the amount of leaf litter, certain color, texture, and porosity favors mushrooms growth. Accordingly, SPT inhabitants identify leaf litter extraction as a cause of mushroom production decrease.

Strong signs of environmental degradation have been documented in LMNP, such as biodiversity loss, water infiltration reduction, and soil erosion, all associated to selective logging, forest fires and agricultural expansion (Marín-Castro et al. 2015). Forest fires are considered by some authors as the main threat to LMNP forests (Salinas 2019); but for SPT people, instead, selective logging is the most important threat for WEM. For many, fire favors the presence of *H. aff. Mesophaeum*, the species with the highest cultural importance according the ECMSI. Probably, forest fires are not perceived as the most damaging

disturbance for WEM, given the idea of fires as a temporary event after which a positive change (i.e., the abundant presence *H. aff. mesophaeum*) occurs. However, evidence from ecological studies indicating changes in *Hebeloma* abundance after fires are absent. It is suspected to be a pyrophylic species whose abundance depend on the intensity of the fire, as is the case with some *Morchella* species (Larson et al. 2016). Further research is needed to inform community negotiations around fire management as a strategy of WEM communities conservation. Another factor usually linked to forests degradation in the literature, agriculture, is not perceived as such by community members, since beside its importance as foundation for food production, it is associated with the presence of certain species.

Participatory mapping allowed a better understanding of the local spatial and environmental perspectives, and the features of the landscape as constitutive of the physical and social environment (Herlihy and Knapp 2003; Pájaro 2009). Mapping WEM collection sites allowed sharing the spatial and temporal patterns of territory use for WEM collection among participants, and a better understanding of the territory.

### **Variation of Traditional Knowledge about Threats to the WEM Community and Extraction Strategies**

SPT inhabitants link WEM communities decline with endogenous (*i. e.* selective logging, fires) and exogenous (climate change, rainfall) factors. The main factors perceived in SPT (selective logging, fires, climate change) coincide with those found for Amanalco, state of Mexico (Burrola-Aguilar et al. 2012) and Yunnan, China (Amend et al. 2010). Many people in STP consider adequate extraction practices are key for WEM reduction. For elder people, many collectors extract mushrooms incorrectly: “they do not leave the seeds”; “they scratch [the ground] like chickens and take everything”; and that they do not pay attention to the local traditional management practices. Evidence shows that the raking collection technique without replacement of litter causes a decrease in the production of Matsutake mushroom to less than half in a nine year period (Luoma et al., 2006). Also, Egli et al. (2006) found that collection of



mushrooms had no negative impact, but if the associated trampling did. As argued by SPT people: collecting mushrooms does not harm their growth, but inappropriate techniques that uncover soil do. On the other hand, traditional mushroom harvesting practices of SPT are also well known in other Mexican rural communities (Burrola-Aguilar et al. 2012; Castro-Sánchez et al. 2019), where also knowledge and practices have been replicated and transmitted for centuries allowing for adequate use of resources. Nonetheless, this knowledge has also been disappearing as a result of cultural and economic processes, as migration and diet changes, affecting the conservation of forests and wild mushrooms (Castro-Sánchez et al. 2019).

Mushroom collection is a family activity in SPT, involving various generations (Robles-García et al. 2018; Santiago et al. 2016); however variation in knowledge about the causes of mushrooms decline and traditional collection practices exist, associated to age, occupation, and economic activity. Differences may be related to migration, more common in young people, or with a lesser exposure of those not involved in primary activities or living far away from the forest to harvesting experiences and to the inherent learning processes (Robles-García et al. 2018; Teklehaymanot et al. 2007). Therefore, part of the community may be marginalized from local knowledge, leading to the interruption of transgenerational knowledge transmission. Aggravating factors are the promotion of a more urban lifestyle distanced from and uninterested about nature and the local environment. More research is needed, since diverse processes could be occurring, either the acquisition of new knowledge, modification, adaptation or loss of traditional knowledge (Farfán-Heredia et al. 2018; Geng et al. 2016).

Interestingly, the main causes of mushroom decline argued by young people, students and those not involved in primary activities (selective logging and fires), are the same as those put forward by mass media. They do not consider traditional management practices as important, thus they are probably not applying them. Contrastingly, these practices are depicted as key by elder people and those involved in agriculture or as housewives, given their daily experience in forest activities and the transmission of traditional knowledge. For them, mushrooms extraction is part of their daily work and family activities in



the fields. Other authors have shown that people involved in activities directly linked with the environment hold greater knowledge and usually perform traditional management practices (Silva et al.2011; Zent 2001).

In STP, there seems to be no difference among sectors regarding the proposed strategies for conserving WEM. This consensus is important as a foundation for creating community-based actions for their conservation and that of the forest. The results of this research and current problems developing in the mountains will be analyzed in assemblies to reach agreements. Building community actions for forest conservation and adequate management of resources should involve strengthening traditional knowledge, participatory strategies, and the co-construction of knowledge based on the complementarity of scientific and traditional knowledge.

At present, biocultural diversity is threatened by social, economic, and ecological pressures (Toledo and Barrera 2008). Participatory action research based on community needs, and local institutions, realities and perspectives has enormous potential to understand the processes that peoples experience (Brooks 2010) and thus accompany them in the construction and/or strengthening of collective protection, adequate management, and conservation of biocultural heritage (Gilmore and Eshbaugh 2011). This study aimed at developing a more participatory research approach, following Gilmore and Young (2012), who summon scholars to be conscious and reflect about ethnoecology methodologies, which may (or not) empower communities; they also call for contributing to the solution of socioenvironmental problems, instead of only using people's knowledge as study object. In our case, the combination of quantitative, participatory and ethnographic methodologies allowed for establishing a foundation for initiating an inclusive community project, relevant to this particular context that allows for the preservation of the biocultural heritage of mushrooms and the forest.

## Acknowledgments

This research was supported by a doctoral scholarship awarded to Eribel Bello by CONACyT (award number 290010) and the Universidad Nacional Autónoma de México; it was also supported by the PAPIIT IN302721 project. We are very grateful to the community of San Pedro Tlalcuapan for their hospitality, for their contribution to this work and for the care they have of their forest resources. We especially thank the families of the “hongueras”: Mrs. Mary, Mrs. Pascuala, Mrs. Candelaria, Mrs. Maura, Mrs. Tomasita, Mrs. Félix, Mrs. Teodora, who shared their extensive knowledge and to Mario Orlando, Miguel Ángel and Ángel Eduardo for their support in the fieldwork in the forest throughout the project.

## References Cited

- Alday, J. G., J. M. De Aragón, S. de-Miguel and J. A. Bonet. 2017. Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-temporal scales along Mediterranean elevation gradients. *Scientific Reports* 7(1): 1-11.
- Alexiades, M. N. 1996. Collecting ethnobotanical data: an introduction to basic concepts and techniques. *Advances in economic botany* 10: 53-94.
- Alonso-Aguilar, L. E., A. Montoya, A. Kong, A. Estrada-Torres, and R. Garibay-Orijel. 2014. The cultural significance of wild mushrooms in San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10(1):1-15.
- Amend, A., Z. Fang, C. Yi, and W. C. McClatchey. 2010. Local perceptions of Matsutake mushroom management, in NW Yunnan China. *Biological Conservation* 143(1): 165-172.
- Aswani, S., A. Lemahieu, and W. H. Sauer. 2018. Global trends of local ecological knowledge and future implications. *PloS One* 13(4).
- Bautista-Sánchez, G., C. E. Pedro-Santo, and G. Álvarez-Olguín. 2013. Participación y acción comunitaria en el manejo de recursos naturales de uso común en la Mixteca Oaxaqueña. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 9(2): 89-98.
- Bello-Cervantes, E., L. G. Camal-Camal, A. Esquivel, I. Trejo, and J. Blanco. 2019a. Importancia cultural de los hongos silvestres útiles en San Pedro Tlalcuapan, Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. *Regiones y Desarrollo Sustentable* 18(35): 78-105.
- Bello-Cervantes, E., A. Correa-Metrio, A. Montoya, I. Trejo, and J. Blanco. 2019b. Variation of Ethnomycological Knowledge in a Community from Central Mexico. *Journal of Fungal Diversity* 1(1): 6-26.
- Bello-Cervantes, E. 2023. Variación del conocimiento tradicional micológico e influencia de factores ambientales y de perturbación sobre la comunidad de hongos silvestres comestibles, en La Malinche, Tlaxcala. Doctoral Dissertation, Intituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.
- Berlin, B. 1992. *Ethnobiological classification: principles of categorization of plants and animal in traditional societies*. Princeton University Press, Princeton. New Jersey.
- Boa, E. R. 2004. *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people (No. 17)*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.

- Boege, E. 2008. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Ciudad de México.
- Boesch, C., and M. Tomasello. 1998. Chimpanzee and human cultures. *Current Anthropology* 39(5): 591-614.
- Brooks, J. S. 2010. The Buddha mushroom: Conservation behavior and the development of institutions in Bhutan. *Ecological Economics*, 69(4), 779–795.
- Burrola-Aguilar, C., O. Montiel, R. Garibay-Orijel, and L. Zizumbo-Villarreal. 2012. Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 35: 01-16.
- Carabias J., J. Sarukhán, J. de la Maza, and C. Galindo. 2010. *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México
- Castro-Sánchez, E. I., A. I. Moreno-Calles, S. Meneses-Eternod, B. Farfán-Heredia, J. Blancas, and A. Casas. 2019. Management of Wild Edible Fungi in the Meseta Purépecha Region, Michoacán, México. *Sustainability* 11(14): 3779.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. In *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*, Edited by O. Sánchez, E. Vega, E. Peters and O. Monroy-Vilchis. Instituto Nacional de Ecología (INE, SEMARNAT)/ SyG, Ciudad de México. pp. 17–44.
- Cifuentes J., M. Villegas, L. Pérez-Ramírez. 1986. Hongos. In *Manual de Herbario*, edited by A. Lot and F. Chiang, pp. 55–64. Consejo Nacional de la Flora de México AC, México, DF.
- De-Miguel, S., J. A. Bonet, T. Pukkala, and J. M. de-Aragón. 2014. Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: a regional model-based scenario analysis. *Forest Ecology and Management* 330: 218-227.
- Egli, S., M. Peter, C. Buser, W. Stahel, and F. Ayer. 2006. Mushroom picking does not impair future harvests—results of a long-term study in Switzerland. *Biological conservation*, 129(2), 271-276.
- Egli, S., F. Ayer, M. Peter, B. Eilmann, and A. Rigling. 2010. Is forest mushroom productivity driven by tree growth? Results from a thinning experiment. *Annals of Forest Science* 67(5): 509-509.
- Farfán-Heredia, B., A. Casas, and S. Rangel-Landa. 2018. Cultural, economic, and ecological factors influencing management of wild plants and mushrooms interchanged in Purépecha markets of Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(1): 1-21.
- Fui, F. S., F. H. Saikim, J. Kulip, and J. S. S. Seelan. 2018. Distribution and ethnomycological knowledge of wild edible mushrooms in Sabah (Northern Borneo), Malaysia. *Journal of Tropical Biology and Conservation* 15: 203-222.
- Garibay-Orijel, R. 2009. Los nombres zapotecos de los hongos. *Revista Mexicana de Micología* 30: 43-61.
- Garibay-Orijel, R., J. Caballero, A. Estrada-Torres, and J. Cifuentes. 2007. Understanding cultural significance, the edible mushrooms case. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 3(1): 1-18
- Garibay-Orijel, R., A. Ramírez-Terrazo, and M. Ordaz-Velázquez. 2012. Women care about local knowledge, experiences from ethnomycology. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8(1): 1-13
- Geng, Y., Y. Zhang, S. Ranjitkar, H. Huai, and Y. Wang. 2016. Traditional knowledge and its transmission of wild edibles used by the Naxi in Baidi Village, northwest Yunnan province. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 12(1): 1-21
- Gilmore, M. P., and J. C. Young. 2012. The use of participatory mapping in ethnobiological research, biocultural conservation, and community empowerment: a case study from the Peruvian Amazon. *Journal of Ethnobiology* 32(1): 6-29.
- Gilmore, M. P., and W. H. Eshbaugh. 2011. From researcher to partner: ethical challenges and issues facing the ethnobiological researcher. In *Ethnobiology*, edited by E. N. Anderson, D. M. Pearsall, E. S. Hunn, and N. J. Turner, pp. 51-63 Wiley Blackwell, Hoboken, NJ.

- Goldmann, K., I. Schöning, F. Buscot, and T. Wubet. 2015. Forest management type influences diversity and community composition of soil fungi across temperate forest ecosystems. *Frontiers in Microbiology* 6: 1-11.
- Gómez-Baggethun, E., and V. Reyes-García. 2013. Reinterpreting change in traditional ecological knowledge. *Human Ecology* 41(4): 643-647.
- Guzmán, G. 2016. Las relaciones de los hongos sagrados con el hombre a través del tiempo. *Anales de Antropología* 50 (1): 134-147).
- Herlihy, P. H., and G. Knapp. 2003. Maps of, by, and for the peoples of Latin America. *Human Organization*, 62(4): 303-314.
- INEGI. 2020. *Anuario geoestadístico de Tlaxcala*. INEGI Aguascalientes, México.
- Körner C, and M. Ohsawa. 2006. Mountain systems. In: *Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends*, edited by R. Hassan, R. Scholes, N. Ash. Vol 1, pp 681–716. DC: Island Press, Washington.
- Larson, A. J., C. A. Cansler, S. G. Cowdery, S. Hiebert, T. J. Furniss, M. E. Swanson, and J. A. Lutz. 2016. Post-fire morel (*Morchella*) mushroom abundance, spatial structure, and harvest sustainability. *Forest Ecology and Management* 377: 16–25.
- Legendre, P., and L. Legendre. 2012. *Numerical Ecology*. Elsevier Scientific. Oxford.
- Lepcha, L. D., G. Shukla, N. A. Pala, P. K. Vineeta, and S. Chakravarty. 2019. Contribution of NTFPs on livelihood of forest-fringe communities in Jaldapara National Park, India. *Journal of Sustainable Forestry* 38(3): 213-229.
- López-Domínguez, J. C., and R. Acosta. 2004. Descripción del Parque Nacional Malinche. In *Biodiversidad del Parque Nacional La Malinche*, edited by J. A. Fernández, and J. C. López. Coordinación General de Ecología, Gobierno del Estado de Tlaxcala, México, 3-24.
- Lovrić, M., R. Da Re, E. Vidale, I. Prokofieva, J. Wong, D. Pettenella, P. Johannes, and R. Mavsar, 2020. Non-wood forest products in Europe—A quantitative overview. *Forest Policy and Economics* 116: 102175.
- Luoma, D. L., J. L. Eberhart, R. Abbott, A. Moore, M. P. Amaranthus, and D. Pilz. 2006. Effects of mushroom harvest technique on subsequent American matsutake production. *Forest ecology and management*, 236(1), 65-75.
- Maffi, L. 2005. Linguistic, Cultural, and Biological Diversity. *Annual Review of Anthropology* 34:599–618.
- Marín-Castro, M. A., V. Silva-Díaz, G. Linares-Fleites, A. M. Castagnino, and J. A. Ticante-Roldán. 2015. La biodiversidad de los hongos ectomicorrízicos y su importancia para la conservación del bosque en la zona poblana del Parque Nacional Malintzi. In *Estudios en Biodiversidad, Volumen I*, edited by Pulido-Flores G., S. Monks and M. López-Herrera. Zea Books. Lincoln, Nebraska
- Montoya A., A. Kong, A. Estrada-Torres, J. Cifuentes, and J. Caballero. 2004. Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17:115–143.
- Montoya, A., O. Hernández-Totomoch, A. Estrada-Torres, A. Kong, and J. Caballero. 2003. Traditional knowledge about mushrooms in a Nahuatl community in the state of Tlaxcala, México. *Mycologia* 95 (5): 793–806.
- Montoya, A., N. Hernández, C. Mapes, A. Kong, and A. Estrada-Torres. 2008. The collection and sale of wild mushrooms in a community of Tlaxcala, Mexico. *Economic Botany*, 62(3), 413.
- Montoya, A., A. Estrada-Torres, and J. Caballero. 2002. Comparative ethnomycological survey of three localities from La Malinche volcano, México. *Journal of Ethnobiology* 22(1): 103-132.
- Montoya, A., E. A. Torres-García, A. Kong, A. Estrada-Torres, and J. Caballero. 2012. Gender differences and regionalization of the cultural significance of wild mushrooms around La Malinche Volcano, Tlaxcala, México. *Mycologia* 104(4): 826-834.
- ONU. 2011. [online] URL: <http://www.un.org/es/events/biodiversityday/forests.shtml>.
- Pacheco-Cobos L., M. Rosetti, C. Cuatianquiz, and R. Hudson, 2010. Sex differences in mushroom gathering: men expend more energy to obtain equivalent benefits. *Evolution and Human Behavior*, 31(4), 289-297.

- Pájaro, H. D. (2009). La cartografía de tierras: una herencia mesoamericana. *Revista de Geografía Agrícola*. 43: 9-32.
- Peña-Cañón, E. R., and L. G. Enao-Mejía. 2014. Conocimiento y uso tradicional de hongos silvestres de las comunidades campesinas asociadas a bosques de roble (*Quercus humboldtii*) en la zona de influencia de la Laguna de Fúquene, Andes Nororientales. *Etnobiología* 12(3): 28-40.
- Pieroni, A. 2001. Evaluation of the cultural significance of wild food botanicals traditionally consumed in Northwestern Tuscany, Italy. *Journal of Ethnobiology* 21(1): 89-104.
- Quinlan, M. B., and R. J. Quinlan. 2007. Modernization and medicinal plant knowledge in a Caribbean horticultural village. *Medical Anthropology Quarterly* 21(2): 169-192.
- R Core Team. 2016. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna.
- Raj, A. J., S. Biswakarma, N. A. Pala, G. Shukla, M. Kumar, S. Chakravarty, and R.W. Bussman. 2018. Indigenous uses of ethnomedicinal plants among forest-dependent communities of northern Bengal, India. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(1): 1-28.
- Reyes-García, V., M. Guèze, A. C. Luz, J. Paneque-Gálvez, M. J. Macía, M. Orta-Martínez, J. Pino, and X. Rubio-Campillo. 2013. Evidence of traditional knowledge loss among a contemporary indigenous society. *Evolution and Human Behavior* 34(4): 249-257.
- Reyes-García, V., J. Paneque-Gálvez, A. C. Luz, M. Gueze, M. J. Macía, M. Orta-Martínez and J. Pino. 2014. Cultural change and traditional ecological knowledge. An empirical analysis from the Tsimane' in the Bolivian Amazon. *Human Organization* 73(2): 162-173.
- Robles-García, D., H. Suzán-Azpiri, A. Montoya-Esquivel, J. García-Jiménez, E.U. Esquivel-Naranjo, E. Yahia, and F. Landeros-Jaime. 2018. Ethnomycological knowledge in three communities in Amealco, Querétaro, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(1): 1-13.
- Ruan-Soto, F., R. M. Méndez, J. Cifuentes, F. L. Aguirre, L. Pérez-Ramírez, and S. Sierra-Galván. 2007. Nomenclatura, clasificación y percepciones locales acerca de los hongos en dos comunidades de la selva lacandona, Chiapas, México. *Etnobiología* 5(1): 1-20.
- Salinas, D. 2019. Atención de un incendio forestal en el Municipio de Amozoc, dentro del Parque Nacional La Malinche, Puebla. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. RR004. Ciudad de México.
- Saynes-Vásquez, A., J. Caballero, J. A. Meave, and F. Chiang. 2013. Cultural change and loss of ethnoecological knowledge among the Isthmus Zapotecs of Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9(1): 1-10.
- SEMARNAP. 2000. *Áreas Naturales Protegidas*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARN AP. México. 800 p.
- Sharma, S., R. Mistri, A. Chettri, B. Bhattarai, and M. Choubey. 2018. Indigenous Knowledge from Livelihood Perspectives in Rural Households of Sikkim: An Analysis. *Research Journal of Humanities and Social Sciences* 9(3): 593-597.
- Silva, F. D. S., M. A. Ramos, N. Hanazaki, and U. P. D. Albuquerque. 2011. Dynamics of traditional knowledge of medicinal plants in a rural community in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 21(3): 382-391.
- Suleiman, M. S., V. O. Wasonga, J. S. Mbau, A. Suleiman, and Y. A. Elhadi. 2017. Non-timber forest products and their contribution to household's income around Falgore Game Reserve in Kano, Nigeria. *Ecological Processes* 6(1): 1-14.
- Teklehaymanot, T., M. Giday, G. Medhin, and Y. Mekonnen, 2007. Knowledge and use of medicinal plants by people around Debre Libanos monastery in Ethiopia. *Journal of Ethnopharmacology* 111(2): 271-283.
- Toledo, V. M., and N. Barrera-Bassols. 2008. *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales (Vol. 3)*. Icaria editorial. Barcelona, España. 233 p.

- Toledo, C. V., C. Barroetaveña, and M. Rajchenberg, 2014. Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(4): 1093-1103.
- Tomao, A., J. A. Bonet, J. M. de Aragón, and S. de-Miguel. 2017. Is silviculture able to enhance wild forest mushroom resources? Current knowledge and future perspectives. *Forest Ecology and Management* 402: 102-114.
- Trung, T. C., L. X. Quynh, and V. V. Hieu. 2007. The Role of Indigenous Knowledge in Sustainable Development: A Case Study of The Vietnam Mountain Regions. *Studies of Tribes and Tribals* 1: 215-224.
- Turner, N. J. 1988. "The importance of a rose": evaluating the cultural significance of plants in Thompson and Lillooet Interior Salish. *American Anthropologist* 90(2): 272-290.
- Villamar, A. A., O. L. S. Diago, E. J. C. Contreras, and A. Medinaceli. 2018. Código de ética para la investigación etnobiológica en América Latina. *Ethnoscintia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology*, 3(2).
- Villers, R. L., G. F. Rojas, and L. P. Tenorio. 2006. *Guía botánica del parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Villers-Ruiz L., I. Trejo-Vázquez. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los sistemas forestales. In *Cambio climático una visión desde México*, edited by Martínez J. and P. Osnaya, INE y SEMARNAT, Ciudad de México. 239-254 pp.
- World Bank. 2020. Forests for People, the Planet and Climate [web page]. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2020/03/19/forests-for-people-the-planet-and-climate>
- Zent, S. 2001. Acculturation and ethnobotanical knowledge loss among the Piaroa of Venezuela: demonstration of a quantitative method for the empirical study of traditional ecological knowledge change. In: *On biocultural diversity: Linking language, knowledge, and the environment*, edited by L. Maffi. Smithsonian Institute Nueva York, EEUU. pp. 190-211.

### Notes

<sup>1</sup> Indigenous identity is not only related to language, given the long and violent process of acculturation in Mexico. Many indigenous communities were forced to speak Spanish. Therefore, in Mexico, the self-identification as indigenous is sufficient for being considered as such. Also, a community is considered indigenous if its people descend from "original people", inhabitants of the territory prior to colonization, who also preserve their own forms of political, social and economic organization.

<sup>2</sup> In SPT, cultural expressions (clothing, dance, language, food) are not isolated from nature and natural elements are present in different cultural expressions. Some community authorities and people promote the TEK and practices, favoring the conservation of this biocultural wealth. Although the term "sustainability" is polysemic, it has been profusely used in discourses reaching the community. Thus, people have incorporated it, understanding it as actions that benefit people but that do not harm the natural environment.

➤ **Capítulo 4**

**INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES Y DE PERTURBACIÓN SOBRE  
LA COMUNIDAD DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES, EN BOSQUES  
DEL CENTRO DE MÉXICO**

# INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES Y DE PERTURBACIÓN SOBRE LA COMUNIDAD DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES, EN BOSQUES DEL CENTRO DE MÉXICO

## Resumen

Los hongos son componentes fundamentales de la biodiversidad y desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales, siendo esenciales dentro del ciclo de nutrientes del suelo, además, muchos son utilizados en todo el mundo por diferentes grupos humanos, principalmente indígenas, formando parte relevante de la economía y cultura. La distribución, diversidad y composición de la comunidad fúngica en los ecosistemas está vinculada a cuatro factores principales, la composición y estructura del bosque, las condiciones del clima, las características geomorfológicas y las características edáficas. En los pueblos ubicados en el Parque Nacional La Malinche (PNLM) los hongos silvestres forman parte importante de la cultura, sin embargo, el deterioro en las áreas forestales se ha incrementado rápidamente, por lo que el objetivo del presente estudio es caracterizar las variables ecológicas, abióticas y de disturbio que afectan el desarrollo de los hongos silvestres comestibles (HSC) en una comunidad del PNLM, lo que permitirá cimentar las bases para promover su conservación y uso sostenible. El método empleado consistió en caracterizar composición y estructura del bosque, clima, relieve, suelo y perturbación en sitios de recolección de hongos, en cuatro tipos de vegetación y realizar monitoreo de HSC durante dos años. Se evaluaron las diferencias en la riqueza, abundancia, producción y diversidad de hongos entre los distintos tipos de vegetación y temporadas de muestreo mediante un análisis Kruskal-Wallis y para explorar el efecto que tienen las variables ambientales y de perturbación en la producción fúngica se realizaron análisis estadísticos multivariados. Se caracterizaron 12 sitios, tres en cada tipo de vegetación: bosque de *Pinus leiophylla*, bosque de *Quercus-Pinus*, bosque de *P. montezumae* y Bosque de *Abies religiosa*. Se registrando 45 morfoespecies de hongos comestibles, siendo las más abundantes *Gymnopus dryophilus*, *Hygrophoropsis aurantiaca* y *Laccaria trichodermophora*. La producción promedio fue de 137.55 k ha<sup>-1</sup>, las tres especies con mayor producción fueron *Hypomyces macrosporus*, *Russula complex. delicata* e *H. lactifluorum*. Se observaron diferencias significativas en la abundancia y producción de hongos entre los distintos tipos de vegetación. La riqueza y producción también se vio afectada por el grado de perturbación, siendo mayor en los sitios con perturbación media. Se identificaron nueve variables que explican la presencia y producción de los HSC en la zona de estudio (altitud, concentración de P, Ca y Mg en el suelo, apertura del dosel, contigüidad a actividades humanas, presencia de veredas, incendio y grosor del mantillo). La composición, abundancia y producción de hongos en el área de estudio fue distinta espacialmente, influenciada por factores de relieve, edáficos, de vegetación y perturbación. No obstante, la variación temporal o influencia que podría tener el clima a través de los años es algo que no se pudo evaluar en el presente estudio, ya que, se requiere de mayor tiempo de monitoreo, por lo que es necesario ampliar la investigación en bosques que presentan diversos agentes de perturbación, donde los disturbios



son recurrentes, para así generar mayor información que nos permita diseñar estrategias de manejo adecuadas a dicha condición particular.

## Introducción

Los hongos son ampliamente reconocidos como componentes fundamentales de la biodiversidad y desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales. Los hongos ectomicorrícicos son cruciales para la absorción de nutrientes y agua de los árboles (Smith y Read, 2010). En esta interacción, los hongos obtienen compuestos de carbono orgánico y proporcionan nitrógeno y fósforo a los árboles anfitriones (Tedersoo *et al.*, 2010). Por su parte, los hongos saprótrofos participan en el ciclo de nutrientes del suelo en los bosques, donde descomponen el carbono de los desechos de madera gruesa y la hojarasca (Ferris *et al.*, 2000; Ozinga y Kuyper, 2013).

Además de la relevancia ecológica de estos organismos, muchos son utilizados en todo el mundo por diferentes grupos humanos, principalmente grupos campesinos e indígenas, como alimento. Durante las últimas décadas, se ha registrado una creciente demanda de hongos comestibles silvestres, que se están convirtiendo en una fuente importante de ingresos para el sector rural (Boa, 2004); es decir, son un importante recurso cultural y de aprovisionamiento (Tomao *et al.*, 2017).

Se ha documentado que la distribución, diversidad y composición de la comunidad fúngica en los ecosistemas está vinculada con diversos factores como la composición y estructura del rodal, las condiciones del clima, las características geomorfológicas y las características del suelo (Alday *et al.*, 2017; Barroetaveña *et al.*, 2008; Bonet *et al.*, 2008, 2010, De-Miguel *et al.*, 2014; Gassibe *et al.*, 2015; Goldmann *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Taye *et al.*, 2016; Toledo *et al.*, 2014).

Las especies de árboles presentes en un sitio, la edad de los individuos, el área basal que ocupan y su altura tienen mayor efecto en la fructificación y el desarrollo de los hongos comestibles presentes (Alday *et al.*, 2017; Boddy *et al.*, 2014; Bonet *et al.*, 2010; Durall *et al.*, 2006; Gómez-Hernández y Williams-Linera, 2011; Martínez-Peña *et al.*, 2012; Nouhra *et al.*, 2012; Smith *et al.*, 2009). Por ejemplo, en ecosistemas mediterráneos se ha reportado que los esporomas de hongos micorrizógenos comestibles son más abundantes y presentan mayor producción en los rodales de bosque jóvenes cuando el área basal del rodal se encuentra entre 15 y 20 m<sup>2</sup> por hectárea (Bonet *et al.*, 2004; Bonet *et al.*, 2008; De-Miguel *et al.*, 2014; Goldmann *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Tomao *et al.*, 2017).

La precipitación y temperatura son los elementos del clima que con mayor frecuencia se relacionan con la fructificación de los hongos y que influyen significativamente en la riqueza,

producción y fenología (Nouhra *et al.*, 2012; Alday *et al.*, 2017; Taye *et al.*, 2016; Büntgen *et al.*, 2012; Büntgen *et al.*, 2015; Parladé *et al.*, 2017). Se ha propuesto que, en sitios más fríos, donde las heladas pueden inhibir la aparición de esporomas, la temperatura es una limitante (Taye *et al.*, 2016; Martínez-Peña *et al.*, 2012; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015), mientras que, en hábitats más cálidos, la producción podría estar más bien limitada por la cantidad de lluvia (Büntgen *et al.*, 2012; Büntgen *et al.*, 2015; Büntgen *et al.*, 2011). Estas condiciones climáticas pueden variar dependiendo de la altitud, pendiente y orientación, por lo que también se han observado cambios en la composición, abundancia y producción de especies de macromicetos en sitios con diferentes características de relieve (Alday *et al.*, 2017; Gómez-Hernández y Williams-Linera, 2011). Las características fisicoquímicas del suelo, como textura, materia orgánica, pH y algunos nutrientes tienen influencia en la distribución y abundancia de los hongos, pero, no se ha encontrado un patrón en las respuestas de macromicetos a nivel de comunidad.

La composición actual y la estructura de los ecosistemas no están determinadas solo por los factores bióticos y abióticos mencionados, sino también, en gran medida, están afectadas por actividades humanas (Albuquerque *et al.*, 2018), como la agricultura, la ganadería, la tala, contaminación y los incendios (Costa *et al.*, 2015; Francos *et al.*, 2016; García-Orenes *et al.*, 2017; Sobrinho *et al.*, 2016), que pueden actuar de forma individual o sinérgica y que generan cambios en las comunidades. Se ha observado que el fuego modifica la composición de la comunidad de hongos, favoreciendo la presencia de especies pirófilas (Taudière *et al.*, 2017; Claridge *et al.*, 2009). La tala tiene un efecto considerable en la producción y riqueza de hongos, dependiendo de la intensidad del aclareo o del área basal de los árboles que permanezcan (Tomao *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2005; Craig *et al.*, 2016; Collado *et al.*, 2018; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2019). La remoción de materia orgánica y la expansión de plantaciones de especies exóticas, modifican las propiedades fisicoquímicas del suelo y afectan negativamente a los hongos ectomicorrizógenos (Tomao *et al.*, 2017; Dickens *et al.*, 2012, Kranabetter *et al.*, 2017). La recolección de hongos no tiene un impacto negativo, pero el rastrillado profundo y el pisoteo reducen la producción de hongos (Egli *et al.*, 2006; Luoma *et al.*, 2006). Independientemente del tipo de actividad antrópica, en muchos estudios se ha encontrado que perturbaciones de baja o media intensidad incrementan la riqueza, diversidad o producción de la comunidad fúngica (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Reazin *et al.*, 2016; Gómez-Reyes *et al.*, 2014; Salo y Kouki, 2018; Craig *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2019; Bonet *et al.*, 2008; Bonet *et al.*, 2010; Goldmann *et al.*, 2015; Taye *et al.*, 2016; Tomao *et al.*, 2017).

El Parque Nacional La Malinche forma parte de los principales cuerpos volcánicos de la Cordillera Volcánica Transmexicana (Villers *et al.*, 2006) en el centro de México. Se localiza entre los estados de Tlaxcala y Puebla, con una extensión de 1,326 km<sup>2</sup> (Castillo, 2006); forma parte de la cuenca hidrológica del río Atoyac-Zahuapan y aporta volúmenes considerables a las aguas subterráneas. Este parque es una de las áreas de vegetación más importante en dicha zona geográfica con bosques de coníferas que son el hogar de una gran variedad de hongos (Acosta y Kong, 1991), con un registro de hasta 93 hongos útiles (Montoya *et al.*, 2004); sin embargo, la deforestación, los incendios y el cambio de uso de suelo, han contribuido con la

disminución de la infiltración, al incrementar el arrastre y erosión del suelo, así como a la pérdida de biodiversidad (Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez, 2004; Marín-Castro *et al.*, 2015).

Debido a lo anterior, es necesario y de gran importancia socioambiental, caracterizar las variables ecológicas, abióticas y de disturbio que afectan el desarrollo de la comunidad fúngica, lo que permitirá cimentar las bases para promover su uso de manera sostenible y su conservación. Los objetivos del presente estudio son (i) Identificar los principales sitios de recolección de hongos silvestres comestibles (HSC) en una comunidad del PNLM, (ii) Caracterizar sitios con diferente grado de perturbación en distintos tipos de vegetación (iii) Evaluar producción, abundancia, riqueza y diversidad de hongos en sitios con diferente grado de perturbación.

## **Método**

### ***Área de estudio***

San Pedro Tlalcuapan, es una comunidad con predominio de población indígena de origen nahua. Se ubica al noroeste del PNLM (19° 16' 50.02 "N, 98° 09' 06.30" W), en el municipio de Santa Ana Chiautempan, Estado de Tlaxcala, México (Figura 1). Su territorio, se encuentra en un intervalo altitudinal que va de 2,300 a 3,000 m s.n.m., con una precipitación total anual de alrededor de 900 mm y temperatura media de 15.7°C. Los tipos de vegetación presentes son bosques dominados por coníferas (*Abies* y *Pinus* spp.) y bosques mixtos de coníferas-latifoliadas (*Pinus* - *Quercus*) con diferentes niveles de conservación, así como pastizal inducido y agricultura de temporal (INEGI, 2010). De acuerdo con el censo de población (INEGI, 2010) Tlalcuapan tiene 3,613 habitantes.

El territorio de San Pedro Tlalcuapan se extiende a lo largo de 1,162 ha, de las cuales aproximadamente 600 están cubiertas por cultivos y bosque, y el resto corresponde al asentamiento humano. Antiguamente, la comunidad dependía casi por completo de los recursos naturales que les brindaba la montaña, como los hongos, pero actualmente se observa un proceso de pérdida de los recursos naturales, transformaciones culturales y cambios en el conocimiento tradicional, que probablemente están asociados con el deterioro de los ecosistemas.

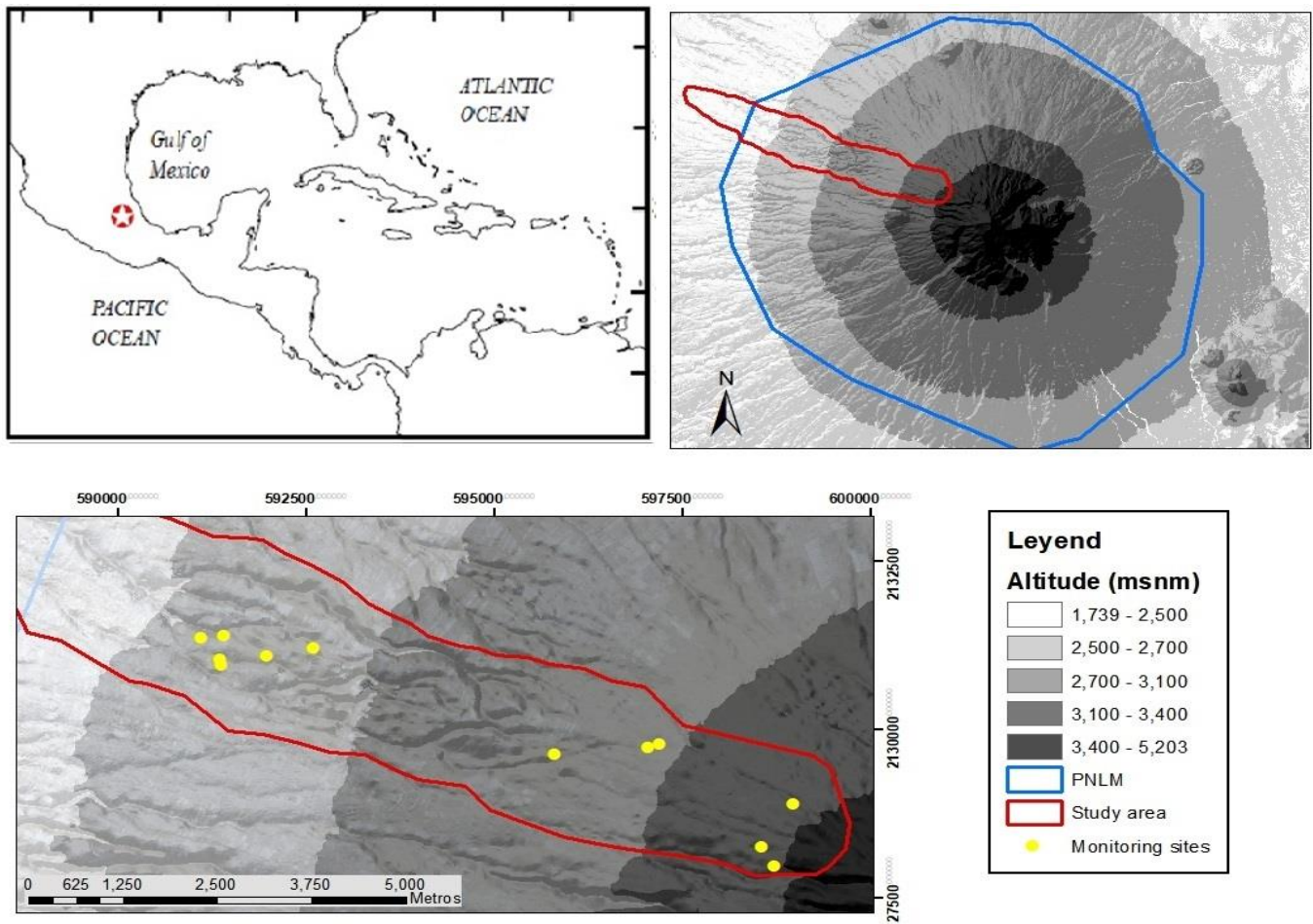


Figura 1. Localización del territorio de San Pedro Talcuapan en el PNLM, México y ubicación de los sitios de muestreo.

### ***Selección de los sitios de muestreo***

La selección de sitios de monitoreo se basó en dos estrategias: (i) identificación de áreas de recolecta importantes para los pobladores mediante un mapeo participativo y (ii) registro de trayectorias de búsqueda, en la temporada de lluvias, propuesto por Pacheco-Cobos y Rosetti (2009), que consistió en el recorrido de 20 trayectorias de recolectores de hongos y se seleccionaron los sitios de coincidencia de dos o más rutas. En cada uno de los sitios de muestreo se reconoció el tipo de vegetación (bosque mixto o de coníferas) y se describió la asociación presente. Se eligieron, para cada tipo de vegetación, tres sitios con diferente grado de conservación, procurando que las condiciones de altitud, orientación y pendiente fueran homogéneas. En total se tienen 12 sitios de monitoreo de HSC, reconocidos por el tipo de vegetación y por su nivel de conservación C (conservado), M (nivel intermedio) y P (perturbado) (tabla 1).

## **Caracterización de sitios de muestreo**

### *Relieve e información climática*

En cada sitio se registraron las coordenadas geográficas y altitud con un dispositivo de posicionamiento global (GPS), la pendiente y la orientación con un clinómetro y una brújula respectivamente. Las características climáticas: temperatura media anual y precipitación total anual, se obtuvieron del Atlas climático digital de México (UNIATMOS, 2009 <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>), que tiene una resolución espacial de  $\approx 1$  km.

### *Vegetación*

En los 12 sitios seleccionados se hicieron muestreos de 1,000 m<sup>2</sup> con parcelas circulares (17.8 m de radio). Se registraron los individuos leñosos, árboles y arbustos (con DAP  $\geq 5$  cm) y se anotó el diámetro normalizado, la altura estimada y la especie. En una parcela concéntrica de 100m<sup>2</sup> se censaron los individuos con DAP  $< 5$  cm. Se colectó el material botánico para identificar en gabinete a las especies presentes en los sitios. Con los datos obtenidos se determinó la composición florística y se calcularon los parámetros estructurales de la vegetación: densidad, área basal y altura.

Para cuantificar la apertura del dosel, se tomaron fotografías hemisféricas con un lente "ojo de pescado" montado en una cámara digital. Se obtuvieron cinco fotografías por sitio, uno en el centro de la circunferencia y una en cada punto cardinal, ubicados a los 10 m del centro. Las imágenes se procesaron con el software libre Gap Light Analyzer (Frazer *et al.*, 1999).

Para reconocer la condición de conservación, se aplicó el índice de perturbación propuesto por Martorell y Peters (2005), que consiste en trazar dos transectos de 30 m en forma de X, a lo largo de los cuales se registraron 17 parámetros de perturbación, agrupados en 3 grandes indicadores de actividad antropogénica: ganadería (camino de ganado, excretas de ganado vacuno, excretas de cabra, ramoneo, compactación de suelo); actividades humanas (extracción de leña, veredas, proximidad a asentamientos humanos, contigüidad a núcleos de actividad, evidencia de fuego, extracción de resina, tala); y degradación del suelo (erosión, presencia de islas de erosión, superficie totalmente modificada, profundidad de mantillo y uso de suelo en el pasado). Se aplicó el análisis de componentes principales, para reconocer los agentes de perturbación que contribuyen a la varianza.

### *Características fisicoquímicas del suelo*

En cada sitio se obtuvieron muestras en tres puntos de 1 kg de suelo cada una, a una profundidad de 0-30 cm (Mollinedo *et al.*, 2005). Las muestras se introdujeron en bolsas plásticas, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio para su preparación de acuerdo en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). Se determinaron las propiedades físicas: humedad gravimétrica, densidad aparente, porosidad, textura y algunas características químicas: pH,

materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, además de la determinación de nutrientes: P, N, Mg, K y Ca.

### ***Producción, abundancia y riqueza de hongos***

El muestreo de los hongos se realizó en los 12 sitios seleccionados, donde se trazó un cuadro de 30 X 30 m subdividido en cuatro cuadrantes. En cada cuadrante se hicieron recorridos en forma de zig-zag para recolectar los esporomas de macromicetos comestibles. Éstos se contabilizaron y se registró su peso en campo. Posteriormente, se caracterizaron y se colocaron en secadoras para deshidratarlos y conservarlos. Cada macromiceto fue identificado mediante el análisis de las características macro y microscópicas, con el uso de claves taxonómicas específicas dependiendo del género. El material fúngico se depositó en la colección de Hongos del herbario MEXU, UNAM. Para cada sitio se estimó la riqueza, abundancia, producción y diversidad mediante el cálculo del índice de Shannon utilizando la fórmula  $H' = -\sum p_i \ln p_i$ , donde  $p_i$  es la proporción de individuos pertenecientes a la  $i$ ésima especie,  $\ln$  es el logaritmo natural (base e). Todos los sitios se visitaron cada quince días durante siete meses (abril a octubre), durante los dos años de muestreo (2018 y 2019).

### ***Análisis de datos***

Para conocer si existían diferencias en la riqueza, abundancia, producción y diversidad entre los diferentes tipos de vegetación y las temporadas de muestreo (años), se aplicó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, debido a la naturaleza de los datos obtenidos. Posteriormente, se utilizó el método de comparaciones múltiples de Dunn corregido por Bonferroni (Dunn, 1961). También se estimaron los cambios espaciales en la diversidad (diversidad beta), mediante el índice de disimilitud basado en la abundancia de Jaccard-Chao (Chao *et al.*, 2005).

Para explorar el efecto que tienen las variables climáticas, de relieve, de suelo, la vegetación y la perturbación en la producción de HSC se realizaron análisis estadísticos multivariados. Se utilizó el Análisis Canónico de Correspondencia (CCA) para conocer el efecto que cada grupo de variables sobre la comunidad fúngica. Se hicieron pruebas de permutación de Monte Carlo (1000 permutaciones), para estudiar la significancia de los modelos. Se usó el método Forward para seleccionar las variables explicativas significativas y solo se incluyeron las que alcanzaron una  $P < 0.05$  para realizar un CCA final. Las variables significativas se agruparon en dos tipos, las de perturbación y las ambientales, con las cuales se realizó un Análisis de Redundancia Parcial (RDA) para conocer el efecto de cada grupo de variables en particular sobre la producción de HSC. Para todos los análisis se utilizó la plataforma R (R Core Team, 2016).

## Resultados

### ***Vegetación y nivel de perturbación***

Los sitios de muestreo están ubicados entre los 3,380 y los 2,565 m s.n.m en la ladera occidental de la Malinche. Casi todos los sitios están orientados hacia el noroeste y en pendientes moderadas; solo en algunos la inclinación de la ladera es más pronunciada (ver Tabla 1). La lluvia total anual alcanza alrededor de los 1,011 mm en los sitios de mayor altitud y desciende a 893 mm en los sitios más bajos. La temperatura media varía entre los 9.2 y 13.6 °C, en relación con los cambios en altitud.

Tabla 1. Características de relieve y condiciones climáticas de los 12 sitios de muestreo

Sitio*	Latitud N	Longitud E	Altitud (ms.n.m)	Pendiente (°)	Orientación (°)	PA (mm)	TMA(°C)
QPC	19°16'21"	98°07'08"	2,652	32	45	893.7	13.4
QPM	19°16'14"	98°07'48"	2,574	27	325	897.5	13.6
QPP	19°16'26"	98°07'49"	2,565	28	325	897.5	13.6
PIC	19°16'17"	98°07'28"	2,614	16	45	893.7	13.4
PIM	19°16'11"	98°07'49"	2,575	7	315	897.5	13.6
PIP	19°16'24"	98°07'59"	2,544	4	315	897.5	13.6
PmC	19°15'29"	98°05'19"	2,937	27	315	919.2	11.4
PmM	19°15'32"	98°04'35"	3,057	14	315	920.9	11.0
PmP	19°15'33"	98°04'30"	3,074	9	315	920.9	11.0
AC	19°14'34"	98°03'38"	3,380	11	315	1011.4	9.2
AM	19°15'04"	98°03'28"	3,337	14	315	997.7	9.2
AP	19°14'44"	98°03'44"	3,332	10	315	1011.4	9.2

\*La clave para cada sitio hace referencia a la especie dominante (QP= Bosque de *Quercus-Pinus*, PI= Bosque de *P. leiophylla*, Pm= Bosque de *P. montezumae* y A= Bosque de *Abies*) y al nivel de perturbación (C= Conservado M= Medio perturbado y P= Perturbado).

PMA= Precipitación media anual. TMA= Temperatura media anual.

De los 12 sitios analizados, tres corresponden a un bosque de coníferas, dominado por *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* (A) y nueve a bosque mixto (coníferas-latifoliadas), dominados por diferentes especies. En tres de ellos, la especie dominante es *Pinus montezumae* acompañada de *Salix paradoxa* y *Alnus jorullensis* (Pm); en el siguiente grupo de tres, el dominante es el *P. leiophylla* (PI) con *P. pseudostrabus* y el último grupo, en el que comparten la dominancia *Quercus crassifolia*, *Q. obtusata*, *Q. crassipes*, *Q. laeta*, *Q. laurina*, *Arbutus xalapensis* y algunos individuos de *P. leiophylla* (QP).

Se censaron un total de 1,740 individuos de árboles y arbustos pertenecientes a 19 especies, en los 12 sitios. El sitio con mayor riqueza tiene siete especies (QP) y los de menor riqueza solo tienen una (PIM y PmC). En la mayoría de los sitios hay una mayor proporción de individuos

con diámetros menores a 5 cm y el área basal de estos individuos es menor a 1 m<sup>2</sup>, mientras que para los individuos mayores está entre 0.10 y 7.94 m<sup>2</sup> (Tabla 2).

Con respecto a las variables de perturbación, mediante el PCA se obtuvo que los dos primeros componentes principales representaron el 30% y 23% de la varianza total, las variables que tuvieron un mayor efecto en la zona fueron: Contigüidad a núcleos de actividad humana, Compactación de suelo, Presencia de fuego y Profundidad de mantillo (Tabla 3). Ya con los valores de los componentes principales se aplicó el índice de perturbación en el que se obtuvieron valores de entre 0.1 y 1, representando mayor perturbación aquellos con valores más altos, en este caso el sitio con mayor índice es el PIP y el de menor perturbación es el sitio AC (Tabla 3).

Se identificaron agentes de perturbación específicos por tipo de vegetación, por ejemplo, en el bosque de *Quercus-Pinus* el agente de mayor presencia es la extracción de leña y la tala, mientras que el bosque de *P. leiophylla* se caracterizó porque contiguo a él se desarrollan actividades como agricultura, la presencia de incendios y menor grosor de mantillo; en el bosque de *P. montezumae* destaca la alta presencia de incendios y el bajo grado de infiltración del agua. Finalmente, los sitios de *Abies* se caracterizan principalmente por la presencia de tala y fuego. Los sitios con mayor área basal corresponden a áreas con árboles de mayor diámetro y altura, los cuales se encuentran en los bosques dominados por *P. montezumae* y *Abies*, con un índice de perturbación menor de 0.18.



Tabla 2. Índice de perturbación (IP) y características estructurales de vegetación por sitio (riqueza, densidad, área basal absoluta, diámetros y alturas, en 0.1ha)

VEGETACIÓN	Sitio	IP	Riqueza	Densidad ind DAP<5cm	Densidad ind DAP>5cm	Área Basal (m <sup>2</sup> /0.1ha) iInd. DAP>5cm	Prom. diámetro ind. 5>DAP>20	Prom. diámetro ind. DAP>20cm	Diámetro mayor	Prom. altura ind.DAP entre 5 y 20cm	Prom. altura ind.DAP>20cm	Altura mayor
<b>Bosque – Quercus_Pinus</b>	QPC	0.18	5	0	51	2.97	10.09	36.51	50.29	7.57	19.92	24
	QPM	0.19	5	340	124	2.41	9.74	39.09	53.79	7.57	19.25	22
	QPP	0.30	<b>7</b>	250	64	1.86	8.20	33.86	43.61	6.12	18.38	23
<b>Bosque P. leiophylla</b>	PIC	0.28	3	40	68	4.78	12.76	32.40	48.06	9.00	19.69	23
	PIM	0.31	<b>1</b>	400	61	1.68	12.33	27.22	35.65	7.90	18.32	23
	PIP	1.00	4	420	15	0.22	10.13	22.12	23.24	5.00	6.50	7.5
<b>Bosque de P. montezumae</b>	PmC	0.05	<b>1</b>	0	45	<b>7.94</b>	<b>17.83</b>	53.19	73.85	<b>28.00</b>	<b>29.26</b>	<b>32</b>
	PmM	0.09	3	90	29	3.63	6.02	55.95	76.71	5.03	25.79	30
	PmP	0.23	4	400	38	0.98	11.35	30.62	78.00	7.09	11.58	25
<b>Bosque de Abies</b>	AC	0.01	4	170	159	7.18	8.80	<b>73.22</b>	<b>145.15</b>	8.08	25.50	30
	AM	0.15	3	200	90	1.61	7.85	35.27	122.00	6.65	14.81	25
	AP	0.18	2	<b>1020</b>	<b>293</b>	1.89	7.38	28.95	74.00	6.96	14.85	22

Tabla 3. Valores del primer y segundo componentes principales

Agente de perturbación	PC1	PC2
Extracción de leña	-0.174778	0.269986
Extracción de resina	-0.036646	-0.048779
Tala	-0.205816	0.227735
Veredas	-0.002231	-0.01262
Fuego	-0.081617	-0.483704
Caminos de ganado	0.024638	0.007118
Excretas de ganado vacuno	0.040176	-0.003545
Compactación de suelo	0.052285	-0.625017
Profundidad de mantillo	0.42939	0.033558
Erosión	0.005131	0.008538
Contigüidad a núcleos de actividad humana	0.745342	0.107551
Proximidad a asentamientos humanos	0.276472	0.241913
Uso agrícola en el pasado	0.381815	-0.048408

### **Caracterización fisicoquímica del suelo**

Los suelos presentan un porcentaje de humedad de entre 4.9 y 17.2 y son los tres sitios de *Abies* en los que presentan valores más altos. La densidad aparente osciló entre 1.12 y 1.34, valores altos, de acuerdo con los indicados en la NOM-021 para suelos volcánicos, lo cual podría ser un indicador de la compactación o de la perturbación presente en el área de estudio. Valores mayores de densidad aparente se reflejan a su vez en un menor porcentaje de porosidad, que en los sitios de estudio oscilan entre 42 y 51%. En todos los sitios predomina el porcentaje de arena con respecto al limo y arcilla, por lo que se catalogan como arenosos y arenosos francos (Tabla 4).

La mayoría de los sitios presentaron pH ácido, de entre 6.07 y 6.53; solamente los dos sitios conservados de pinos tienen valores de pH neutro. El porcentaje de contenido de materia orgánica oscila entre 1.43 y 5.9%, lo que significa un valor reducido de acuerdo con la NOM-021 emitida para suelos volcánicos. Los valores de capacidad de intercambio catiónico varían entre 22 y 34, lo que indica que los minerales arcillosos presentes en los suelos son micas hidratadas y cloritas. El contenido de N inorgánico y P disponible es de medio a bajo; sin embargo, con respecto a las bases intercambiables (Mg, K y Ca) existe una gran fluctuación entre los sitios. Las variables de mayor variación y significancia para el estudio fueron: el porcentaje de humedad gravimétrica y concentraciones de P, Ca y Mg intercambiable (Tabla 4).

Tabla 4. Características fisicoquímicas del suelo de los sitios de muestreo

SITIO	% Humedad gravimétrica	Densidad aparente	% de porosidad	% arena	% arcilla	% limo	Clase textural	Ph	% Materia orgánica	% Carbono	Capacidad de intercambio catiónico cmol(+)/Kg	P (mg/kg)	N inorgánico (mg/kg)	Mg intercambiable (mg/kg)	K intercambiable (mg/kg)	Ca intercambiable(mg/kg)
QPC	7.19	1.28	48	91.88	2.49	5.63	Arena	6.23	2.14	1.24	29	3.83	18.44	203.38	302	339.84
QPM	8.70	1.12	42	84.67	1.45	13.88	Arena franca	6.34	5.90	3.42	33	4.54	18.76	352.5	344	896.42
QPP	7.15	1.19	45	90.24	1.36	8.40	Arena	6.34	3.22	1.87	33	4.75	18.3	184.4	196	600.92
PLC	9.54	1.19	45	86.92	1.55	11.53	Arena franca	6.82	3.04	1.76	34	4.67	17.36	292.94	310	1023.6
PLM	5.64	1.29	49	92.73	1.23	6.04	Arena	6.26	1.97	1.14	33	5.34	25.44	92.54	216	425.54
PLP	4.91	1.34	51	97.16	1.27	1.57	Arena	6.53	1.43	0.83	28	9.78	20.3	63.56	146	279.84
PMC	6.42	1.26	48	92.73	1.29	5.97	Arena	6.59	2.14	1.24	34	27.82	18.52	113.66	86	744.2
PMM	7.15	1.27	48	96.85	2.63	0.52	Arena	6.23	1.78	1.03	22	12.28	21.71	37.28	62	329.34
PMP	9.54	1.31	49	94.61	3.99	1.40	Arena	6.48	3.57	2.07	34	16.86	29	51.24	78	355.26
AC	13.76	1.24	47	91.16	1.19	7.65	Arena	6.26	4.28	2.48	23	22.54	36.62	70.12	92	743.04
AM	16.40	1.20	45	87.52	1.59	10.89	Arena franca	6.07	3.93	2.28	24	17.76	24.79	60.46	90	651.24
AP	17.20	1.21	46	85.45	2.00	12.55	Arena franca	6.14	5.18	3.01	32	23.13	25.45	69.69	95	638.94

## Riqueza, composición, abundancia y producción de hongos por tipo de vegetación

Durante las dos temporadas de muestreo, en los 12 sitios, se registraron 5,675 individuos de hongos comestibles, pertenecientes a 46 taxa distintos, 20 son micorrícicos, 8 saprófitos y 2 parásitos (Tabla 5).

Tabla 5. Especies y abundancia de HSC recolectados en los diferentes bosques.

Especies	Código *	Quercus-	P.	P.	Abies	Estrategia de vida
		Pinus	leiophylla	montezumae		
<i>Agaricus campestris</i> L.	A_c	0	15	0	0	S
<i>Amanita complex. rubescens</i> Pers.	A_r	4	0	60	11	My
<i>Amanita elongata</i> Peck	A_e	5	0	0	0	My
<i>Amanita</i> sp.	Am1	0	1	0	0	
<i>Auricularia aff. americana</i> Parmasto & I. Parmasto	A_a	0	0	0	154	S
<i>Boletus complex. edulis</i> Bull.	B_e	4	8	0	0	My
<i>Cantharellus aff. cibarius</i> Fr.	C_c	9	16	6	1	My
<i>Chroogomphus jamaicensis</i> (Murrill) O.K. Mill.	C_j	13	33	3	0	My
<i>Clavaria</i> sp. 1	C1	1	92	0	0	
<i>Clavariadelphus aff. truncatus</i> Donk	Cl_t	3	0	0	5	My
<i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill	G_d	23	0	151	1240	S
<i>Hebeloma aff. mesophaeum</i> (Pers.) Qué!	He_m	4	61	4	0	My
<i>Hebeloma</i> sp.	H1	18	4	1	0	
<i>Helvella crispa</i> Bull.	H_c	3	30	0	3	My
<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> (Wulfen) Maire	H_a	8	22	424	57	S
<i>Hygrophorus chrysodon</i> (Batsch) Fr.	Hy_c	4	152	14	5	My
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul.	H_l	0	165	0	0	P
<i>Hypomyces macrosporus</i> Seaver.	H_m	0	302	0	0	P
<i>Infundibulicybe gibba</i> (Pers.) Harmaja	I_g	73	0	7	240	S
<i>Laccaria trichodermophora</i> G.M. Muell.	L_t	169	273	76	75	My
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray	L_d	0	0	6	0	My
<i>Lactarius indigo</i> (Schwein.) Fr.	L_i	1	3	0	0	My
<i>Lactarius mexicanus</i> A. Kong & Estrada	L_m	0	0	0	202	My
<i>Lactarius salmonicolor</i> R. Heim & Leclair	L_s	0	0	0	14	My
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	L_p	11	3	1	6	S
<i>Morchella snyderi</i> M. Kuo & Methven	M_s	0	0	0	4	S
<i>Pholiota lenta</i> (Pers.) Singer	P_l	0	0	133	112	S

<i>Ramaria sp. 1</i>	R1	0	0	1	22	
<i>Ramaria sp. 2</i>	R2	40	0	0	0	
<i>Ramaria sp. 3</i>	R3	0	0	0	13	
<i>Ramaria sp. 4</i>	R4	20	0	0	0	
<i>Ramaria sp. 5</i>	R5	0	0	0	1	
<i>Ramaria sp. 6</i>	R6	8	0	0	0	
<i>Ramaria sp. 7</i>	R7	1	95	3	0	
<i>Ramaria sp. 8</i>	R8	8	37	6	0	
<i>Ramaria sp. 9</i>	R9	3	0	0	0	
<i>Rhizopogon aff. michoacanicus</i> Trappe & Guzmán	R_m	1	45	0	2	My
<i>Russula complex. delica</i> Fr.	R_d	20	61	8	0	My
<i>Russula sp. 1</i>	Ru1	2	1	0	0	
<i>Russula sp. 2</i>	Ru2	5	3	1	26	
<i>Russula sp. 3</i>	Ru3	105	1	1	33	
<i>Suillus pseudobrevipes</i> A.H. Sm. & Thiers	S_p	45	152	8	0	My
<i>Suillus sp. 1</i>	S1	3	27	0	0	
<i>Suillus tomentosus</i> Singer, Snell & E.A. Dick	S_t	33	46	8	0	My
<i>Tricholoma flavovirens</i> (Pers.) S. Lundell	Tr_f	2	0	17	127	My
<i>Turbinellus floccosus</i> (Schwein.) Earle	T_f	0	0	0	86	My

\*Código: Hace referencia a la codificación asignada a cada taxa fúngico. My: Micorrícico, S: Saprótrofo, P: Parasito.

En los dos años de muestreo, fue en septiembre cuando se encontró el mayor número de morfoespecies. Se detectó que la presencia de hongos varía a través del tiempo por tipo de vegetación; por ejemplo, en el bosque de *Abies* los esporomas se presentaron semanas antes que en el bosque de QP. En la figura 2 se observa cómo los picos en los que se encontró mayor riqueza, difieren en el tiempo para cada tipo de vegetación.

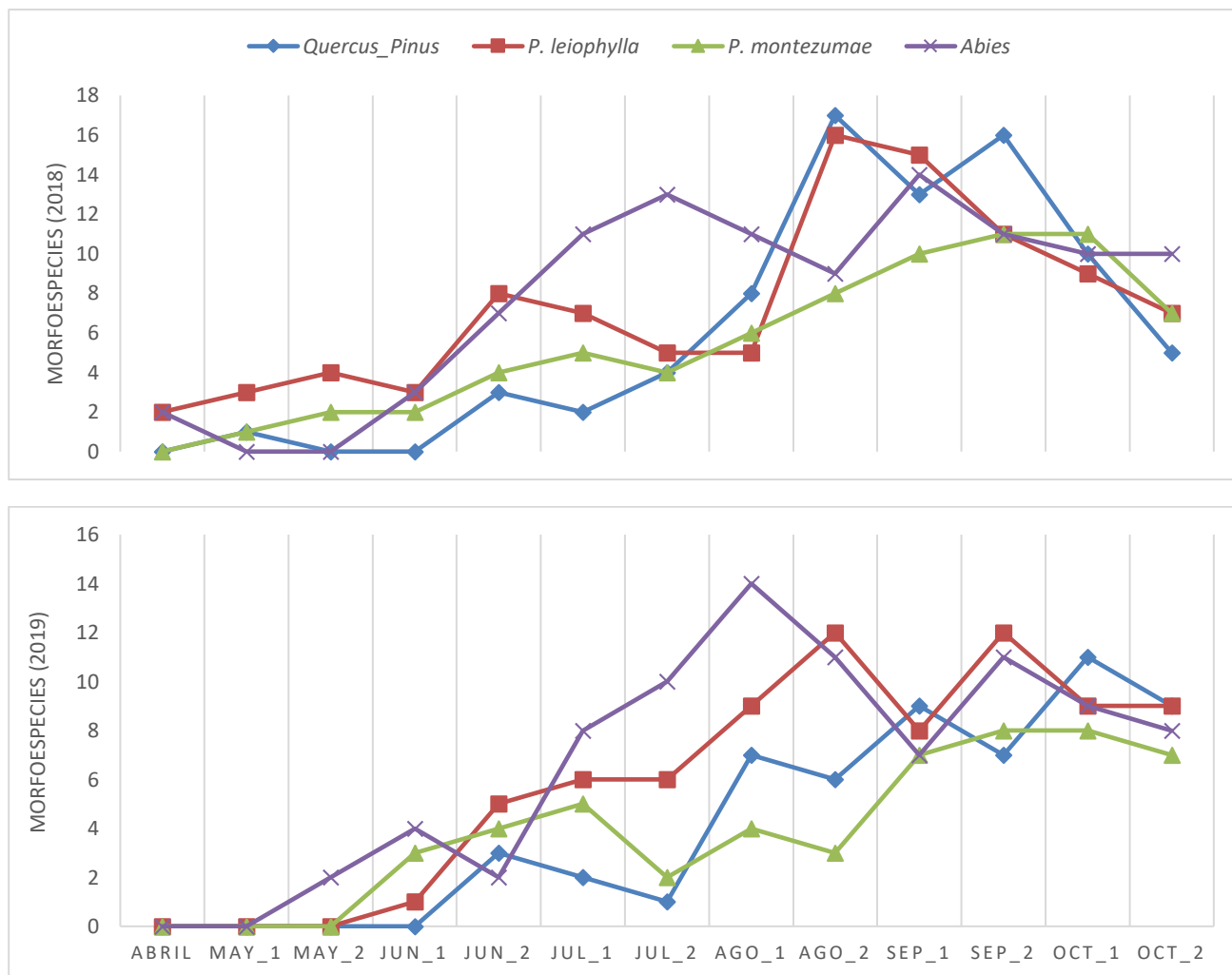


Figura 2. Número de especies de hongos presentes en los diferentes tipos de vegetación, durante las dos temporadas de muestreo (abril — octubre 2018, 2019).

La riqueza promedio fue similar entre los diferentes tipos de vegetación y los dos años muestreados, ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ellos, sin embargo, se observa gran variación a lo largo de las temporadas de muestreo en todos los sitios (Figura 2, Figura 3a).

Se registraron 5,676 esporomas comestibles en total durante los dos años. Las tres especies más abundantes fueron *Gymnopus dryophilus*, *Laccaria trichodermophora* e *Hygrophoropsis aurantiaca*, con 1,414, 593 y 511 esporomas respectivamente. Se observó que no existen diferencias entre los años de muestreo y mismo tipo de vegetación, pero sí entre diferentes tipos de vegetación, por ejemplo, la abundancia promedio de HSC en el bosque de *Abies* durante el año 2018 fue significativamente mayor que la de los bosques de *Quercus-Pinus* y de *P. montezumae* durante 2019 (Figura 3b;  $P_{A_{18}-Q_{19}}=0.028$ ;  $P_{A_{18}-M_{19}}=0.049$ ).

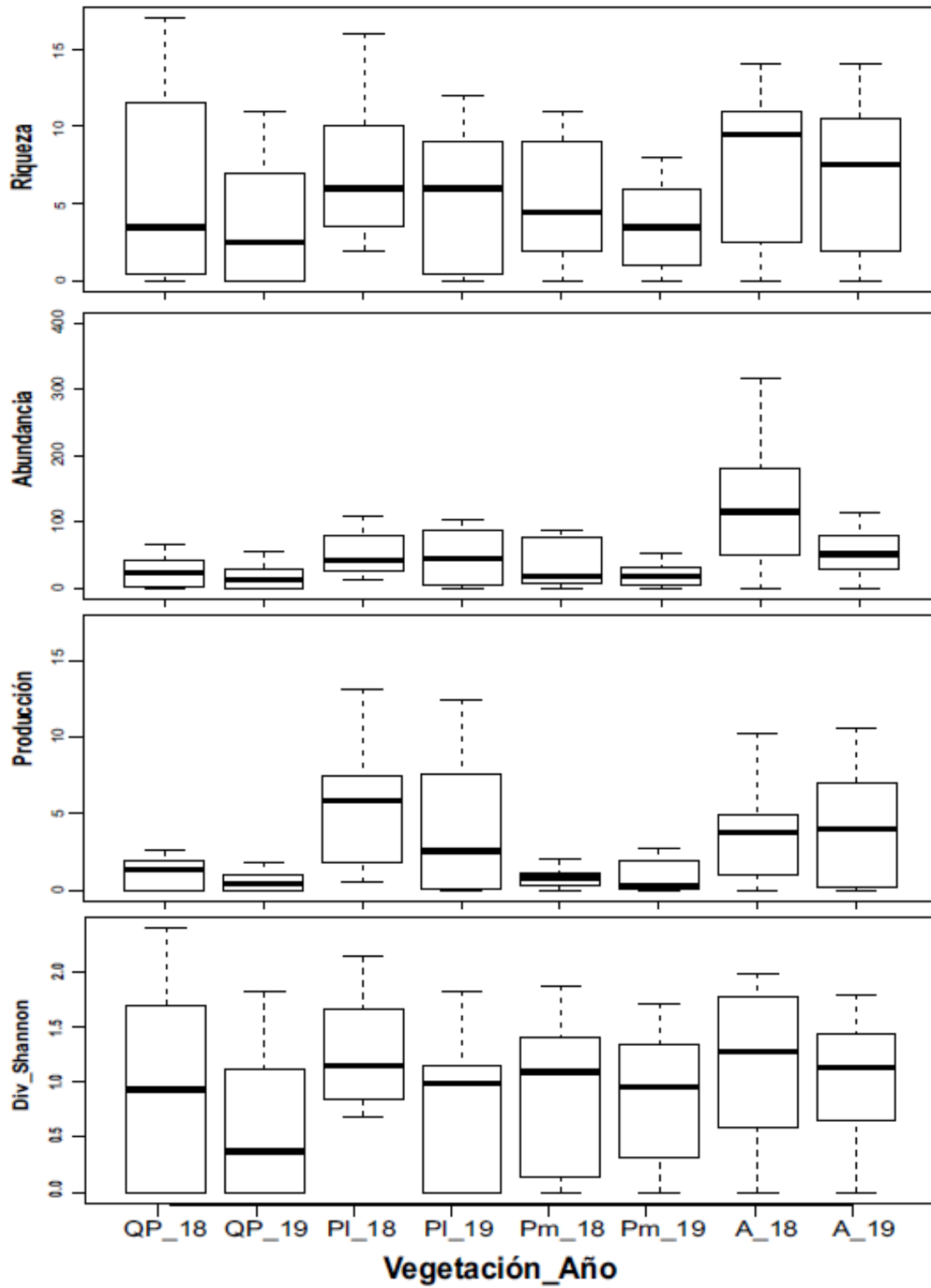


Figura 3. Variación en la a) riqueza, b) abundancia, c) producción y d) diversidad de esporomas comestibles entre los diferentes bosques: *Quercus-Pinus* (QP), *P. leiophylla* (PI), *P. montezumae* (Pm) y *Abies* (A), durante las dos temporadas de muestreo (2018, 2019).

Se registró una producción promedio (peso fresco) de 137.55 kilos por hectárea, por año. Las tres especies con mayor producción fueron *Hypomyces macrosporus*, *Russula complex. delica* e *H. lactifluorum*, con 31.59 k ha<sup>-1</sup>, 25.10 k ha<sup>-1</sup> y 17.11 k ha<sup>-1</sup> en promedio por año, respectivamente. Durante el periodo de estudio y de manera similar a la abundancia, se observaron diferencias entre algunos tipos de vegetación; por ejemplo, se observó mayor producción de HSC en el bosque de *P. leiophylla* para el año 2018 (76.5 k ha<sup>-1</sup>) en comparación con los bosques de *Quercus* (11.7 k ha<sup>-1</sup>) y *P. montezumae* (12.54 k ha<sup>-1</sup>) en ambas temporadas de muestreo (P < 0.05; Figura 3c).

Los valores de diversidad H' de Shannon oscilan entre 1.2 y 1.8, ambos registrados en el bosque de *Quercus-Pinus*. No se encontraron diferencias significativas al comparar los valores medios para el índice (Figura 3d). Los coeficientes de disimilitud de Chao-Jaccard basado en abundancias varían de 0.015 a 0.965 entre sitios y temporadas. Los tipos de vegetación más similares con respecto a su composición y abundancia de HSC fueron los sitios de *Abies* y los de *P. montezumae* (con coeficientes menores a 0.36), independientemente de la temporada de muestreo. Los bosques de *P. leiophylla* y *Abies* presentan coeficientes mayores a 0.85, indicando mayor diferencia en composición y abundancia de HSC entre estos. Mientras que en los sitios de *Quercus-Pinus* con respecto a los demás tipos de vegetación, en su mayoría presentaron valores de disimilitud medios (entre 0.43 y 0.64), excepto con los de *P. montezumae* y *P. leiophylla* en el año 2018 en donde se observan valores menores (Tabla 6).

Tabla 6. Coeficientes de disimilitud de Chao-Jaccard entre sitios con diferente vegetación y distintas temporadas de muestreo.

	QP_18	QP_19	PI_18	PI_19	Pm_18	Pm_19	A_18
QP_19	0.119						
PI_18	0.645	0.585					
PI_19	0.522	0.531	0.056				
Pm_18	0.629	0.226	0.534	0.548			
Pm_19	0.484	0.439	0.740	0.748	0.056		
A_18	0.602	0.353	0.965	0.960	0.229	0.337	
A_19	0.636	0.506	0.881	0.885	0.298	0.351	0.015

(QP): *Quercus*, (PI): *P. leiophylla* (Pm): *P. montezumae*, (A): *Abies*. 18 y 19 hace referencia a las dos temporadas de muestreo 2018, 2019.



### **Riqueza, composición, abundancia y producción de hongos de acuerdo con el grado de perturbación de los sitios**

Para todos los tipos de vegetación, los sitios con perturbación media son los que albergan un mayor número de especies. Como se puede observar en la Figura 4, los sitios con mayor riqueza fueron los bosques de *Quercus-Pinus* y *Abies* de perturbación media, con 16 especies, mientras que el de menor riqueza fue el bosque de *P. montezumae* de mayor perturbación con tan solo siete especies presentes (Tabla 7).

Con respecto a la abundancia, se encontró que el bosque de *Abies* perturbado presenta 845 esporomas en promedio por año de muestreo, lo que lo convierte en el sitio de mayor abundancia, mientras que el sitio PmP presenta tan solo 67 esporomas (Tabla 7). Los dos tipos de bosques de *Pinus* presentan un mayor porcentaje de esporomas en los sitios con perturbación media, a diferencia de lo observado en los bosques de *Quercus-Pinus* y *Abies*, en donde la mayor abundancia se encontró en sitios con mayor grado de perturbación (Figura 4b).

La mayor producción se registró en los sitios con grado medio de perturbación en casi todos los tipos de vegetación, a excepción del bosque de *P. leiophylla*, donde la producción es más alta en el sitio conservado (93.79 kg/ha) y muy similar al de perturbación media (92.23 kg/ha); el sitio con menor producción fue el bosque de *Quercus-Pinus* conservado con una producción anual promedio de 5.58 kg/ha (Tabla 7, Figura 4c).

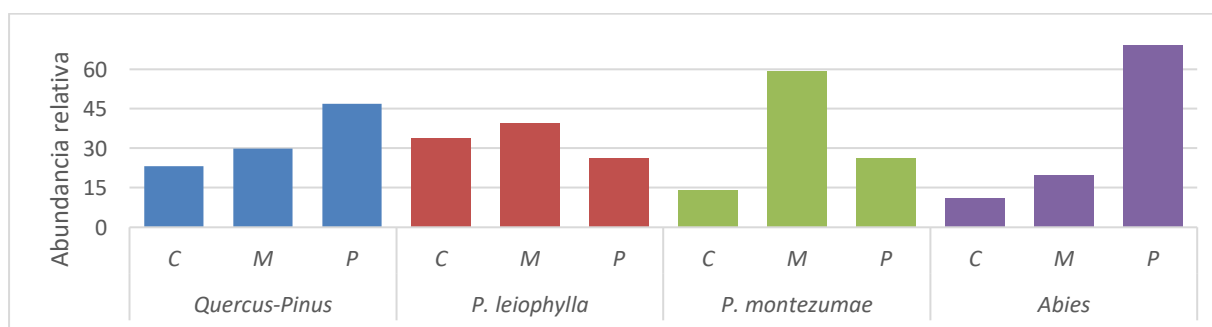
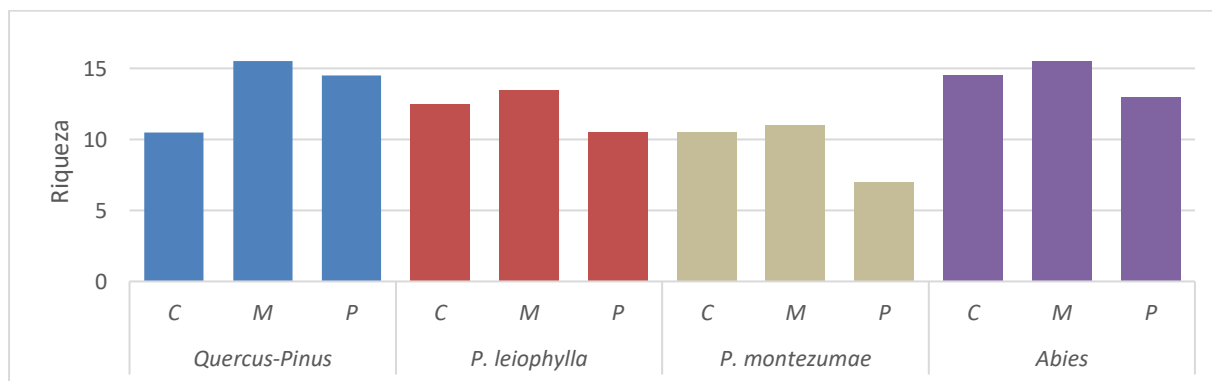
Los valores de diversidad  $H'$  de Shannon oscilan entre 0.97 y 1.84, en los sitios PmP y AC respectivamente. La diversidad promedio en la mayoría de los tipos de vegetación fue ligeramente mayor en los sitios conservados o con menor grado de perturbación, a excepción del bosque de *P. leiophylla* el cual presentó un valor más alto del índice de diversidad Shannon (1.76) en el sitio con mayor grado de perturbación (Figura 4d).

De acuerdo con el análisis de disimilitud (Chao-Jaccard), las mayores diferencias en composición y abundancia de HSC se encuentran entre los sitios mejor conservados en relación con los que tienen un mayor grado de perturbación, con valores por encima de 0.7 o de 0.57; este último en el caso de del bosque de *P. montezumae*, en donde la mayor disimilitud se presenta con el sitio de perturbación intermedia. En general, las diferencias entre los sitios mejor conservados con los de perturbación intermedia son menores en casi todos los tipos de vegetación (ver tabla 8).

Tabla 7. Riqueza, abundancia, producción y diversidad de hongos silvestres comestibles, en los cuatro tipos de vegetación y sus diferentes grados de perturbación.

Vegetación	Perturbación	Riqueza	Abundancia absoluta	Abundancia relativa	Producción (kg/ha)	Diversidad H' de Shannon
<b>Quercus-Pinus</b>	<b>C</b>	11	76	23	5.58	1.56
	<b>M</b>	16	97	30	19.32	1.46
	<b>P</b>	15	152	47	10.23	1.45
<b>P. leiophylla</b>	<b>C</b>	13	280	34	93.79	1.43
	<b>M</b>	14	327	40	92.23	1.23
	<b>P</b>	11	218	26	5.98	1.76
<b>P. montezumae</b>	<b>C</b>	11	67	14	7.71	1.70
	<b>M</b>	11	279	59	21.38	1.65
	<b>P</b>	7	124	26	8.55	0.97
<b>Abies</b>	<b>C</b>	15	133	11	30.15	1.84
	<b>M</b>	16	243	20	86.55	1.10
	<b>P</b>	13	845	69	31.19	1.73

(C= Conservado, M= Medio, P=Perturbado).



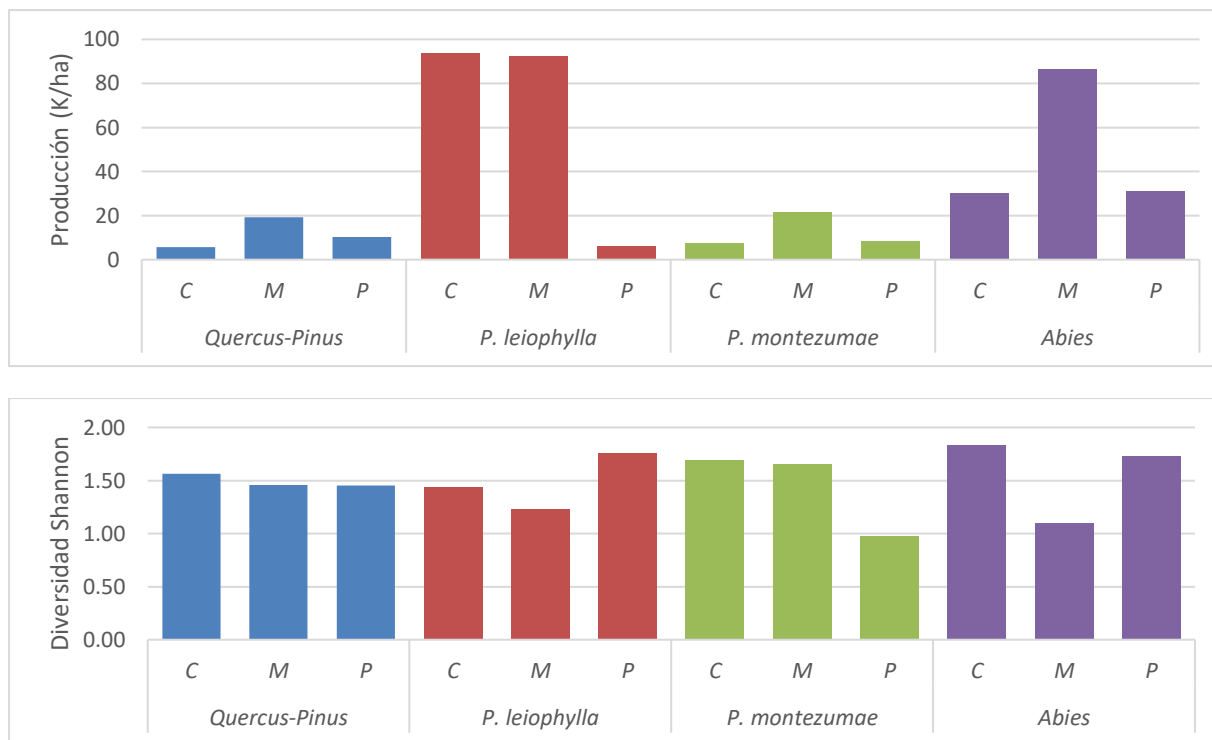


Figura 4. Riqueza, abundancia, producción y diversidad de esporomas comestibles, en los cuatro tipos de vegetación y sus diferentes grados de perturbación. (C= Conservado, M= Medio, P=Perturbado).

Tabla 8. Coeficientes de disimilitud de Chao-Jaccard entre sitios con diferente grado de perturbación en los distintos tipos de vegetación.

<b>Quercus-Pinus</b>		
	<b>QPC</b>	<b>QPM</b>
<b>QPM</b>	0.302	
<b>QPP</b>	<b>0.813</b>	0.335
<b>P. leiophylla</b>		
	<b>PIC</b>	<b>PIM</b>
<b>PIM</b>	0.263	
<b>PIP</b>	<b>0.889</b>	0.798
<b>P. montezumae</b>		
	<b>PmC</b>	<b>PmM</b>
<b>PmM</b>	<b>0.710</b>	
<b>PmP</b>	0.570	0.117
<b>Abies</b>		
	<b>AC</b>	<b>AM</b>
<b>AM</b>	0.059	
<b>AP</b>	<b>0.781</b>	<b>0.783</b>

(QP): Quercus, (PI): P. leiophylla (Pm): P. montezumae, (A): Abies. C= Conservado, M= Medio, P=Perturbado.

## ***Influencia de variables ambientales y de perturbación en la comunidad de HSC***

Los análisis de correspondencia canónica (CCA) permitieron eliminar las variables ambientales y de perturbación redundantes y conocer aquellas que tienen un mayor efecto en la variación de la producción de HSC.

**CCA con variables ambientales.** Este análisis permite asociar la presencia de las especies de macromicetos encontrados con las condiciones ambientales de los sitios. En condiciones con mayor humedad en el suelo y mayor concentración de fósforo se encontraron hongos como *Turbinellus floccosus*, *Lactarius salmonicolor*, *Lactarius mexicanus*, *Tricholoma flavovirens*. En sitios con baja concentración de carbono y alta en calcio (sitios PIC y PIM) están *Rhizopogon* aff. *michoacanicus*, *Ramaria* sp. 8, *Clavaria* sp. 1, *Hypomyces macrosporus*, *H. lactifluorum*, *Hygrophorus chrysodon*, *Russula* complex. *delica* y *Lactarius indigo*.

Aspectos de la estructura de la vegetación, como la densidad de árboles con DAP>5cm (D\_ad) y el diámetro mayor por sitio (Di\_Max) explican la presencia y producción de algunos de los macromicetos comestibles. Así mismo, en los sitios con menor densidad de árboles (sitios PmC, AP y QPP) se agrupan hongos como *Suillus pseudobrevipes*, *Ramaria* sp1, *Ramaria* sp. 7, *Suillus tomentosus*, *Lactarius deliciosus* y *Laccaria trichodermophora*.

El CCA realizado para explicar la producción de macromicetos en función de las variables ambientales mencionadas, fue significativo, según la prueba de Montecarlo (para el primer eje F= 2.24, P= 0.01; con todos los ejes canónicos F= 1.37, P= 0.02). El modelo explicó un 70% de la variación en la producción de la comunidad fúngica, el eje 1 (eigenvalue=0.81) y el eje 2 (eigenvalue=0.69) representaron el 17% y el 14% de la relación entre la producción y las variables ambientales. Las variables que explican en mayor medida la ordenación, según el método de forward fueron cuatro: tres características del suelo y una del relieve (Ca, P, Mg y altitud) (Figura 5).

**CCA con agentes de perturbación.** Se presentó una alta colinealidad entre dichas variables. Aquellas significativas para explicar la producción de HSC son contigüidad, mantillo, fuego, apertura del dosel y veredas (P= 0.005), el resto son redundantes.

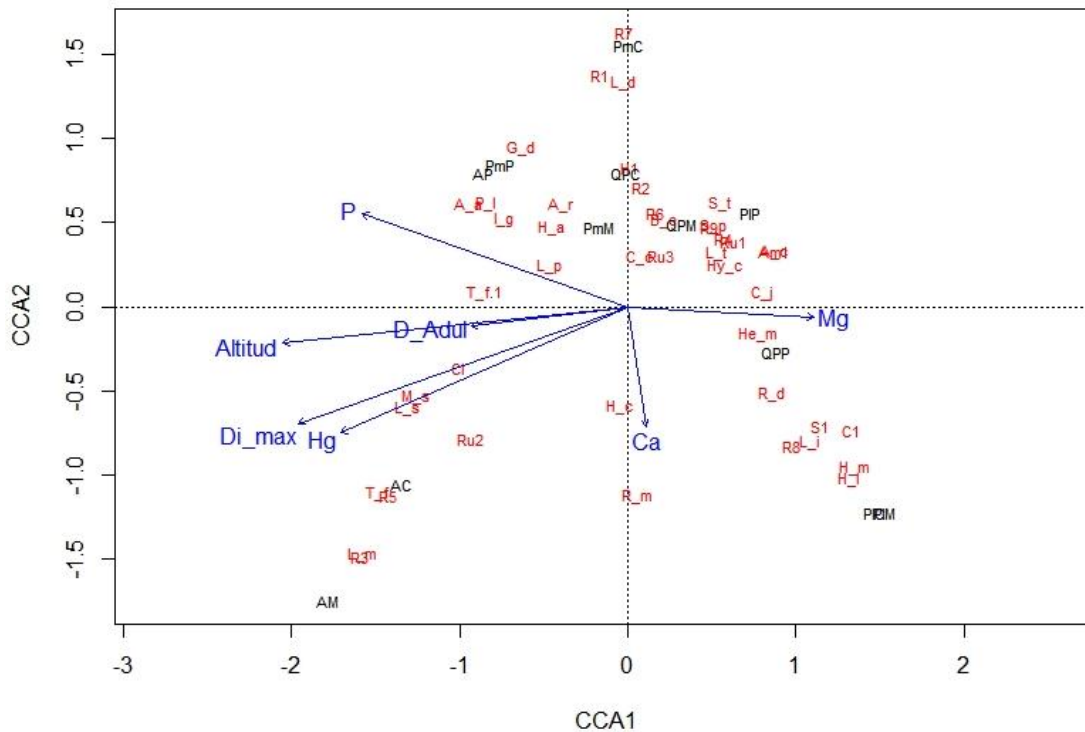


Figura 5. Gráfico de ordenación del análisis de correspondencia canónico (CCA) de los sitios con diferentes grado de perturbación (QP: *Quercus-Pinus*, PI: *P. leiophylla*, Pm: *P. montezumae*, A: *Abies*. C= Conservado, M= Medio, P=Perturbado). Producción de las especies (identificadas por el código que se muestra en la tabla 4) en función con factores ambientales (P: Concentración de fosforo en suelo. Mg: Concentración de magnesio en suelo. Ca: Concentración de calcio en suelo, Hg: Humedad gravimétrica del suelo. D\_Adul: Densidad de árboles DAP>5cm. Di\_max: diámetro de árbol mayor por sitio).

**CCA con variables ambientales y de perturbación significativas.** El CCA permitió reconocer el efecto que tienen las variables ambientales y de perturbación sobre la comunidad fúngica. El modelo explicó 90% de la variación en la producción de HSC, donde el eje 1 (eigenvalue=0.86) y el eje 2 (eigenvalue=0.72) representaron el 19% y el 16% de la relación entre la producción y variables evaluadas (prueba de Montecarlo con el primer eje  $F= 3.54$ ,  $P = 0.001$ ; con todos los ejes canónicos  $F= 2.03$ ,  $P= 0.001$ ).

De las nueve variables incluidas en el análisis, siete fueron significativas ( $P<0.05$ ) y dos de perturbación (veredas y apertura) marginalmente significativas ( $P< 0.1$ ) en la ordenación (Tabla 9). Este análisis permite identificar grupos de especies relacionadas con ciertas variables, como se observa con *Hebeloma aff. mesophaeum* e *Hygrophorus chrysodon* que se encuentran en sitios donde se han presentado incendios, mientras que *Helvella crispa* y *Rhizopogon aff. michoacanicus* son afines a mayor concentración de Ca (Figura 6).

Tabla 9. Resultado del análisis Forward de selección de variables significativas.

<b>Variables</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Veredas</b>	1.4321	0.090
<b>Apertura</b>	1.481	0.090
<b>P</b>	1.6197	0.049 *
<b>Fuego</b>	1.5514	0.045 *
<b>Mg</b>	1.6304	0.045 *
<b>Contigüidad</b>	1.6375	0.045 *
<b>Ca</b>	1.635	0.040 *
<b>Altitud</b>	1.6844	0.025 *
<b>Profundidad de mantillo</b>	2.1694	0.005 **

El análisis permite identificar también sitios que comparten ciertas características; por ejemplo AC y AM son los de mayor altitud y en ellos encontramos hongos como *Turbinellus floccosus*, *Lactarius mexicanus* y *Morchella snyderi*, mientras que los sitios PmP, PmM y AP se agrupan no solo por la altitud similar, sino que además presentan mayor concentración de P y mayor cantidad de veredas, en donde encontramos mayor producción de *Tricholoma flavovirens*, *Hygrophoropsis aurantiaca*, *Pholiota lenta* y *Amanita complex rubescens*. Otros sitios que se agrupan son PIP y QPM, los cuales se caracterizaron por presentar mayor apertura del dosel y menor grosor de mantillo, en donde se encuentran algunos hongos como *Suillus tomentosus*, *Ramaria* sp. 4, sp. 9, *Russula* sp. 1, *Suillus pseudobrevipes*, *Agaricus campestris*, *Amanita* sp. 1 (Figura 6).

Otros sitios que se agrupan claramente son PIM y PIC, los cuales comparten la presencia de hongos como *Rammaria* sp. 8, *Clavaria* sp. 1, *Hypomyces macrosporus* e *H. lactifluorum*. Estos sitios corresponden al mismo tipo de vegetación y comparten la mayoría de las características ambientales a excepción de la presencia de fuego y la concentración de Ca. En este caso, PIC no presenta evidencia de fuego y tiene la concentración más alta de Ca en el suelo, mientras que PIM presenta gran evidencia de fuego y baja concentración de Ca (Figura 6).

Por último, mediante el análisis de redundancia parcial, se observó que las variables de perturbación explican un 42% de la variación en la producción de los HSC, mientras que las variables ambientales explican un 48% de la misma.

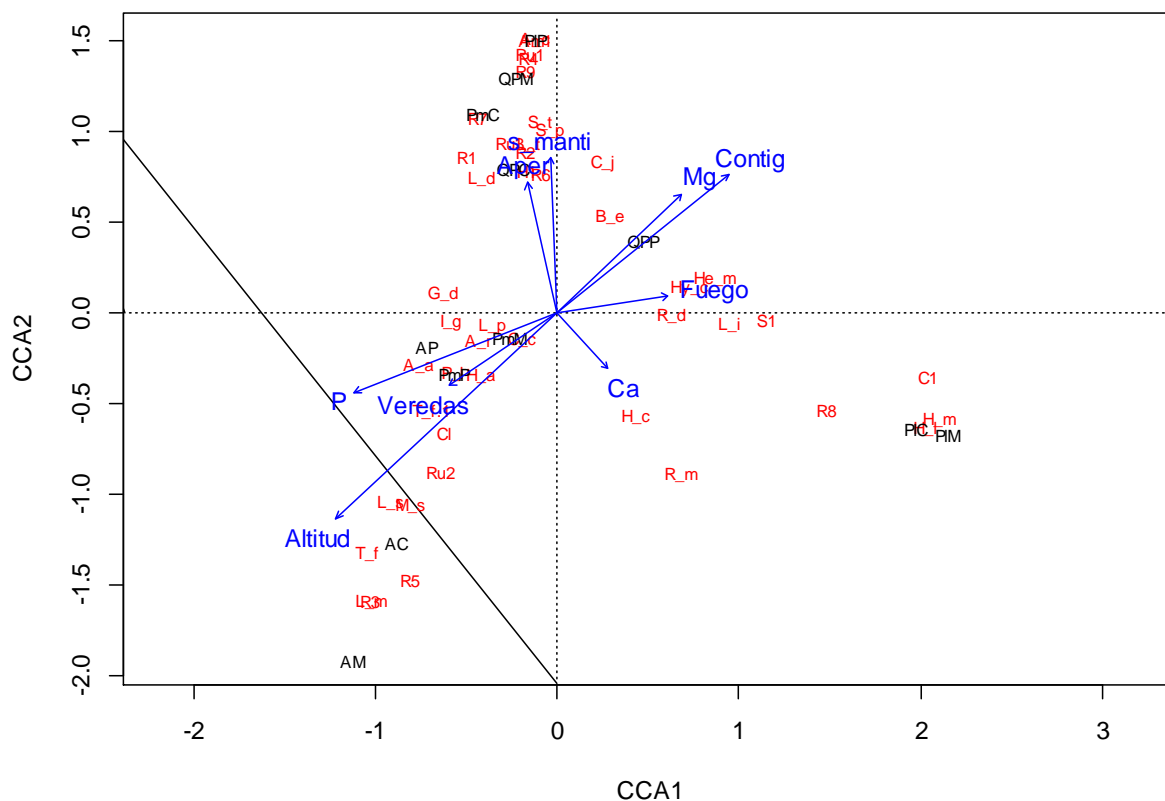


Figura 6. Gráfico de ordenación del análisis de correspondencia canónico (CCA) de los sitios con diferentes grado de perturbación (QP: *Quercus-Pinus*, PI: *P. leiophylla*, Pm: *P. montezumae*, A: *Abies*. C= Conservado, M= Medio, P=Perturbado), producción de las especies (identificadas por el código que se muestra en la tabla 4) y variables ambientales y de perturbación explicativas significativas.

## Discusión

### **Caracterización de los sitios**

En la zona de estudio se observó heterogeneidad en las condiciones, principalmente promovidas por la altitud, lo cual resulta en diferentes tipos de bosques. Los muestreos que se realizaron permitieron identificar diferencias en la estructura y composición de los sitios, además de tener evidencias de los agentes que han promovido el deterioro. Esto da como resultado una matriz de diferentes tipos de bosques con diferente nivel de conservación, dentro de los cuales se desarrollan los hongos.

Es bien sabido que la perturbación genera cambios en la composición y estructura de la vegetación (González-Espinosa *et al.*, 2009; Dummel y Pinazo, 2013; Bello-Cervantes, 2005),

lo cual se observa en el presente estudio. En cada tipo de vegetación se encontró que aquellos sitios con menor nivel de deterioro tienen menor densidad de individuos forestales jóvenes, pero, mayor densidad de adultos, además de mayor área basal.

El índice de perturbación fue una herramienta de gran utilidad para evaluar el grado de deterioro presente en los sitios analizados, ya que permite asignar valores numéricos mediante un análisis multiparamétrico y que facilita la incorporación de variables que se consideran de impacto en la zona. Los resultados obtenidos indican que en el área de estudio la ganadería no parece ser un problema, ya que las variables de ramoneo, islas de erosión y excremento, no presentan gran variación, a pesar de que se ha reportado como uno de los problemas ambientales en el PNLM (Marín-Castro *et al.*, 2015)

Los agentes de perturbación identificados como los que tienen mayor impacto en el área de estudio son: la contigüidad a núcleos de actividad humana, la compactación del suelo, la presencia de fuego, la profundidad de mantillo, terreno de cultivo, tala y extracción de leña, que podrían explicar la pérdida del bosque que cubre al Parque Nacional de la Malinche, a razón del 45% en 70 años (de 30 000 hectáreas en 1938, a 13 500 hectáreas en el año 2000; Vargas, 2005).

Los valores de densidad aparente obtenidos en los análisis del suelo corresponden a la clasificación de arenosos (entre 1.2 y 1.6 g cm<sup>-3</sup>; Dick, 2004). Esta propiedad es un indicador de otras características importantes del suelo, como la compactación, la porosidad, el grado de aireación, la capacidad de infiltración, el contenido de MO y la humedad, lo que podría condicionar la circulación de agua y aire en el suelo, además de influir los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento), la presencia de hongos (Rubio, 2010; Salamanca y Sadeghian, 2006). Por lo tanto, se esperaría que los sitios con menor grado de perturbación presentaran menores valores de DA y mayores de porosidad, materia orgánica y humedad; sin embargo, no se encontró dicho patrón, lo cual se puede atribuir a que los agentes de perturbación que afectan cada tipo de bosque son distintos.

El pH para la mayoría de los sitios fue ácido, como lo reportó Romero *et al.* (2015) en suelos de La Malinche. Este pH permite la solubilización de micronutrientes y puede atribuirse a la presencia de coníferas, las cuales incrementan la acidez del suelo. La descomposición de las hojas de las especies caducifolias, como el encino, es por lo general más rápida (a lo largo de un año), a diferencia de las de las coníferas cuyo proceso de descomposición puede tardar de 7 a 10 años (Lilienfein *et al.*, 2000). La razón por la cual los sitios de *Quercus* no tienen un pH mucho menor puede ser porque estos bosques son mixtos y se encuentra inmersos en bosque de *Pinus*.

La concentración de los nutrientes es muy variable, lo cual se explica por la presencia de diferentes tipos y estructura de vegetación, pero además por la acción de distintos agentes de perturbación que afectan estos bosques. Por ejemplo, se ha demostrado que el fuego



incrementa las concentraciones de P (Rodríguez-Zamudio, 2017); sin embargo, esto depende del grado de combustión de la materia orgánica del suelo, de la cantidad de cenizas aportadas, así como de la capacidad de fijación de P por el suelo (Sacchi *et al.*, 2015; Domínguez, 2016) y por el tipo de vegetación afectado (Farfan, 2010).

Los sitios dominados por *P. montezumae* y *Abies* presentaron mayor concentración de P y N que los de *Quercus* y *P. leiophylla*, lo que indica que los primeros muestran cierto efecto homogeneizador de los aportes de hojarasca, además de mayor cantidad y descomposición de la materia orgánica.

Los sitios de *Quercus* y *P. leiophylla* registraron mayor concentración de Mg que los de *P. montezumae* y *Abies*, lo que puede deberse a la remoción y almacenamiento de este nutriente en la biomasa (y necromasa), por parte de la vegetación o la movilización de este, por medio de las raíces de las plantas. Estos resultados pueden explicarse a la vez por la riqueza de la cubierta vegetal, en el sentido de que el dosel arbóreo, normalmente mono o di-específico, tiende a producir una influencia más homogénea de los nutrientes en los primeros decímetros de suelo que la cubierta con mayor número de especies. Así mismo, en los claros del bosque, que están ocupados por diversas especies de herbáceas, la incorporación de productos al suelo puede ser más irregular y promueve una variedad de contenidos de nutrientes en el suelo (Pozo, 2008).

### ***Riqueza, composición, abundancia y producción de hongos por tipo de vegetación***

En el presente trabajo se registraron 46 taxa de hongos útiles para la comunidad de SPT, que representan más del 50% de las 93 especies reportados para el PNLN, Tlaxcala (Montoya *et al.*, 2004). La menor riqueza reportada en nuestro estudio con respecto al total, se puede atribuir a la menor superficie estudiada, menor temporada de muestreo, a las diferentes características de vegetación y perturbación incluidas, así como, a las variaciones interanuales.

La composición florística de la vegetación influye en las características de la comunidad fúngica, debido a que hay preferencias de algunos hongos ectomicorrízicos y saprotróficos con sus árboles hospedadores específicos o cama (Tomao *et al.*, 2017), que les proporcionan una disponibilidad de hábitat única y una calidad de recursos particular (Brown *et al.*, 2006; Zhang *et al.*; 2010). Diversos estudios en el mundo han mostrado cómo los patrones de riqueza y distribución de macromicetos se relacionan con la composición de la comunidad arbórea (Fierros *et al.*, 2000; Alday *et al.*, 2017; Nouhra *et al.*, 2012; Gomez-Hernandez y Williams-Linera, 2011; Boddy *et al.*, 2014; Smith *et al.*, 2009; Durall *et al.*, 2016), lo que coincide con lo encontrado en nuestro estudio, que documenta cómo la composición, abundancia y producción de HSC en el zona cambia tanto en el espacio (por tipo de vegetación), como en

el tiempo (temporada de muestreo); sin embargo, la riqueza y diversidad de especies no difirió estadísticamente entre tipos de vegetación y temporada de estudio.

La abundancia total por año (2,838 esporomas al año) y la producción (137.55 k ha<sup>-1</sup> por año) fueron altas en comparación con otros estudios realizados en el PNLM (Zamora-Martínez *et al.*, 2007; Montoya *et al.*, 2014), y se encuentran dentro del intervalo 50 - 194 kg ha<sup>-1</sup> reportado en otros estudios hechos en bosques de coníferas y mixtos en México (Martínez y Moreno, 2006; Zamora-Martínez, 2008; Garibay-Orijel *et al.*, 2009; Velasco-Bautista *et al.*, 2010).

Las dos especies más abundantes, *Gymnopus dryophilus* y *Laccaria trichodermophora*, coinciden con las identificadas en bosque de coníferas de México, en los que se han reportado a especies de los géneros *Laccaria* y *Gymnopus* como las de mayor abundancia y producción (Quiñónez-Martínez *et al.*, 2008; Garibay-Orijel *et al.*, 2009; Torres, 2009; Montoya *et al.*, 2014). Este patrón coincide con lo establecido en otras regiones del mundo, que los hongos con un alto número de registros locales coinciden con los densamente distribuidos a nivel nacional (Gange *et al.*, 2019). A pesar de la gran cantidad de esporomas de estas especies, no son las que presentan mayor producción (peso fresco), pues *Hypomyces macrosporus*, *Russula complex. delica* y *H. lactifluorum* son en las que registraron los valores de mayor peso fresco (31.59 k ha<sup>-1</sup>, 25.10 k ha<sup>-1</sup> y 17.11 k ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Solamente *R. complex delica* ha sido mencionada en otros estudios de México como sobresaliente en su producción (Torres, 2009; Velasco-Bautista *et al.*, 2010; Montoya *et al.*, 2014), pero esto no ocurre con *Hypomyces*.

Este estudio destaca que el bosque de *Abies* es el tipo de vegetación con mayor abundancia de esporomas, en comparación con los otros, lo que coincide con lo que encontraron Burrola-Aguilar *et al.* (2013) en el Estado de México, quienes además reportan mayor riqueza y abundancia de esporomas en este tipo de vegetación. En contraste con nuestros resultados, en el PNLM, Montoya *et al.*, (2014) registraron una mayor abundancia en un área de bosque de *Pinus* y la menor en el bosque de *Pinus-Abies*. Esto podría explicarse por la ubicación en el relieve de nuestra zona de estudio, ya que ellos mismos demostraron que, a pesar de encontrarse en la misma área natural protegida, existen diferencias en la producción, abundancia, riqueza y diversidad de la comunidad de HSC en diferentes laderas de La Malinche. Sin embargo, nuestros resultados sobre la producción coinciden con lo reportado por los autores anteriores, ya que, al igual que ellos, se encontró la mayor producción de HSC en un bosque de *Pinus*.

Algunos estudios han demostrado que los factores principales relacionados con la fructificación de hongos son la precipitación, temperatura y humedad (Taye *et al.*, 2016; Buntgen *et al.*, 2015; Gomez-Hernandez y Williams-Linera, 2011; Buntgen *et al.*, 2012; Parladé *et al.*, 2017). Martínez-Peña *et al.* (2012), en un estudio realizado durante 14 años en Escocia, demuestran que tanto la temperatura como la precipitación son variables que determinan la producción de hongos ectomicorrícicos, pronosticando que los otoños secos y fríos serán menos productivos,

mientras que, en los otoños húmedos y cálidos el rendimiento de los hongos ectomicorrícicos será mucho mayor.

Nuestro trabajo se realizó a lo largo de dos años, lo que permite conocer una variación parcial a través del tiempo, pero sería necesario un análisis que se desarrolle durante un mayor número de años, que permita tener una visión más completa, al considerar la variabilidad de los parámetros climáticos. En el caso de la dimensión espacial, este estudio sí incluye la variabilidad y los resultados obtenidos muestran, por ejemplo, cómo el bosque de *Abies* ubicado a una mayor altitud presenta mayor precipitación y menor temperatura, y es, a su vez, el sitio de mayor riqueza y abundancia de HSC, pero no el de mayor producción.

La diversidad encontrada en el presente estudio fue menor que la reportada en la mayoría de los trabajos realizados en tipos de vegetación similares (Torres, 2009; Quiñónez-Martínez *et al.*, 2008; Burrola-Aguilar *et al.*, 2013; Motoya *et al.*, 2014). Esto podría explicarse por la gran dominancia de algunas especies en nuestra área de estudio (Tabla 10).

Tabla 10. Datos de riqueza, producción y diversidad de hongos reportados en estudios previos sobre HSC en México.

Estudio	Localización	Tipo de vegetación	Riqueza	Producción	Diversidad H'
Martínez y Moreno (2006)	Santa Catarina del Monte, Edo. De México	Bosque de <i>P. hartwegii</i>	15	107.3 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	-----
		Bosque <i>A. religiosa</i>	21	214.1 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	-----
Torres (2009)	PNLM, Tlaxcala	Bosque de <i>Abies religiosa</i>	49	27.3 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	1.82 y 2.69
Garibay-Orijel <i>et al.</i> , (2009=)	Ixtlán de Juárez, Oaxaca	Bosques de <i>Pinus-Quercus</i>	81	5.6 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	H' entre 0.59 y 1.16
Velasco <i>et al.</i> (2010)	Tlaxco, Terrenate y Nancamilpa, Tlaxcala.	Bosque de coníferas	153	193.7 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	-----
Quiñónez-Martínez <i>et al.</i> (2008)	Bocoyna, Chihuahua	Bosque de <i>Pino</i> y de <i>Pinus-Quercus</i>	39		H' = 2.04 a 3.84
Burrola-Aguilar <i>et al.</i> (2013)	Amanalco, Estado de México	Bosque de <i>Abies</i>	50		H' = 3.03
		Bosque de <i>Abies-Pinus</i>	80		H' = 3.41
		Bosque de <i>Pinus</i>	48		H' = 2.87
		Bosque de <i>Pinus-Quercus</i>	49		H' = 3.09
		Bosque de <i>Quercus</i>	20		H' = 2.63

Montoya <i>et al.</i> (2014)	Orientación Sureste y Suroeste del PNLM, Tlaxcala	Bosque de <i>Pinus</i> y de <i>Pinus-Abies</i>	61	30.1 Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Sureste H' = 1.78 Suroeste H' = 3.0
		Ladera Sureste	48		
		Ladera Suroeste	49		

### **Riqueza, composición, abundancia y producción de hongos por grado de perturbación**

En todos los tipos de vegetación se encontró que la mayor riqueza y producción se presenta en sitios con un nivel medio de perturbación, lo cual coincide con algunos estudios en los que se ha observado que perturbaciones de baja o media intensidad incrementan la riqueza, diversidad o producción de la comunidad fúngica (Salo y Kouki, 2018; Collado *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019). Esto se puede explicar debido a que la perturbación crea un entorno en el que algunas especies, como aquellas pirófilas o pioneras pueden establecerse y persistir (Claridge *et al.*, 2009; Gassibe *et al.*, 2011), lo que se suma a la diversidad general de las especies. Sin embargo, demasiada perturbación reduce la diversidad al eliminar las especies sensibles de sucesión tardía y, por otro lado, en sitios sin perturbación encontramos solo especies de etapas sucesionales tardías (Savoie y Largeteau, 2011; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2013). Este resultado es similar a la hipótesis del disturbio intermedio que propone Connell (1978) para el caso de las plantas, en el que menciona que la diversidad de especies locales es máxima en un nivel intermedio de perturbación.

Es importante resaltar que, aunque se ha demostrado que la baja o media intensidad de los disturbios generan un incremento en la riqueza y favorecen la producción de hongos silvestres comestibles, aquellos rodales senescentes o sin manejo forestal en los que se tiene menor producción, encontramos gran diversidad de especies de hongos, muchas de ellas también comestibles (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015). Además, estos bosques maduros actúan como fuente de inóculos que interactúan constantemente con aquellos rodales jóvenes y perturbados, al aportar a su recuperación incrementar la diversidad y favorecer así la resiliencia del ecosistema (Cowan *et al.*, 2016).

La abundancia de HSC en los bosques de *P. leiophylla* y *P. montezumae* sigue el comportamiento anterior; es decir, hay mayor abundancia en los sitios de perturbación media, pero en los bosques de *Abies* y de *Quercus-Pinus* se registró mayor abundancia en sitios con mayor grado de perturbación. Esto se debe a que más del 50% de la abundancia corresponde a una especie. En el bosque perturbado de *Quercus-Pinus* la especie dominante es *L. trichodermophora*, mientras que en el bosque de *Abies* con mayor perturbación hay una clara dominancia por *G. dryophilus*.

*Laccaria trichodermophora* es una especie de hongo ectomicorrizógeno que se asocian a árboles juveniles, particularmente en bosques templados (Kropp y Mueller, 1999) y se ha catalogado como una especie abundante en sitios quemados o especie de respuesta a perturbaciones (Hughes *et al.*, 2020). Esto explica su dominancia en el sitio de *Quercus-Pinus* con mayor perturbación, el cual presenta evidencia de fuego y extracción de leña y madera, por lo cual tiene una alta densidad de árboles jóvenes y pocos adultos. Nuestros resultados coinciden con los reportados por Quiñónez-Martínez *et al.*, (2008), quienes encontraron en un bosque joven una alta dominancia de una especie de *Laccaria*.

Los agentes de perturbación que tienen mayor efecto en el sitio menos conservado de *Abies* (AP) son la tala y el fuego, lo que ha llevado a una acumulación de materia orgánica en el suelo; esto podría favorecer la fructificación de *G. dryophilus* que es una especie saprótrufa. Algunas especies tanto del género *Gymnopus* como *Laccaria* se han considerado pioneras, presentes en la sucesión fúngica posterior a un evento de incendio (Gassibe *et al.*, 2011; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2013).

A pesar de que los sitios de perturbación media presentan mayor riqueza, la mayor diversidad se registró en los bosques con menor perturbación, lo cual se atribuye a la equitatividad que existe en ellos, pues se observa menor dominancia que en el resto, a excepción del bosque de *P. leiophylla*, en el cual la mayor equitatividad está en el sitio de mayor perturbación.

### ***Influencia de variables ambientales y de perturbación en la comunidad de HSC***

La composición de especies fúngicas presenta diferencias entre los bosques. Los de mayor similitud son los de *P. montezumae* y *Abies*, mientras que, los de mayor diferencia fueron los sitios de *Abies* con los de *P. leiophylla*. Una explicación se relaciona con la ubicación altitudinal de los sitios. Hay menos disimilitud entre sitios con diferencias de altitud menores, que entre aquellos con intervalos más amplios entre ellos y esas diferencias están asociadas con cambios tanto en la temperatura como con la precipitación. Algunos autores han informado que la composición de macromicetos varía entre los bosques de una región o conforme cambia la distribución de los árboles (Alday *et al.*, 2017; Durall *et al.*, 2006; Nouhra *et al.*, 2012; Gomez-Hernandez y Williams-Linera, 2011; Boddy *et al.*, 2014).

La altitud fue una variable relevante considerada en el estudio, que explica en mayor medida la composición y producción de HSC y que influye en la comunidad fúngica. En bosques de España se encontró que existe una correlación positiva entre la altitud y la biomasa de hongos comestibles (Alday *et al.*, 2017; De-Miguel *et al.*, 2014; Bonet *et al.*, 2008; Bonet *et al.*, 2010), pero una variación anual de riqueza saprotrófica mayor en elevaciones más bajas que en elevaciones más altas (Alday *et al.*, 2017). Otro estudio en un bosque nuboso tropical de México muestra que la riqueza de macromicetos se correlacionó positivamente con la elevación, pero la diversidad fue menor en sitios de mayor altitud.

En cada tipo de vegetación también se encontraron diferencias en la composición de macromicetos en sitios con diferente grado de perturbación, los que más difieren son aquellos de menor contra los de mayor perturbación (excepto en el bosque de *P. montezumae*). Las principales variables que podrían explicar estas diferencias son las variables de suelo, la estructura de vegetación y los disturbios. Se observa que en la mayoría de los sitios con grado de perturbación mayor, hubo altas concentraciones de P, en comparación con los conservados, mientras que en los de perturbación menor, son mayores las concentraciones de Mg. Estas diferencias se podrían atribuir al fuego, ya que en todos los sitios de mayor nivel de perturbación hay evidencia de fuego y se ha reportado en algunos estudios un incremento de P después de incendios de intensidad moderada, debido a la aportación de este elemento en las cenizas (Caldwell *et al.*, 2002; Capulín-Grande *et al.*, 2010), pero una disminución de otros nutrientes como K, Mg, Zn y Cu (Maycotte *et al.*, 2002).

El CCA mostró un efecto significativo de algunas de estas variables en las comunidades fúngicas. La producción de HSC se correlacionó con la humedad del suelo y nutrientes como P, Ca y Mg. Este patrón coincide con el registrado en otros estudios en los que se menciona que la disponibilidad de humedad del suelo es un determinante importante de la fructificación (Martínez-Peña *et al.*, 2012); si el potencial hídrico es demasiado bajo, los hongos no pueden obtener suficiente agua para el desarrollo del esporoma (Barroetaveña *et al.*, 2018).

A diferencia de nuestro estudio, en otros trabajos se ha encontrado que los nutrientes correlacionados con la producción de macromicetos fueron N, P y K. Trudell y Edmonds (2004) mencionan que el aumento de nitrógeno puede influir en la formación de micorrizas e inducir en la formación de esporomas. También se ha documentado que el P puede aumentar la infección de hongos ectomicorrizógenos (Cairney, 2011). Gassibe *et al.* (2015) encontraron una relación positiva significativa entre el porcentaje de fósforo y la producción de hongos micorrícicos; específicamente *Laccaria laccata* y *L. bicolor* se correlacionaron positivamente con N y P. Cabe mencionar que los sitios con mayor concentración de P se encuentran en el bosque de *Abies* en el que registramos la mayor riqueza y abundancia de macromicetos.

Las diferencias entre los sitios de menor y mayor perturbación con respecto a la composición y abundancia de hongos también se atribuyen a las características de la estructura de la vegetación, ya que en sitios conservados encontramos mayor densidad de árboles adultos, mayor área basal pero menor apertura y densidad de árboles jóvenes a diferencia de los sitios de mayor grado de perturbación en los que encontramos un patrón inverso.

La edad del rodal es una de las variables más relacionadas con la producción fúngica. Trabajos realizados en ecosistemas mediterráneos y bosques de Alemania coinciden en que los esporomas de hongos micorrizógenos son más abundantes y presentan mayor producción en los rodales jóvenes (Tomao *et al.*, 2017; Goldmann *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Bonet *et al.*, 2004). En Europa, se ha reportado que la producción de esporomas comestibles comercializados, en especial el grupo *L. deliciosus*, tienen un rendimiento máximo

en rodales jóvenes, de entre 15 y 30 años (Taye *et al.*, 2016; Bonet *et al.*, 2012; Bonet *et al.*, 2004). Estos datos concuerdan de alguna forma con los nuestros, pues condiciones similares se observan en los bosques con perturbación media en los que encontramos de la misma forma mayor producción de HSC.

Debido a la importancia socioeconómica de los hongos comestibles en el mundo, se han desarrollado trabajos encaminados a conocer las variables de estructura de la vegetación que influyen en la comunidad fúngica, para facilitar y mejorar las decisiones de manejo forestal que favorezcan la producción de hongos; ejemplo de ello son los modelos predictivos en los que se relaciona la producción, riqueza y diversidad de hongos comestibles con las características del bosque. Estos trabajos han mostrado que el área basal del rodal es un fuerte predictor de la producción de macromicetos (De-Miguel *et al.*, 2014). Bonet *et al.* (2008; 2010) encontraron en algunos bosques de España que la producción de HSC es mayor cuando el área basal del rodal se encuentra entre 15 y 20 m<sup>2</sup> por hectárea. Martínez-Peña *et al.* (2012) mencionan que para *B. edulis*, los rodales con área basal baja o alta son los menos productivos, el área basal óptima para la producción de este hongo es de alrededor de 40 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>. En nuestro estudio el área basal es muy variable, con valores de entre 2.2 y 79.4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, sin embargo, no se relacionó significativamente con la producción de HSC. Si bien el área basal es un predictor de la producción de hongos en algunos modelos, el nivel óptimo en el que se maximiza la producción de hongos es específica del ecosistema forestal y de los hongos de interés y, en el presente estudio, se considera una gran riqueza de HSC.

Martínez-Peña *et al.* (2012) demostraron que la altura dominante de los árboles es también una variable que influye significativamente en la producción de los hongos ectomicorrícicos, ya que sitios con árboles de baja altura dominante fueron menos productivos. La altura dominante óptima para la producción de *Lactarius* fue de 13-14 m. La altura promedio de los árboles en los sitios de estudio varía entre 6 y 29 m, y es mayor en áreas de menor nivel de perturbación y en los bosques de *P. montezumae* y *Abies*. A pesar de la variación de este factor, no se relacionó significativamente con la producción de HSC, ya que en este trabajo tanto el área basal como la altura de los árboles resultaron variables redundantes con la densidad de árboles adultos y diámetro mayor de los árboles, de acuerdo con el CCA.

Los agentes de perturbación significativos que explicaron la producción de macromicetos comestibles según el CCA fueron la contigüidad a actividades antrópicas, la profundidad del mantillo, la presencia de veredas, el fuego y la apertura del dosel (que fue redundante con la tala). No hay estudios en los que se evalúe el efecto como tal de los primeros agentes sobre la comunidad de hongos; sin embargo, se ha reportado que la remoción de materia orgánica intensiva ocasiona el aumento de la temperatura de la superficie (Mushinski *et al.*, 2018), generando condiciones más secas que tienen efecto en la comunidad de hongos, incluso 20 años después de la perturbación (Kranabetter *et al.*, 2017). Aunado a la temperatura, modifica otras características del suelo como el carbono orgánico, nitrógeno y el pH, lo que ocasiona

una disminución en la diversidad y abundancia en la comunidad fúngica (Mushinski *et al.*, 2018).

Luoma *et al.* (2006) compararon tres técnicas de recolección de matsutake (*Tricholoma magnivelare*) y concluyeron que el rastrillado profundo sin remplazo de hojarasca fue la técnica que suprime fuertemente (50%) la fructificación durante al menos nueve años. Por su parte, Egli *et al.* (2006) no encontraron un impacto negativo directo de la recolección de hongos en la producción de esporomas durante un período de 29 años. No obstante, descubrieron que la "caminata normal asociada con la recolección de hongos" redujo la producción de rebozuelos en aproximadamente un 30%. Por lo que concluyen que los primordios formados en la superficie del suelo podrían destruirse mecánicamente al caminar sobre el suelo del bosque, lo que podría explicar el impacto de la remoción del mantillo y las veredas en la producción de macromicetos en el área de estudio.

En una investigación realizada en bosques de coníferas en Canadá con hongos ectomicorrizogenos, se registró que la remoción del suelo del bosque causó un aumento en la abundancia de *Cadophora finlandica*, *Amphinema byssoides*, *Suillus tomentosus* y algunas especies de *Wilcoxina* (Kranabetter *et al.*, 2017). Tales resultados coinciden con los nuestros, pues se observó que una de las especies que incrementa su producción en sitios de mayor apertura y menor grosor de mantillo fue *Suillus tomentosus*. *A. campestris* también es abundante en sitios con tales características, esto se debe a que es un hongo característico de las zonas abiertas o prados (Callac, 2007).

Existen muchos estudios en los que se ha evaluado el efecto del fuego en la comunidad fúngica, el cual depende de las características del disturbio; por ejemplo, se ha demostrado que su frecuencia modifica sustancialmente la composición y en sitios donde los incendios son frecuentes se mantiene una comunidad de hongos adaptada al fuego, muy distinta a la de sitios no quemados o quemados solo una vez (Oliver *et al.*, 2015). Esto significa que el tiempo transcurrido desde el incendio también es determinante, en sitios en los que el incendio ha ocurrido recientemente (1 o 2 años), se presentan cambios en la diversidad, riqueza, producción y composición (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015, Mediavilla *et al.*, 2014). Mientras que la riqueza y diversidad de sitios quemados se asemejan a los no quemados después de entre 5 y 9 años desde la perturbación (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2013, Kurth *et al.*, 2013); sin embargo, diversos estudios realizados a largo plazo demuestran que la composición de la comunidad fúngica continúa siendo distinta incluso después de una década de la presencia del fuego (Oliver *et al.*, 2015, Salo y Kouki, 2018, Kurth *et al.*, 2013).

La intensidad del incendio también determina la composición de la comunidad de hongos, se ha demostrado que los incendios de alta intensidad generan una rotación sustancial de la comunidad de hongos del suelo de basidiomicetos por ascomicetos (Reazin *et al.*, 2016; Kutorga *et al.*, 2012) y la composición cambia de una comunidad diversa a una comunidad con pocas especies dominantes (Rincón y Pueyo, 2010; Reazin *et al.*, 2016, Salo y Kouki, 2018,



Kipfer *et al.*, 2010). Por el contrario, en sitios con incendios de baja intensidad la riqueza puede no cambiar, recuperarse tan solo dos años después del incendio (Gómez Reyes *et al.*, 2014, Rincón y Pueyo, 2010) e incluso aumentar (Salo y Kouki, 2018), por lo que pareciera que los incendios de baja intensidad tienen un efecto transitorio y pequeño.

Durante el presente estudio la mayoría de los incendios han sido de baja intensidad, sin embargo, con respecto a la frecuencia y tiempo transcurrido desde el incendio existe una gran variabilidad, ya que año con año existe presencia de incendios en el PNLM, los cuales, a pesar de los esfuerzos de CONAFOR y las brigadas comunitarias, no se han podido evitar del todo. Por ejemplo, el sitio QPP se quemó en el 2016, mientras que el de PIP se quemó el primer año del monitoreo (2018); PmP se incendió en 2017 y el segundo año de monitoreo (2019), PmM solo en 2017 y el de AP tiene evidencia de incendio del año 2005. Esta variación impide establecer conclusiones generales sobre el efecto que tiene el fuego en la producción de la comunidad de hongos; sin embargo, el CCA nos permitió identificar a algunos hongos afines a este disturbio, como *H. mesophaeum* e *H. chrysodon*, los cuales presentan mayor producción y abundancia en sitios con presencia de fuego. Tal resultado coincide con el reportado por Montoya *et al.* (2014), quienes encontraron un efecto favorable de los incendios en la producción de *H. mesophaeum* en bosques de *Pinus* en el parque. Kipfer *et al.*, (2011) también mencionan que esta especie se encuentra entre las especies pirófilas en bosque de *Pinus sylvestris*. De igual forma en un estudio reciente en bosque de *P. ponderosa*, se registró a una especie de *Hygrophorus* como una de la más abundante tras incendios de media intensidad; *Russula brevipes* e *Hypomyces lactifluorum* también fueron comunes en sitios tras incendios de moderada intensidad y no quemados (Owen *et al.*, 2019), lo que coincide con nuestro estudio.

La tala o apertura del bosque es una de las variables de mayor impacto en la zona, así como en muchas áreas, pues se ha catalogado como la perturbación más grave, ya que ha llevado a la pérdida permanente de la cubierta forestal y a modificaciones sustanciales en los ecosistemas en muchas partes del mundo (FAO, 2013). Los estudios que evalúan el efecto de la remoción forestal en los hongos se realizan principalmente en bosques con diferentes tipos de manejo forestal, la mayoría orientados a la silvicultura o micosilvicultura. Al igual que con el fuego, la respuesta de la comunidad fúngica depende de la intensidad del aclareo, que puede modificar la humedad y la penetración de la luz debajo del dosel, provocando un mayor secado del suelo del bosque (Pilz y Molina, 2002). Tal situación se observó en nuestro estudio, ya que sitios con mayor apertura presentaron menor grosor de mantillo y menor humedad.

En ecosistemas templados de Estados Unidos, se observó que en zonas con baja intensidad de aclareo (densidad del rodal reducida entre 5 y 10%) no hay cambios en la riqueza, diversidad y composición de la comunidad fúngica y hay una similitud alta de las especies entre los rodales sin manejo y con manejo (Smith *et al.*, 2005; Craig *et al.*, 2016). En cambio, en ecosistemas mediterráneos, los resultados indican que en parcelas con aclareo con una remoción de 35%, se obtiene la producción más alta de hongos ectomicorrizógenos, a

diferencia de los sitios con aclareo de alta intensidad en los que la producción disminuye (Collado *et al.*, 2018). No obstante, se ha concluido que el efecto del aclareo en la producción de los hongos difiere dependiendo de la especie. En el caso de algunas especies de los géneros *Lactarius* y *Boletus*, los cuales son de importancia alimentaria en todo el mundo, se ha encontrado que el aclareo de baja intensidad (área basal reducida del 30 al 40%) tiene un efecto positivo en la producción de esporomas (Bonet *et al.*, 2012; Boddy *et al.*, 2014; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2019). En contraste, se ha informado un efecto negativo del aclareo para otras especies de importancia como *Cantharellus* spp. (Barroetaveña *et al.*, 2008). En el presente estudio, las especies que se vieron favorecidas por la apertura fueron *Suillus tomentosus*, *Ramaria* sp4, sp9, *Russula* sp1, *Suillus pseudobrevipes*, *Agaricus campestris*, *Amanita* sp1, mientras que *L. mexicanus* y *T. floccosus* son sensibles al aclareo, ya que se encuentran en sitios con mayor cobertura.

Es evidente que las actividades que se han catalogado como factores de perturbación generan un mosaico de condiciones bióticas y abióticas en los bosques de todo el mundo, lo cual influye sustancialmente en la comunidad fúngica, en muchos casos favoreciendo o incrementando la producción de algunos hongos, pero en otros, obteniendo resultados contrarios. Esto dependerá no solo de las características intrínsecas de la comunidad de hongos si no del tipo de ecosistema, características de la perturbación o actividades realizadas en los bosques y variables bióticas y abióticas.

El análisis de redundancia parcial mostró que tanto la perturbación como los factores ambientales influyen sustancialmente en la composición y producción de los HSC. En consecuencia, sugerimos que la altitud, la concentración de P, Ca y Mg en el suelo, la apertura del dosel, contigüidad a actividades humanas, presencia de veredas, incendio y el grosor del mantillo, son los principales factores que determinan la distribución de macromicetos en el área de estudio.

La presente investigación es de gran importancia ya que en la mayoría de los trabajos en los que se evalúa el efecto de la perturbación se desarrollan en bosques regulados, donde las actividades de manejo están planeadas y son controladas; sin embargo, hay que enfatizar que en muchos bosques no existen estas condiciones, tal es el caso de la mayoría de bosques de México, en los que los disturbios no son específicos, es decir, podemos encontrar sitios con más de un agente de perturbación o disturbios recurrentes, lo que complejiza el estudio del efecto de estos en los hongos. Este trabajo nos muestra un panorama del comportamiento de la comunidad fúngica ante dicha situación, pero es necesario ampliar la investigación en este tipo de bosques durante mayor tiempo, para así generar más información que nos permita diseñar estrategias de manejo adecuadas a cada condición particular.

## Agradecimientos

Gracias a los hongueros, autoridades y a todas las personas de la comunidad de San Pedro Tlalcuapan que participaron en esta investigación, al abrir las puertas de su comunidad y colaborar con los autores en la elección de sitios y monitoreo de hongos silvestres. De igual forma, agradecemos al Dr. Alexander Correa Metrio, del Instituto de Geología, UNAM, su ayuda y enseñanza en el análisis de datos, a CONACyT por la beca doctoral otorgada a Bello-Cervantes (No. 299910) y al proyecto UNAM-PAPIIT (IN302721).

## Referencias

- Acosta, R., Kong, A. (1991). Guía de las excursiones botánicas y micológicas al Cerro El Peñon y Cañada Grande del estado de Tlaxcala. IV Congreso Nacional de Micología, Jardín Botánico Tizatlán, Gobierno del estado de Tlaxcala, Tlaxcala. Folleto de divulgación No. 8.
- Albuquerque, U. P., Gonçalves, P. H. S., Júnior, W. S. F., Chaves, L. S., da Silva Oliveira, R. C., da Silva, T. L. L., & de Lima Araújo, E. (2018). Humans as niche constructors: Revisiting the concept of chronic anthropogenic disturbances in ecology. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(1), 1-11.
- Alday, J. G., De Aragón, J. M., de-Miguel, S., Bonet, J. A. (2017). Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-temporal scales along Mediterranean elevation gradients. *Scientific reports*, 7, 45824.
- Barroetaveña, C., La Manna, L., Alonso, M. V. (2008). Variables affecting *Suillus luteus* fructification in ponderosa pine plantations of Patagonia (Argentina). *Forest Ecology and Management*, 256(11), 1868-1874.
- Bello-Cervantes, E. (2005) Evaluación del deterioro ambiental del territorio pueblos mancomunados, Oaxaca. Estudio con miras de restauración. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Boa, E. (2004). *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people*. Food & Agriculture Org.
- Boddy, L., Büntgen, U., Egli, S., Gange, A. C., Heegaard, E., Kirk, P. M., Kauserud, H. (2014). Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology*, 10, 20-33.
- Bonet, J. A., De-Miguel, S., de Aragón, J. M., Pukkala, T., Palahí, M. (2012). Immediate effect of thinning on the yield of *Lactarius* group *deliciosus* in *Pinus pinaster* forests in Northeastern Spain. *Forest Ecology and Management*, 265, 211-217.

- Bonet, J. A., Fischer, C. R., Colinas, C. (2004). The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the Central Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 203(1-3), 157-175.
- Bonet, J. A., Palahí, M., Colinas, C., Pukkala, T., Fischer, C. R., Miina, J., Martínez de Aragón, J. (2010). Modelling the production and species richness of wild mushrooms in pine forests of the Central Pyrenees in northeastern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(2), 347-356.
- Bonet, J. A., Pukkala, T., Fischer, C. R., Palahí, M., de Aragón, J. M., Colinas, C. (2008). Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. *Annals of Forest Science*, 65(2),
- Brown, N., Bhagwat, S., Watkinson, S. (2006). Macrofungal diversity in fragmented and disturbed forests of the Western Ghats of India. *Journal of Applied Ecology*, 11-17.
- Büntgen, U., Egli, S., Galván, J. D., Diez, J. M., Aldea, J., Latorre, J., Martínez-Peña, F. (2015). Drought-induced changes in the phenology, productivity and diversity of Spanish fungi. *Fungal ecology*, 16, 6-18.
- Büntgen, U., Kauserud, H., Egli, S. (2012). Linking climate variability to mushroom productivity and phenology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(1), 14-19.
- Büntgen, U., Tegel, W., Egli, S., Stobbe, U., Sproll, L., Stenseth, N. C. (2011). Truffles and climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(3), 150-151.
- Burrola-Aguilar, C., Garibay-Orijel, R., Argüelles-Moyao, A. (2013). *Abies religiosa* forests harbor the highest species density and sporocarp productivity of wild edible mushrooms among five different vegetation types in a neotropical temperate forest region. *Agroforestry systems*, 87(5), 1101-1115.
- Cairney, J. W. (2011). Ectomycorrhizal fungi: the symbiotic route to the root for phosphorus in forest soils. *Plant and Soil*, 344(1-2), 51-71.
- Caldwell, T. G., Johnson, D. W., Miller, W. W., Qualls, R. G.. 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 262-267.
- Callac, P. (2007). El género *Agaricus*. En: Sánchez, J. E., Royse, D. J., & Lara, L. (2007). *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus* (No. EE/635.80972 C85).
- Capulín-Grande, J., Mohedano Caballero, L., Razo Zarate, R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87.

- Castillo, M. E. (2006) Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénicas. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., Shen, T. (2005). A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8, 148-159.
- Chen, J., Xu, H., He, D., Li, Y., Luo, T., Yang, H., Lin, M. (2019). Historical logging alters soil fungal community composition and network in a tropical rainforest. *Forest Ecology and Management*, 433, 228-239.
- Claridge, A. W., Trappe, J. M., Hansen, K. (2009). Do fungi have a role as soil stabilizers and remediators after forest fire?. *Forest Ecology and Management*, 257(3), 1063-1069.
- Collado, E., Camarero, J. J., de Aragón, J. M., Pemán, J., Bonet, J. A., de-Miguel, S. (2018). Linking fungal dynamics, tree growth and forest management in a Mediterranean pine ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 422, 223-232.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Costa, F. V., Costa, F. R., Magnusson, W. E., Franklin, E., Zuanon, J., Cintra, R., Baccaro, F. (2015). Synthesis of the first 10 years of long-term ecological research in Amazonian Forest ecosystem—implications for conservation and management. *Natureza & Conservação*, 13(1), 3-14.
- Cowan, A. D., Smith, J. E., Fitzgerald, S. A. (2016). Recovering lost ground: effects of soil burn intensity on nutrients and ectomycorrhiza communities of ponderosa pine seedlings. *Forest Ecology and Management*, 378, 160-172.
- Craig, A. J., Woods, S., Hoeksema, J. D. (2016). Influences of host plant identity and disturbance on spatial structure and community composition of ectomycorrhizal fungi in a northern Mississippi uplands ecosystem. *Fungal Ecology*, 24, 7-14
- De-Miguel, S., Bonet, J. A., Pukkala, T., de Aragón, J. M. (2014). Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: a regional model-based scenario analysis. *Forest Ecology and Management*, 330, 218-227.
- Dick, R.P (2004) Soil biological, chemical, and physical dynamics during transition to non-thermal residue grass-seed management systems. Oregon GSCSSA.
- Dickens, E. D., Moorhead, D. J., Barger, C. T., Morris, L. A., Ogden, L. A., McElvany, B. C. (2012). A summary of pine straw yields and economic benefits in loblolly, longleaf and slash pine stands. *Agroforestry Systems*, 86(3), 315-321.

- DOF (2002). NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. 85 p.
- Domínguez, C. H. D. 2016. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. 105 p.
- Dummel, C. Pinazo A. (2013) Efecto de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *Bosque* 34 (3): 331-342.
- Dunn, O.J. (1961). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, **6**, 241-252.
- Durall, D. M., Gamiet, S., Simard, S. W., Kudrna, L., Sakakibara, S. M. (2006). Effects of clearcut logging and tree species composition on the diversity and community composition of epigeous fruit bodies formed by ectomycorrhizal fungi. *Botany*, **84**(6), 966-980.
- Egli, S., Peter, M., Buser, C., Stahel, W., Ayer, F. (2006). Mushroom picking does not impair future harvests—results of a long-term study in Switzerland. *Biological conservation*, **129**(2), 271-276.
- FAO. (2013). Guide for country reporting for FRA 2015. In: FRA 2015 Working Paper. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Farfan, F. (2010). Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de especies forestales. *Cenicafé* 61 (1): 7-27.
- Ferris, R., Peace, A. J., Newton, A. C. (2000). Macrofungal communities of lowland Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten.) plantations in England: relationships with site factors and stand structure. *Forest Ecology and Management*, **131**(1-3), 255-267.
- Fierros, M. D. L. L., Navarrete-Heredia, J. L., Guzmán-Dávalos, L. (2000). Hongos macroscópicos de la Sierra de Quila, Jalisco, México: diversidad y similitud fungística. *Revista de Biología Tropical*, **48**(4), 931-937.
- Francos, M., Úbeda, X., Tort, J., Panareda, J. M., Cerdà, A. (2016). The role of forest fire severity on vegetation recovery after 18 years. Implications for forest management of *Quercus suber* L. in Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change*, **145**, 11-16.
- Frazer, W., Canham, D., Lertzman, P. (1999) Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color

fish-eye photographs, user manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

- Gange, A. C., Allen, L. P., Nussbaumer, A., Gange, E. G., Andrew, C., Egli, S., Senn-Irlet, B., Boddy, L. (2019). Multiscale patterns of rarity in fungi, inferred from fruiting records. *Global Ecology and Biogeography*, 28(8), 1106-1117.
- García-Orenes, F., Arcenegui, V., Chrenkova, K., Mataix-Solera, J., Moltó, J., Jara-Navarro, A. B., Torres, M. P. (2017). Effects of salvage logging on soil properties and vegetation recovery in a fire-affected Mediterranean forest: A two year monitoring research. *Science of the Total Environment*, 586, 1057-1065.
- Garibay-Orijel, R., Martínez-Ramos, M., Cifuentes, J. (2009). Disponibilidad de esporas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(2), 521-534.
- Gassibe, P. V., Fabero, R. F., Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J. A., Martín-Pinto, P. (2011). Fungal community succession following wildfire in a Mediterranean vegetation type dominated by *Pinus pinaster* in Northwest Spain. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 655-662.
- Gassibe, P. V., Oria-de-Rueda, J. A., Martín-Pinto, P. (2015). *P. pinaster* under extreme ecological conditions provides high fungal production and diversity. *Forest Ecology and Management*, 337, 161-173.
- Goldmann, K., Schöning, I., Buscot, F., Wubet, T. (2015). Forest management type influences diversity and community composition of soil fungi across temperate forest ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1-11.
- Gómez Reyes, V. M., Tinoco Molina, O., Terrón Alfonso, A., Gómez Peralta, M., Tena Morelos, C. A., Garza Ocañas, F. (2014). Efecto de los incendios forestales en la riqueza y composición de macromicetos. *Revista Mexicana de Micología*, 39, 21-30.
- Gomez-Hernandez, M., Williams-Linera, G. (2011). Diversity of macromycetes determined by tree species, vegetation structure, and microenvironment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. *Botany*, 89(3), 203-216.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Galindo-Jaimes, L., Camacho-Cruz, A., Golicher, D., Cayuela, L., Rey-Benayas, J. M. (2009). Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política Pública*. 1(1):40-53.

- Hernández-Rodríguez, M., de-Miguel, S., Pukkala, T., Oria-de-Rueda, J. A., Martín-Pinto, P. (2015). Climate-sensitive models for mushroom yields and diversity in *Cistus ladanifer* scrublands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 173-182.
- Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J. A., Martín-Pinto, P. (2013). Post-fire fungal succession in a Mediterranean ecosystem dominated by *Cistus ladanifer* L. *Forest Ecology and Management*, 289, 48-57.
- Hughes, K. W., Matheny, P. B., Miller, A. N., Petersen, R. H., Iturriaga, T. M., Johnson, K. D., Methven A. S., Raudabaugh D., Swenie A. Bruns, T. D. (2020). Pyrophilous fungi detected after wildfires in the Great Smoky Mountains National Park expand known species ranges and biodiversity estimates. *Mycologia*, 1-22.
- INEGI (2010) Anuario geoestadístico de Tlaxcala. INEGI México.
- Kipfer, T., Egli, S., Ghazoul, J., Moser, B., Wohlgemuth, T. (2010). Susceptibility of ectomycorrhizal fungi to soil heating. *Fungal Biology*, 114(5-6), 467-472.
- Kipfer, T., Moser, B., Egli, S., Wohlgemuth, T., Ghazoul, J. (2011). Ectomycorrhiza succession patterns in *Pinus sylvestris* forests after stand-replacing fire in the Central Alps. *Oecologia*, 167(1), 219.
- Kranabetter, J. M., Haeussler, S., Wood, C. (2017). Vulnerability of boreal indicators (ground-dwelling beetles, understory plants and ectomycorrhizal fungi) to severe forest soil disturbance. *Forest Ecology and Management*, 402, 213-222.
- Kropp B.R., Mueller G.M. 1999. *Laccaria*. En: Cairney J.W.G., Chambers S.M. Eds. *Ectomycorrhizal Fungi Key genera in Profile*, pp 65-88. Springer-Verlag, Heidelberg. New York.
- Kurth, V. J., Fransioli, N., Fulé, P. Z., Hart, S. C., & Gehring, C. A. (2013). Stand-replacing wildfires alter the community structure of wood-inhabiting fungi in southwestern ponderosa pine forests of the USA. *Fungal Ecology*, 6(3), 192-204.
- Kutorga, E., Adamonytė, G., Iršėnaitė, R., Juzėnas, S., Kasparavičius, J., Markovskaja, S., Motiejūnaitė, J., Treigienė, A. (2012). Wildfire and post-fire management effects on early fungal succession in *Pinus mugo* plantations, located in Curonian Spit (Lithuania). *Geoderma*, 191, 70-79.
- Lilienfein J., Wilcke W., Ayarza A., Vilela L., doCarmo S., Zech S. (2000). Soil acidification in *Pinus caribea* foresto in Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology Management*. 128: 145-157.



- Luoma, D. L., Eberhart, J. L., Abbott, R., Moore, A., Amaranthus, M. P., & Pilz, D. (2006). Effects of mushroom harvest technique on subsequent American matsutake production. *Forest ecology and management*, 236(1), 65-75.
- Marín-Castro, M. A., Silva-Díaz, V., Linares-Fleites, G., Castagnino, A. M., & Ticante-Roldán, J. A. (2015). La biodiversidad de los hongos ectomicorrízicos y su importancia para la conservación del bosque en la zona poblana del Parque Nacional Malintzi. En Pulido-Flores, G., Monks, S., López-Herrera, M. Eds. *Estudios en Biodiversidad, Volumen I*. Zea Books, Lincoln, Nebraska.
- Martínez, B. A., & Moreno, C. (2006). Los hongos comestibles silvestres de Santa Catarina del Monte, Estado de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(2), 125-131.
- Martínez-Peña, F., De-Miguel, S., Pukkala, T., Bonet, J. A., Ortega-Martínez, P., Aldea, J., de Aragón, J. M. (2012). Yield models for ectomycorrhizal mushrooms in *Pinus sylvestris* forests with special focus on *Boletus edulis* and *Lactarius* group *deliciosus*. *Forest Ecology and Management*, 282, 63-69.
- Martorell, C., Peters, E. M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological conservation*. 124: 199–207.
- Maycotte, C. C., Martínez, A. V., Hernández, J. V., Santos, A. T., Vera, G. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques*, 8(2), 39-55.
- Mediavilla, O., Oria-de-Rueda, J. A., Martín-Pinto, P. (2014). Changes in sporocarp production and vegetation following wildfire in a Mediterranean Forest Ecosystem dominated by *Pinus nigra* in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 331, 85-92.
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J.M., Rudy, L.C. (2005). Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la Zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75.
- Montoya, A., Kong, A., Estrada-Torres, A., Cifuentes, J., Caballero, J. (2004). Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17:115-143.
- Montoya, A., Kong, A., Garibay-Orijel, R., Méndez-Espinoza, C., Tulloss, R. E., Estrada-Torres, A. (2014). Availability of wild edible fungi in La Malinche National Park, México. *Journal of Mycology*.

- Mushinski, R. M., Gentry, T. J., Boutton, T. W. (2018). Organic matter removal associated with forest harvest leads to decade scale alterations in soil fungal communities and functional guilds. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 127-136.
- Nouhra, E. R., Urcelay, C., Longo, M. S., Fontenla, S. (2012). Differential hypogeous sporocarp production from *Nothofagus dombeyi* and *N. pumilio* forests in southern Argentina. *Mycologia*, 104(1), 45-52.
- Oliver, A. K., Callaham Jr, M. A., Jumpponen, A. (2015). Soil fungal communities respond compositionally to recurring frequent prescribed burning in a managed southeastern US forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 345, 1-9.
- Owen, S. M., Patterson, A. M., Gehring, C. A., Sieg, C. H., Baggett, L. S., Fulé, P. Z. (2019). Large, high-severity burn patches limit fungal recovery 13 years after wildfire in a ponderosa pine forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 139, 107616.
- Ozinga, W. & Kuyper, T. (2013). Macrofungi in conservation management. Part 1: Ecology, threats and knowledge gaps. OBN report. Ministry of Economic Affairs, Den Haag, The Netherlands. KNNV Uitgeverij.
- Pacheco-Cobos, L., & Rosetti, M. (2009). A new method for tracking pathways of humans searching for wild, edible fungi. *Micologia Aplicada Internacional*, 21(2), 77-87.
- Parladé, J., Martínez-Peña, F., Pera, J. (2017). Effects of forest management and climatic variables on the mycelium dynamics and sporocarp production of the ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis*. *Forest ecology and management*, 390, 73-79.
- Pilz, D., & 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(1-3), 3-16.
- Pozo, M. D. (2008). Variación vertical de las propiedades del suelo en un bosque mixto de Quercíneas del Parque Natural de Los Alcornocales. Tesis para obtener el título de Ingeniero Técnico Agrícola. Universidad de Sevilla.
- Quiñónez-Martínez, M., Garza, F., Sosa, M., Keleng, T. L., Lavín, P., Bernal, S. (2008). Índices de diversidad y similitud de hongos ectomicorizógenos en bosques de Bocoyna, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 33, 59-78.
- R Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Reazin, C., Morris, S., Smith, J. E., Cowan, A. D., Jumpponen, A. (2016). Fires of differing intensities rapidly select distinct soil fungal communities in a Northwest US ponderosa pine forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 377, 118-127.

- Rincón, A., & Pueyo, J. J. (2010). Effect of fire severity and site slope on diversity and structure of the ectomycorrhizal fungal community associated with post-fire regenerated *Pinus pinaster* Ait. seedlings. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 361-369.
- Rodríguez-Zamudio, Z. (2017) Análisis de la estructura arbórea de encinos para la producción de carbón vegetal y el impacto en el suelo. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Romero B. C., García G. E., Hernández A. E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de la Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2 (5): 63-70.
- Rubio, G. A. M. (2010). La Densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Escuela Universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla. Instituto de recursos naturales y Agrobiología de Sevilla consejo superior de investigaciones científicas. Trabajo de fin de carrera para optar al título de Ingeniero técnico agrícola. 88 p.
- Sacchi, G., Campitelli, P., Soria, P., Ceppi, S. (2015). Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. *Spanish Journal of Soil Science*, 5(3), 214-226.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.
- Salo, K., & Kouki, J. (2018). Severity of forest wildfire had a major influence on early successional ectomycorrhizal macrofungi assemblages, including edible mushrooms. *Forest Ecology and Management*, 415, 70-84.
- Savoie, J. M., & Largeteau, M. L. (2011). Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(4), 971-979.
- Smith, J. E., McKAY, D., Brenner, G., McIver, J. I., Spatafora, J. W. (2005). Early impacts of forest restoration treatments on the ectomycorrhizal fungal community and fine root biomass in a mixed conifer forest. *Journal of Applied Ecology*, 42(3), 526-535
- Smith, M. E., Douhan, G. W., Fremier, A. K., Rizzo, D. M. (2009). Are true multihost fungi the exception or the rule? Dominant ectomycorrhizal fungi on *Pinus sabiniana* differ from those on co-occurring *Quercus* species. *New Phytologist*, 182(2), 295-299.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.

- Sobrinho, M. S., Tabarelli, M., Machado, I. C., Sfair, J. C., Bruna, E. M., Lopes, A. V. (2016). Land use, fallow period and the recovery of a Caatinga forest. *Biotropica*, 48(5), 586-597.
- Taudière, A., Richard, F., Carcaillet, C. (2017). Review on fire effects on ectomycorrhizal symbiosis, an unachieved work for a scalding topic. *Forest Ecology and Management*, 391, 446-457.
- Taye, Z. M., Martínez-Peña, F., Bonet, J. A., de Aragón, J. M., de-Miguel, S. (2016). Meteorological conditions and site characteristics driving edible mushroom production in *Pinus pinaster* forests of Central Spain. *Fungal ecology*, 23, 30-41.
- Tedersoo, L., May, T. W., Smith, M. E. (2010). Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza*, 20(4), 217-263.
- Toledo, C. V., Barroetaveña, C., Rajchenberg, M. (2014). Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1093-1103.
- Tomao, A., Bonet, J. A., de Aragón, J. M., de-Miguel, S. (2017). Is silviculture able to enhance wild forest mushroom resources? Current knowledge and future perspectives. *Forest Ecology and Management*, 402, 102-114.
- Torres E. A. (2009) Estudio ecológico y frecuencia de mención de los hongos silvestres en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. Tesis para obtener el título de Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trudell, S. A., & Edmonds, R. L. (2004). Macrofungus communities correlate with moisture and nitrogen abundance in two old-growth conifer forests, Olympic National Park, Washington, USA. *Canadian journal of Botany*, 82(6), 781-800.
- UNIATMOS, 2019. <https://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>
- Vargas, M. D. C. C. (2005). Conservación del Parque Nacional Malinche. *Parque Nacional Malinche*, en: Fernández-Fernández, J. A. *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala, México* (No. Sirsi) i9789683639929). Gobierno del Estado de Tlaxcala. p.175.
- Velasco-Bautista, E., Zamora-Martínez, M. C., Pola, C. N. D. P., Martínez-Valdez, J. I., Montoya, A. (2010). Modelos predictivos de la producción de hongos silvestres comestibles en bosques de coníferas, Tlaxcala, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(1), 95-104.

- Villers, R. L., Rojas G.F. Tenorio LP (2006) Guía botánica del parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla. México City: Universidad Autónoma de México.
- Villers-Ruiz, L., Trejo-Vázquez, I. (2004) Evaluación de la vulnerabilidad en los sistemas forestales. En: Martínez J, Fernández-Bremauntz (eds.), Cambio climático una visión desde México, INE y SAMARNAT, México D.F. 239-254 pp.
- Zamora-Martínez, M. C. (2008). Los hongos silvestres comestibles. In: Guerra de la C., V. y C. Mallén R. (Comp.). Tlaxcala sus recursos forestales: conservación, aprovechamiento y bases para su manejo. INIFAP/CENID-COMEF.CONACYT. México, D. F. México. Libro Técnico Núm. 4. pp. 151-168.
- Zamora-Martínez, M. C., A. Montoya, C. Nieto de Pascual-Pola, A. Kong, A. Kong, A. González H. y J. I. Martínez Valdez. (2007). Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala II. INIFAP/ CENID-COMEF/ Universidad Autónoma de Tlaxcala. México, D. F. México. Libro Técnico No. 3. 59 p.
- Zhang, Y., Zhou, D. Q., Zhao, Q., Zhou, T. X., Hyde, K. D. (2010). Diversity and ecological distribution of macrofungi in the Laojun Mountain region, southwestern China. *Biodiversity and conservation*, 19(12), 3545-3563.

## DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

Desde épocas prehispánicas los hongos han formado parte relevante de la cultura campesina e indígena de México. Son recursos forestales no maderables fundamentales para las comunidades, con alto valor de cambio y una fuente importante de ingresos para muchas familias de México y el mundo (Zamora *et al.*, 2000; Boa, 2004; Tomao *et al.*, 2017). Las comunidades alrededor del PNLM no son una excepción pues en ellas se han registrado más de 90 especies útiles para dichas comunidades (Montoya *et al.*, 2004). Los hongos silvestres son de gran importancia cultural, lo cual se evidencia en sus diferentes usos (Phillips y Gentry, 1993), entre los que destacan el alimenticio, ya que son alimento esencial a lo largo de la temporada de lluvias. La recolección de hongos constituye una actividad en la que participan hombres y mujeres de todas las edades, quienes recorren entre 3 y 10 km e invierten hasta 8 horas al día en esta actividad. Con estos hongos se elaboran una gran variedad de platillos, entre los que destacan el caldo de hongos, hongos fritos o asados y diferentes tipos de moles. Aunado a lo anterior, los hongos son una fuente de recurso económico importante, ya que se venden dentro de las comunidades, en los mercados de las ciudades de alrededor e incluso fuera del país por algunas comunidades como es el caso de Javier Mina.

El análisis de escalamiento multidimensional realizado con los datos de frecuencia de mención y usos de los hongos en once comunidades del parque nacional, nos permitió corroborar la regionalización de La Malinche en dos grupos: hacia el este de la montaña, se encuentran la mayoría de comunidades con presencia indígena, quienes cuentan con un conocimiento etnomicológico característico; mientras que de lado oeste se encuentra la mayoría de comunidades mestizas estudiadas, con un conocimiento etnomicológico distinto, tal como lo reportaron Montoya *et al.* (2012). Sin embargo, también se detectaron similitudes entre ambos grupos, posiblemente debido al flujo de información entre sus habitantes.

Las especies con mayor frecuencia de mención en las comunidades aledañas al PNLM fueron *Amanita basii*, *Turbinellus floccosus*, *Bolletus complex. edulis*, *Lyophyllum aff. decastes* y *Russula complex. delica*, lo que coincide con los hongos de mayor importancia en otras regiones de Tlaxcala y del país (Montoya *et al.*, 2004; Garibay-Orijel *et al.*, 2007; Montoya *et al.*, 2012; Alonso-Aguilar *et al.*, 2014); con ello, se corrobora la importancia

de dichas especies de hongos en México; no obstante, estudios a nivel de comunidad muestran que hay diferencias en la preferencia por especies particulares. Esto puede estar relacionado con la heterogeneidad en el conocimiento y uso de las especies, la manera particular de prepararlas y aspectos históricos o culturales que no se han analizado en estos estudios.

En San Pedro Tlalcuapan se registraron 46 etnotaxa y 50 especies de hongos silvestres comestibles, de forma que se trata de una de las comunidades de La Malinche con mayor número de especies útiles enunciadas (Montoya *et al.*, 2002, 2003, 2012), lo que coincide con lo reportado para la comunidad Nahua de San Isidro Buensuceso, en donde se registran 48 especies (Montoya *et al.*, 2003).

La mayoría de la población en la localidad de estudio consume hongos durante al menos seis meses (temporada de lluvias) y gran parte de sus habitantes los obtiene mediante recolección para autoconsumo, mientras que solo una mínima parte de los recolectores los venden. Esto es un indicador de que los hongos no son importantes únicamente por los ingresos que representan o por su valor de mercado, sino también, porque se considera un alimento de alto valor nutricional. Durante la temporada de lluvias, el consumo promedio es de dos veces por semana; además, 93% de los entrevistados suben a la montaña para recolectar hongos al menos una vez por semana y constituye una de muchas actividades que se realizan en la montaña, tales como trabajar los terrenos de cultivo, ir por leña, recolecta de plantas medicinales silvestres o frutas, ir a caminar e incluso ir de día de campo.

En la mayoría de los casos, la recolección, al igual que los usos de los hongos, aún se transmite de generación en generación. Como lo sugieren Boesch y Tomasello (1998), la transmisión cultural ocurre entre individuos de diferentes generaciones, pero dentro de la genealogía (transmisión vertical), de padres a hijos; además, se observa que esta transmisión se realiza de manera oral y práctica, y como lo menciona Luna-Morales (2002), el conocimiento tradicional ha sido generado, seleccionado y acumulado colectivamente durante miles de años, se ha resguardado en la memoria y actividades de la gente y se transmiten principalmente por vía oral y práctica.

Por otro lado, en el presente estudio, específicamente en los capítulos dos y tres, se resalta que existe una variación en el conocimiento y prácticas en torno a los hongos, que

depende de la distancia del hogar con respecto al bosque y de la edad de las personas, lo cual podría ser un indicador de una posible pérdida en la transmisión del conocimiento relacionado con los hongos en las áreas de la comunidad más lejanas al bosque ya que, como lo mencionan Eyssartier *et al.* (2008) la transmisión del conocimiento tradicional comienza en las primeras etapas de la niñez, cuando los niños acompañan a sus padres a cultivar la tierra; sin embargo, pareciera que en la actualidad hay menos oportunidades, especialmente para los niños, de pasar tiempo con sus padres, abuelos y otros que conocen las prácticas y conocimiento de uso y conservación (Berkes y Turner, 2006).

Los dos índices desarrollados en el presente estudio nos permitieron corroborar dichas diferencias. El índice de Etnotaxa resulta útil ya que toma en cuenta los hongos que conocen cada persona y no solo la cantidad de hongos enunciados. Por otro lado, el índice de Relevancia Biocultural considera diversas variables que indican la importancia del recurso, lo que permitió conocer las diferencias entre los grupos de edad y territorios. Gracias a estas herramientas desarrolladas se mostró que la edad es un factor importante en el grado de conocimiento, como se ha observado en otros estudios (Cortés-González, 2007; Silva *et al.*, 2011; Saynes-Vásquez *et al.*, 2013). Con la regresión se constató que, a mayor edad, mayor número de hongos se conocen por las personas y que además existen hongos exclusivos por rango de edad, tal es el caso del champiñón para los más jóvenes, el Xolete de pata amarilla y el Pastelito son mencionados solo por los adultos y el Ayometecax, Tzunanacatl y Xocuepix, fueron solo mencionados por adultos mayores. Lo mismo sucedió con el Índice de relevancia biocultural. Los adultos mayores tienen un mayor conocimiento ecológico, de recolección y usos que los jóvenes. Tal situación podría explicarse, debido a que como sugiere Garro (1986) la edad se asocia con el proceso natural de la adquisición del conocimiento. Es decir que, el mayor conocimiento en los adultos mayores se atribuye al mayor grado de oportunidad que han tenido de aprender, con lo que han adquirido por más tiempo experiencia y contacto con los recursos naturales (Silva *et al.*, 2011).

Sin embargo, el análisis de regresión indica que cada área del pueblo donde habita la gente tiene un aporte distinto, lo que hace evidente que la distancia de una vivienda con respecto al bosque tiene un efecto significativo que repercute en el conocimiento



tradicional. Esto sugiere que existe una pérdida del conocimiento micológico en las áreas más alejadas del bosque y más cercanas a la ciudad.

Los hongos registrados más frecuentemente fueron *Russula complex. delicata*, *Amanita basii*, *Boletus complex. edulis*, *Ramaria* spp. y *Hebeloma aff. mesophaeum*, mencionados por más de la mitad de los entrevistados. Esto es un indicador de su importancia cultural en la comunidad de estudio, tal como lo han propuesto Montoya *et al.* (2004). Sin embargo, al aplicar la adaptación del EMCSI, varió y los más importantes son *Hebeloma aff. mesophaeum*, *Russula complex. delicata* y *Cantharellus aff. Cibarius*.

Los valores de EMCSI obtenidos en SPT son altos, en comparación con comunidades de México y otros países de América (Garibay *et al.*, 2007; Alonso-Aguilar *et al.*, 2014; Peña-Cañón y Enao-Mejía, 2014), lo que refleja su importancia. Sin embargo, estos valores se obtuvieron con base en los 10 hongos más frecuentemente mencionados y podrían ser distintos si se realizara el análisis considerando todos los hongos enunciados por las personas entrevistadas.

El EMCSI fue muy útil en el presente estudio ya que permitió identificar no solo a las especies de mayor importancia cultural, sino también los factores que la determinan y los de mayor relevancia en la comunidad. El subíndice de Transmisión de conocimiento (LNI) fue el de mayor valor, lo que indica que los saberes sobre estos 10 hongos en específico aún son transmitidos de manera vertical, de generación en generación y este conocimiento puede ser rastreado por más de tres generaciones, mientras que el subíndice económico (en términos del valor del mercado) presentó los valores más bajos, ya que la mayor parte de las familias recolecta los hongos para autoconsumo; sólo se identificaron tres familias que los comercializan y es similar a lo registrado por Robles-García *et al.* (2018) en Amealco, Querétaro, donde *Amanita basii* es uno de los hongos de mayor importancia económica (IE=4.50). En Tlalcuapan, esta especie, junto con *T. floccosus*, se vende a precios altos.

Los habitantes de SPT no solo reconocen la importancia de los hongos por el uso que le dan, sino también por el papel que estos organismos desempeñan en el bosque (Importancia ecológica), como abono para los árboles, semilla para que haya más hongos en las siguientes temporadas, alimento de los animales silvestres, desintegradores de materia orgánica y como parte importante del medio natural en el que crecen. Lo anterior

se confirma porque gran parte de los entrevistados menciona que los hongos están relacionados con los árboles y por el hecho de que, a través de los años, han generado y aplicado diferentes métodos de manejo para su cuidado, como dejar parte del estípite en el lugar donde es encontrado, recoger solo algunos de los hongos o solo aquellos que están maduros, dejar los inmaduros en campo y limpiarlos o sacudirlos en el lugar de recolección, lo cual hace alusión al conocimiento etnoecológico que poseen.

En el capítulo 3 se caracterizan, a través de procesos participativos, los sitios de recolección de los HSC y se analiza la variación del conocimiento tradicional entre los habitantes de la comunidad, en función de las características de la población, como edad, género, ocupación y la ubicación de sus hogares en relación con las zonas de colecta, acerca de los factores que influyen en la comunidad de HSC y las estrategias de uso sustentable.

La población de SPT relaciona la presencia de los HSC con el tipo de vegetación, el clima, el relieve y las características del suelo, lo que coincide con lo que varios autores han encontrado en otros sitios (Toledo *et al.*, 2014; Goldmann *et al.*, 2015; Alday *et al.*, 2017; Tomao *et al.*, 2017). En el presente estudio, las personas identificaron a través de entrevistas, recorridos y del mapeo participativo, al bosque de *Pinus* como el de mayor riqueza, posiblemente porque en la zona de estudio es el tipo de vegetación de mayor extensión y de fácil acceso, pero también puede relacionarse con una mayor precipitación y humedad disponible, como apuntan algunos estudios ecológicos (Taye *et al.*, 2016; Alday *et al.*, 2017) y etnomicológicos (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012), en donde los entrevistados consideraran que los hongos requieren de agua para desarrollarse. De igual forma, otras variables que las comunidades han asociado con la presencia de los hongos son el relieve y suelo (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012). La mayoría de entrevistados en SPT mencionaron que para que nazcan los hongos, el suelo debe tener una cantidad considerable de hojarasca, señalando a la extracción de hojarasca como uno de los factores que influyen en el decremento en la producción de hongos.

Gran parte de los entrevistados percibe una disminución en la riqueza y abundancia de los HSC; ello coincide con lo reportado en otros trabajos, desarrollados tanto en México (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012; Robles-García *et al.*, 2018; Castro-Sánchez *et al.*, 2019) como en otros países (Amend *et al.*, 2010). En nuestro estudio, la población relaciona

esta reducción con factores endógenos, con excepción del cambio en el clima y disminución de la lluvia. Las principales causas de la disminución de hongos identificadas son: la tala, incendios, el uso de prácticas inadecuadas en la recolección y cambio climático, que coinciden con lo encontrado en el caso de Amanalco, Estado de México (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012) y en el de Yunnan, China (Amend *et al.*, 2010).

Con respecto a los incendios, la mayoría de los informantes mencionan que el fuego favorece la presencia de *H. aff. mesophaeum*, el hongo de mayor importancia cultural, de acuerdo al EMCSI. La asociación de este hongo con el fuego podría explicar por qué los incendios no son considerados por la gente como el disturbio más perjudicial para los HSC y mencionan a la tala como el factor de mayor impacto negativo.

Al igual que se observaron diferencias sobre el conocimiento etnomicológico según el territorio y la edad; en el capítulo 3 se describe que también existen diferencias en el conocimiento sobre las causas de disminución de los hongos y sobre las prácticas de manejo sustentables, entre distintos sectores de la población. Estas diferencias dependen de la edad, la ocupación y actividad económica de las personas. Se identificó que quienes mantienen las prácticas tradicionales sustentables de cosecha de hongos tienden a ser los adultos mayores y quienes se dedican a las actividades primarias, en contraste con los jóvenes, los habitantes en zonas más lejanas al bosque y quienes desarrollan otro tipo de actividad económica. Tales diferencias pueden estar relacionadas con la migración de la población joven o con que, quienes se ocupan en actividades secundarias o terciarias, incluso en la ciudad, viven lejos del bosque, tienen un menor contacto con las experiencias de colecta y los procesos de aprendizaje que estas implican (Teklehaymanot *et al.*, 2007; Robles García *et al.*, 2018; Fui *et al.*, 2018).

Es bien sabido que la diversidad biocultural se encuentra amenazada por presiones sociales, económicas y ecológicas (Toledo y Barrera-Bassols, 2008), por lo que es necesario realizar proyectos de investigación transdisciplinarios, aplicados, participativos y basados en los requerimientos de las comunidades, que aporten para la protección, manejo sustentable y conservación de la riqueza biocultural (Gilmore y Eshbaugh, 2011), en los capítulos anteriores y debido a la inquietud de pobladores de la comunidad de estudio, se realizó un análisis sobre el conocimiento tradicional micológico, que abarcó temas como, la riqueza de los hongos silvestres, sus usos, lugares de recolección; a

través del mapeo participativo se han descrito detalladamente las características de suelo, vegetación, relieve, microclima y actividades antrópicas realizadas en esos sitios; se identificaron desde la perspectiva comunitaria aquellos factores que afectan y favorecen a la comunidad de hongos silvestres comestibles, las prácticas de manejo tradicional y, finalmente, las propuestas de actividades que se pudieran aplicar para conservar el recurso micológico. Aunado a lo anterior, se evaluó la variación de este conocimiento, es decir, se identificó en qué sectores de la población se encuentra presente y en cuáles se ha ido perdiendo.

Toda esa información se complementa en el último capítulo con un estudio ecológico, en cuyo objetivo es identificar las variables ecológicas, abióticas y de disturbio que afectan el desarrollo de la comunidad fúngica en sitios de recolección de hongos. La investigación consideró cuatro tipos de vegetación (Bosque de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, de *P. montezumae*, de *P. leiophylla* y de *Quercus-Pinus*) con diferente grado de perturbación en la zona de estudio, en los cuales se realizó un monitoreo de la comunidad de hongos silvestres comestibles durante dos años. De esta forma se están cimentando las bases para que en un estudio posterior con metodologías participativas se puedan generar y aplicar estrategias de manejo y conservación que sean respetuosas y congruentes con las necesidades y conocimientos tradicionales, con el respaldo, también, de información ecológica acerca de los factores que tienen influencia en la comunidad de hongos silvestres comestibles.

Finalmente, en el capítulo cuatro se presentó la caracterización de los sitios de recolección. En primera instancia, se reconoce que el índice de perturbación aplicado fue una herramienta de gran utilidad para evaluar el deterioro ya que nos permite asignar valores numéricos del grado de perturbación de los sitios mediante un análisis multiparamétrico que nos da la facilidad de incorporar variables que consideramos de impacto en la zona; también permite eliminar aquellas que no tienen variación. Los factores de perturbación que tuvieron mayor impacto en el área de estudio fueron contigüidad a núcleos de actividad humana, compactación del suelo, presencia de fuego, profundidad de mantillo, terreno de cultivo, tala y extracción de leña; dichos procesos de perturbación podrían explicar la pérdida del 45% de bosque del Parque en 70 años (de 30 000 hectáreas en 1938, a 13 500 hectáreas en el año 2000; Vargas, 2005).

Con respecto a la estructura de la vegetación, se ha observado en diferentes estudios (González-Espinosa *et al.*, 2009; Dummel y Pinazo, 2013; Bello-Cervantes, 2015) que sitios con niveles bajos de deterioro, presentan mayor área basal y mayor densidad de árboles adultos con respecto a los jóvenes, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Las características físicoquímicas del suelo condicionan la circulación de agua, aire y la solubilización de micronutrientes (Rubio, 2010; Salamanca y Sadeghian, 2006; Romero *et al.*, 2015), por lo cual son factores determinantes para la presencia y abundancia de hongos. La variación en la concentración de los nutrientes es muy variable en el área de estudio, lo cual se explica por presencia de diferentes tipos y estructura de vegetación, pero además a los distintos agentes de perturbación que afectan estos bosques; por ejemplo, se ha demostrado que el fuego incrementa las concentraciones de P (Rodríguez-Zamudio, 2017), sin embargo, esto depende de muchos otros factores.

En el presente trabajo se registraron 46 taxa de hongos silvestres comestibles, que representan más del 50% de los 93 especies de hongos útiles reportados para el PNLM, Tlaxcala (Montoya *et al.*, 2004), mientras que la abundancia total por año (2,838 esporomas al año) y la producción (137.55 k ha<sup>-1</sup> por año) fueron altas en comparación con otros estudios realizados en el PNLM (Zamora-Martínez *et al.*, 2007; Montoya *et al.*, 2014), tales diferencias se puede atribuir a la menor superficie estudiada, menor temporada de muestreo, a las diferentes características de vegetación y perturbación incluidas en el presente y metodología de monitoreo (Gange *et al.*, 2019).

La composición, abundancia y producción de HSC en el área de estudio cambió tanto en el espacio (por tipo de vegetación), como en el tiempo (temporada de muestreo), ya que como lo enuncia Tomao *et al.* (2017) la composición de la vegetación influye en la comunidad fúngica debido a la preferencia de algunos hongos ectomicorrízicos y saprotróficos para con sus árboles hospedadores específicos o cama, respectivamente. Sin embargo, la riqueza y diversidad de especies no difirió estadísticamente entre tipos de vegetación y temporada de estudio.

*Gymnopus dryophilus* y *Laccaria trichodermophora* fueron las especies de mayor abundancia, lo que coincide con las reportadas en bosque de coníferas de México

(Quiñónez-Martínez *et al.*, 2008; Garibay-Orijel *et al.*, 2009; Torres, 2009; Montoya *et al.*, 2014). Sin embargo, no corresponden a las especies de mayor producción (peso fresco).

Existen diversos estudios en los que se han demostrado que los factores principales relacionados con la fructificación de hongos son la precipitación, temperatura y humedad (Taye *et al.*, 2016; Büntgen *et al.*, 2015; Gomez-Hernandez y Williams-Linera, 2011; Büntgen *et al.*, 2012; Parladé *et al.*, 2017), pero nuestro trabajo se realizó a lo largo de tan solo dos años, lo que no nos permite conocer una variación clara a través del tiempo, por lo cual se propone que en futuros estudios se incremente el tiempo de monitoreo, para conocer con mayor claridad el efecto de dichas variables, considerando al menos cuatro años de monitoreo. Con respecto al espacio es clara la variación, pues se observó que el bosque de *Abies* ubicado a una mayor altitud presenta mayor precipitación y menor temperatura, y es el sitio de mayor riqueza y abundancia de HSC, pero no el de mayor producción.

En todos los tipos de vegetación se encontró que la mayor riqueza y producción se presenta en sitios con un nivel medio de perturbación, lo cual coincide con algunos estudios en los que se ha observado que perturbaciones de baja o media intensidad incrementa la riqueza, diversidad o producción de la comunidad fúngica (Salo y Kouki, 2018; Collado *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019), esto se puede explicar debido a que la perturbación crea un entorno en el que algunas especies, como aquellas pirófilas o pioneras pueden establecerse y persistir (Claridge *et al.*, 2009; Gassibe *et al.*, 2011), lo que se suma a la diversidad general de las especies; sin embargo, demasiada perturbación reduce la diversidad general al eliminar las especies sensibles de sucesión tardía y, por otro lado, en sitios sin perturbación encontramos solo especies de etapas sucesionales tardías (Savoie y Largeteau, 2011; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2013). Este resultado es congruente con la hipótesis del disturbio intermedio que propone Connell (1978) para el caso de las plantas. Sin embargo, definir cuál es el umbral entre nivel medio y alto de perturbación es el reto, esto dependerá de las condiciones particulares de cada ecosistema y requiere monitorear constantemente el área, lo que permitirá desarrollar estrategias de manejo sostenible.

A pesar de que los sitios de perturbación media presentan mayor riqueza, la mayor diversidad se registró en los bosques con menor perturbación, lo cual se atribuye a la equitatividad que existe en estos, pues se observa menor dominancia que en el resto de los sitios, a excepción del bosque de *P. leiophylla*. Estos bosques actúan como fuente de inóculos que interactúan constantemente con aquellos rodales jóvenes y perturbados aportando a la recuperación de la diversidad de hongos y favoreciendo la resiliencia a nivel de paisaje (Cowan *et al.*, 2016).

La ubicación altitudinal y tipo de vegetación determinaron las diferencias en composición y abundancia de hongos entre sitios ya que los de mayor diferencia presentan un mayor rango altitudinal entre ellos, lo que implica también una variación en la vegetación y variables climáticas. Algunos autores han informado que la composición de macromicetos varía entre los bosques de una región conforme cambia la distribución de los árboles (Alday *et al.*, 2017; Nouhra *et al.*, 2012; Gomez-Hernandez y Williams-Linera, 2011; Boddy *et al.*, 2014; Durall *et al.*, 2006). Mientras que la variación en la composición de macromicetos dentro del mismo tipo de vegetación obedece principalmente al grado de perturbación.

De igual manera, el CCA mostro un efecto significativo de nueve variables ambientales y de perturbación sobre la comunidad fúngica: la altitud, concentración de nutrientes P, Ca y Mg, apertura del dosel, presencia de veredas, presencia de fuego, contigüidad y profundidad del mantillo, son las que se relacionaron significativamente con la presencia y producción de hongos. A diferencia de nuestro estudio, en otros trabajos, los nutrientes correlacionados con la producción de macromicetos fueron N, P y K (Trudell y Edmonds, 2004). Se ha documentado que el P puede aumentar la infección de hongos ectomicorrizógenos (Cairney, 2011). Cabe mencionar que los sitios con mayor concentración de P se encuentran en el bosque de *Abies* en el que encontramos la mayor riqueza y abundancia de macromicetos.

De las variables de perturbación, la apertura del dosel se relacionó significativamente con la presencia y producción de los hongos, a diferencia de muchos otros estudios en otros países en los que las variables explicativas fueron la edad del bosque (Tomao *et al.*, 2017; Goldmann *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Bonet *et al.*, 2004), el área basal (Bonet *et al.* 2008; 2010; De-Miguel *et al.*, 2014), o la altura dominante del

rodal; sin embargo, la apertura del dosel podría ser redundante o estar relacionada con estas, como mostró serlo con la tala e inversa a densidad de árboles adultos y área basal. La tala o apertura es una de las variables de mayor impacto en la zona, además de ser uno de los factores que las personas consideran que más perjudican a los hongos. Los estudios que evalúan el efecto de la remoción forestal en los hongos, se han realizado en otros países, principalmente en bosques con diferentes tipos de manejo forestal, la mayoría orientados a la silvicultura o micosilvicultura y la respuesta de la comunidad fúngica depende de la intensidad del aclareo (Smith *et al.*, 2005; Craig *et al.*, 2016), que puede modificar la humedad y la penetración de la luz debajo del dosel, provocando un mayor secado del suelo del bosque (Pilz y Molina, 2002). Tal situación se observó en nuestro estudio, ya que sitios con mayor apertura presentaron menor grosor de mantillo y menor humedad. No obstante, se ha concluido que el efecto del aclareo en la producción de los hongos difiere dependiendo de la especie (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Boddy *et al.*, 2014; Montoya *et al.*, 2004). En el presente estudio las especies que se vieron favorecidas por la apertura fueron *Suillus tomentosus*, *Ramaria* sp. 4, sp. 9, *Russula* sp. 1, *Suillus pseudobrevipes*, *Agaricus campestris*, *Amanita* sp. 1, mientras que *L. mexicanus* y *T. floccosus* son sensibles al aclareo, ya que se encuentran en sitios con mayor cobertura.

Por otro lado, se ha demostrado que la remoción de materia orgánica intensiva, o remoción del mantillo ocasiona el aumento de la temperatura de la superficie del suelo (Mushinski *et al.*, 2018), generando condiciones más secas que tienen efecto en la comunidad de hongos incluso después de 20 años de la perturbación (Kranabetter *et al.*, 2017).

El fuego es uno de los disturbios más estudiados y su efecto sobre la comunidad fúngica, depende de sus características, frecuencia (Oliver *et al.*, 2015), el tiempo transcurrido desde el incendio (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015; Mediavilla *et al.*, 2014) y la intensidad (Reazin *et al.*, 2016; Kutorga *et al.*, 2012). En la presente investigación la mayoría de los incendios han sido de baja intensidad, sin embargo con respecto a la frecuencia y tiempo transcurrido desde el incendio existe una gran variabilidad, ya que año con año existe presencia de incendios en el PNLM, lo cual no nos permite obtener conclusiones generales sobre el efecto que tiene el fuego en la producción de la



comunidad de hongos; sin embargo, el CCA nos permitió identificar a algunos hongos afines a este disturbio, tales como *Hebeloma* aff. *mesophaeum* e *Hygrophorus chrysodon*, que presentan mayor producción y abundancia en sitios con presencia de fuego. Tal resultado no solo coincide con el trabajo realizado por Montoya *et al.* (2014), quien encontró un efecto favorable de los incendios en producción de *H. mesophaeum* en bosques de *Pinus* en el parque, sino con lo que persibe la comunidad sobre el efecto positivo de los incendios para este hongo que además es considerado como uno de los más importantes.

Es evidente que aquellas actividades que se han catalogado como factores de perturbación, aunado a las prácticas tradicionales realizadas en los bosques generan un mosaico de condiciones bióticas y abióticas, lo cual influye sustancialmente en la comunidad fúngica, en muchos casos favoreciendo o incrementando la producción de algunos hongos, pero en otros, reduciéndola. Esto dependerá no solo de las características intrínsecas de la comunidad de hongos, sino del tipo de ecosistema, características de la perturbación o actividades realizadas en los bosques y variables bióticas y abióticas.

El presente trabajo abre un panorama de información considerable tanto ecológica como etnomicológica, de igual forma se desarrollaron aportaciones metodológicas que nos permiten analizar la variación del conocimiento tradicional, los índices desarrollados son replicables en cualquier otra comunidad o grupo de comunidades y se pueden ajustar a diversos objetivos. Finalmente y lo más relevante es que esta investigación nos da herramientas para poder generar en conjunto con las personas de la comunidad y autoridades estrategias de conservación y manejo sustentable de los hongos y su hábitat, las cuales ellos decidirán aplicar dependiendo de sus necesidades.

El conocimiento sobre los hongos en La Malinche es amplio y persiste alrededor de las comunidades ubicadas en las faldas de la montaña. Sus características culturales son variables, lo que ha derivado en conocimientos y prácticas diferenciales.

San Pedro Tlalcuapan es una comunidad en la que los hongos son un recurso de gran importancia biocultural; algunos de los factores más importantes en los que se ve reflejado es la cantidad de etnotaxa mencionados y la frecuencia de uso, mientras que

su importancia económica (en términos del valor de mercado) tiene una menor relevancia.

La presente investigación permitió identificar mediante métodos etnográficos y mapeo participativo con los pobladores, los espacios importantes de producción de hongos, su entorno físico y social, las condiciones ambientales que favorecen la presencia y abundancia de los HSC, tales como ciertas características de vegetación, clima y suelo. De igual forma se reconocieron aquellos factores que afectan negativamente y que han generado una disminución en la riqueza y abundancia de este recurso en los últimos 10 años. La determinación de sus características permitió comprender parcialmente las áreas que se están utilizando sobre el paisaje, la forma y temporada en la que se usan y las alternativas para su manejo sustentable. No obstante, es importante recalcar que parte esencial del saber tradicional es la cosmovisión, algo que en el presente trabajo no se profundizó por decisión comunitaria, pero que la comunidad considerará en la toma de decisiones.

A pesar del amplio conocimiento biocultural sobre el recurso micológico en la comunidad de estudio, los análisis permitieron identificar que existe el riesgo de que el conocimiento tradicional y las prácticas de manejo sustentable en torno a los hongos se erosione, debido a que solo se alberga en una parte del territorio y en algunos estratos sociodemográficos (edad y ocupación), lo que indica que existe una fragmentación en la transmisión del conocimiento, por lo que este trabajo permitirá enfocar acciones de difusión en los estratos vulnerables y estrategias de reforzamiento en los otros estratos y/o territorios específicos.

De igual forma, los índices propuestos facilitaron el análisis de datos para la evaluación del efecto de diferentes factores socio-económicos sobre el conocimiento tradicional, aunado a ello, permiten realizar comparaciones entre zonas, son flexibles, ya que las variables bioculturales pueden ser incluidas o eliminadas y así ajustarse a diferentes culturas, recursos naturales u objetivos.

Mediante el estudio ecológico se identificaron más del 50% de hongos útiles registrados para el PNLM. La caracterización de los sitios de recolección con respecto a factores de

relieve, clima, suelo, vegetación y perturbación permitió conocer la variabilidad de condiciones en las que se desarrollan los hongos. Es evidente que las actividades que se han catalogado como factores de perturbación generan un mosaico de condiciones bióticas y abióticas en los bosques de todo el mundo, lo cual influye sustancialmente en la comunidad fúngica.

La composición, abundancia, riqueza y producción de HSC en el área de estudio cambió principalmente en el espacio (por tipo de vegetación y nivel de perturbación), coincidiendo con la teoría del disturbio intermedio, tal como lo identifica la población. Sin embargo, no se observó un cambio a lo largo del tiempo, debido al corto periodo de monitoreo, por lo cual se sugiere en estudios futuros incrementar el tiempo de monitoreo.

Similar a lo reportado a través del conocimiento tradicional, tanto las variables ambientales (de relieve, edáficas y de vegetación) como de perturbación influyen significativamente en la composición y producción de HSC, sin embargo, el comportamiento en específico de cada población fúngica depende además de las características y estrategias eco-fisiológicas de las especies, así como de las prácticas comunitarias de manejo.

La realidad en muchos bosques de México es que encontramos la presencia de comunidades forestales o indígenas que desarrollan diversas actividades en ellos, además de saqueo constante por agentes externos, que generan factores de perturbación simultáneos o recurrentes, lo que a la vez, origina una matriz compleja de variables; a diferencia de bosques de diversos países, en los que se tiene un control constante de las actividades realizadas en ellos, planes de manejo rigurosos y el financiamiento necesario para un seguimiento de factores bióticos y abióticos a lo largo de tiempo considerable. Por lo cual, la presente investigación es de gran importancia, ya que nos muestra un panorama del comportamiento de la comunidad fúngica ante la situación real de los bosques de nuestro país, sin embargo, es necesario desarrollar investigación en este tipo de bosques, que sea propuesta y desarrollada por las comunidades, con el financiamiento adecuado, lo cual permitiría realizarlas por mayor tiempo, y así se generaría información que permita en colaboración real con las comunidades diseñar estrategias de manejo adecuadas a estas condiciones particulares.

Los cambios en el conocimiento y prácticas comunitarias obedecen a cambios socioambientales. Para conservar la riqueza biocultural en torno a los hongos y el bosque, es necesario antes que nada entender que el conocimiento tradicional es dinámico y para realizar proyectos comunitarios incluyentes y relevantes para cada contexto particular, se debe considerar la diversidad cultural, espacial, ecológica y biológica, así como incrementar y difundir la investigación de aspectos históricos y etnográficos dentro de la misma comunidad, que permitan entender el origen de la variación en la importancia cultural, en las prácticas de manejo tradicional y en la diversidad de hongos. Sin embargo, a los externos no corresponde decidir las acciones a realizar, será la comunidad quien de acuerdo a sus necesidades, saberes y sentires, identifique, revalorice, aplique y transmita los conocimientos, prácticas y creencias ancestrales que sean más acorde con su desarrollo sustentable.

### **Literatura citada**

- Alday, J. G., De Aragón, J. M., de-Miguel, S., & Bonet, J. A. (2017). Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-temporal scales along Mediterranean elevation gradients. *Scientific reports*, 7, 45824.
- Alonso-Aguilar, L. E., A. Montoya, A. Kong, A. Estrada-Torres, & Garibay-Orijel, R. 2014. The cultural significance of wild mushrooms in San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10(1):27.
- Amend, A., Fang, Z., Yi, C., & McClatchey, W. C. (2010). Local perceptions of Matsutake mushroom management, in NW Yunnan China. *Biological conservation*, 143(1), 165-172.
- Bello-Cervantes, E. (2015). Evaluación del deterioro ambiental del territorio pueblos mancomunados, Oaxaca. Estudio con miras de restauración. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Berkes, F. & Turner, N. (2006) Knowledge, Learning and the Resilience of Social-Ecological Systems. *Hum Ecol* 34:479-494.

- Boa, E. R. (2004). *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people* (No. 17). Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Boddy, L., Büntgen, U., Egli, S., Gange, A. C., Heegaard, E., Kirk, P. M., Mohammad, A. & Kauserud, H. (2014). Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology*, 10, 20-33.
- Boesch, C. & Tomasello, M. (1998). Chimpanzee and human cultures. *Current Anthropology* 39(5): 591-614.
- Bonet, J. A., Fischer, C. R., & Colinas, C. (2004). The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the Central Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 203(1-3), 157-175.
- Bonet, J. A., Palahí, M., Colinas, C., Pukkala, T., Fischer, C. R., Miina, J., & Martínez de Aragón, J. (2010). Modelling the production and species richness of wild mushrooms in pine forests of the Central Pyrenees in northeastern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(2), 347-356.
- Bonet, J. A., Pukkala, T., Fischer, C. R., Palahí, M., de Aragón, J. M., & Colinas, C. (2008). Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. *Annals of Forest Science*, 65(2).
- Büntgen, U., Egli, S., Galván, J. D., Diez, J. M., Aldea, J., Latorre, J., & Martínez-Peña, F. (2015). Drought-induced changes in the phenology, productivity and diversity of Spanish fungi. *Fungal ecology*, 16, 6-18.
- Büntgen, U., Kauserud, H., & Egli, S. (2012). Linking climate variability to mushroom productivity and phenology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(1), 14-19.
- Burrola-Aguilar, C., Montiel, O., Garibay-Orijel, R., & Zizumbo-Villarreal, L. (2012). Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista mexicana de micología*, 35, 01-16.
- Cairney, J. W. (2011). Ectomycorrhizal fungi: the symbiotic route to the root for phosphorus in forest soils. *Plant and Soil*, 344(1-2), 51-71.

- Castro-Sánchez, E. I., Moreno-Calles, A. I., Meneses-Eternod, S., Farfán-Heredia, B., Blancas, J., & Casas, A. (2019). Management of Wild Edible Fungi in the Meseta Purépecha Region, Michoacán, México. *Sustainability*, 11(14), 3779.
- Chen, J., Xu, H., He, D., Li, Y., Luo, T., Yang, H., & Lin, M. (2019). Historical logging alters soil fungal community composition and network in a tropical rainforest. *Forest Ecology and Management*, 433, 228-239.
- Claridge, A. W., Trappe, J. M., & Hansen, K. (2009). Do fungi have a role as soil stabilizers and remediators after forest fire?. *Forest Ecology and Management*, 257(3), 1063-1069.
- Collado, E., Camarero, J. J., de Aragón, J. M., Pemán, J., Bonet, J. A., & de-Miguel, S. (2018). Linking fungal dynamics, tree growth and forest management in a Mediterranean pine ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 422, 223-232.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Cortés-González J. J. (2007) Variabilidad intracultural y pérdida del conocimiento sobre el entorno natural en una comunidad zapoteca del sur de México (Nizanda, Oaxaca). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cowan, A. D., Smith, J. E., & Fitzgerald, S. A. (2016). Recovering lost ground: effects of soil burn intensity on nutrients and ectomycorrhiza communities of ponderosa pine seedlings. *Forest Ecology and Management*, 378, 160-172.
- Craig, A. J., Woods, S., & Hoeksema, J. D. (2016). Influences of host plant identity and disturbance on spatial structure and community composition of ectomycorrhizal fungi in a northern Mississippi uplands ecosystem. *Fungal Ecology*, 24, 7-14.
- De-Miguel, S., Bonet, J. A., Pukkala, T., & de Aragón, J. M. (2014). Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: a regional model-based scenario analysis. *Forest Ecology and Management*, 330, 218-227.
- Dummel, C. & Pinazo, A. (2013) Efecto de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *Bosque* 34 (3): 331-342.
- Durall, D. M., Gamiet, S., Simard, S. W., Kudrna, L., & Sakakibara, S. M. (2006). Effects of clearcut logging and tree species composition on the diversity and community composition of epigeous fruit bodies formed by ectomycorrhizal fungi. *Botany*, 84(6), 966-980.

- Eyssartier, C., Ladio, A. H. & Lozada, M. (2008) Cultural Transmission of Traditional Knowledge in two populations of North-western Patagonia. *Jour Ethnobiol Ethnomed* 4(25):1 -8.
- Fui, F. S., Saikim, F. H., Kulip, J., & Seelan, J. S. S. (2018). Distribution and ethnomycological knowledge of wild edible mushrooms in Sabah (Northern Borneo), Malaysia. *Journal of Tropical Biology & Conservation (JTBC)*, 203â-222.
- Gange, A. C., Allen, L. P., Nussbaumer, A., Gange, E. G., Andrew, C., Egli, S., Senn-Irlet, B. & Boddy, L. (2019). Multiscale patterns of rarity in fungi, inferred from fruiting records. *Global Ecology and Biogeography*, 28(8), 1106-1117.
- Garibay-Orijel, R., Caballero, J., Estrada-Torres, A. & Cifuentes, J. (2007). Understanding cultural significance, the edible mushrooms case. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 3(1): 1-18.
- Garibay-Orijel, R., Martínez-Ramos, M., & Cifuentes, J. (2009). Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(2), 521-534.
- Garro, L. C. (1986) Intracultural variation in folk medical knowledge: A comparison between curers and noncurers. *Am Anthropol* 88:351–370.
- Gassibe, P. V., Fabero, R. F., Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J. A., & Martín-Pinto, P. (2011). Fungal community succession following wildfire in a Mediterranean vegetation type dominated by *Pinus pinaster* in Northwest Spain. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 655-662.
- Gilmore, M. P., & Eshbaugh, W. H. (2011). From researcher to partner: ethical challenges and issues facing the ethnobiological researcher. *Ethnobiology*, edited by EN Anderson, DM Pearsall, ES Hunn, and NJ Turner, 51-63.
- Goldmann, K., Schöning, I., Buscot, F., & Wubet, T. (2015). Forest management type influences diversity and community composition of soil fungi across temperate forest ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1-11.
- Gómez-Hernández, M., & Williams-Linera, G. (2011). Diversity of macromycetes determined by tree species, vegetation structure, and microenvironment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. *Botany*, 89(3), 203-216.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Galindo-Jaimes, L., Camacho-Cruz, A., Golicher, D., Cayuela, L. & Rey-Benayas, J. M. (2009) Tendencias y proyecciones

del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política Pública*. 1(1):40-53.

- Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J. A., & Martín-Pinto, P. (2013). Post-fire fungal succession in a Mediterranean ecosystem dominated by *Cistus ladanifer* L. *Forest Ecology and Management*, 289, 48-57.
- Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J. A., Pando, V., & Martín-Pinto, P. (2015). Impact of fuel reduction treatments on fungal sporocarp production and diversity associated with *Cistus ladanifer* L. ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 353, 10-20.
- Kranabetter, J. M., Haeussler, S., & Wood, C. (2017). Vulnerability of boreal indicators (ground-dwelling beetles, understory plants and ectomycorrhizal fungi) to severe forest soil disturbance. *Forest Ecology and Management*, 402, 213-222.
- Kutorga, E., Adamonytė, G., Iršėnaitė, R., Juzėnas, S., Kasparavičius, J., Markovskaja, S., Motiejūnaitė, J., & Treigienė, A. (2012). Wildfire and post-fire management effects on early fungal succession in *Pinus mugo* plantations, located in Curonian Spit (Lithuania). *Geoderma*, 191, 70-79.
- Luna-Morales, C. (2002) Ciencia, conocimiento tradicional y etnobotánica. *Etnobiología* 2:120-135.
- Mediavilla, O., Oria-de-Rueda, J. A., & Martín-Pinto, P. (2014). Changes in sporocarp production and vegetation following wildfire in a Mediterranean Forest Ecosystem dominated by *Pinus nigra* in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 331, 85-92.
- Montoya, A., Estrada Torres, A. & Caballero, J. (2002). Comparative Ethnomycological survey of three localities from La Malinche Volcano, Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 22, 103-131.
- Montoya, A., Hernández Totomoch, O., Estrada Torres, A., Kong, A. & Caballero, J. (2003). Traditional knowledge about mushrooms in a Nahua community in the state of Tlaxcala, México. *Mycologia*, 95 (5), 793-806.
- Montoya, A., Kong, A., Estrada-Torres, A., Cifuentes, J. & Caballero, J. (2004). Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17:115-143.
- Montoya, A., Kong, A., Garibay-Orijel, R., Méndez-Espinoza, C., Tulloss, R. E., Estrada-Torres, A. (2014). Availability of wild edible fungi in La Malinche National Park, México. *Journal of Mycology*, 2014.



- Montoya, A., Torres García, E. A., Kong, A., Estrada Torres, A. & Caballero, J. (2012). Gender differences and regionalization of the cultural significance of wild mushrooms around La Malinche Volcano, Tlaxcala. *Mycologia*, 104 (4), 826-834.
- Mushinski, R. M., Gentry, T. J., & Boutton, T. W. (2018). Organic matter removal associated with forest harvest leads to decade scale alterations in soil fungal communities and functional guilds. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 127-136.
- Nouhra, E. R., Urcelay, C., Longo, M. S., & Fontenla, S. (2012). Differential hypogeous sporocarp production from *Nothofagus dombeyi* and *N. pumilio* forests in southern Argentina. *Mycologia*, 104(1), 45-52.
- Oliver, A. K., Callaham Jr, M. A., & Jumpponen, A. (2015). Soil fungal communities respond compositionally to recurring frequent prescribed burning in a managed southeastern US forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 345, 1-9.
- Parladé, J., Martínez-Peña, F., & Pera, J. (2017). Effects of forest management and climatic variables on the mycelium dynamics and sporocarp production of the ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis*. *Forest ecology and management*, 390, 73-79.
- Peña-Cañón, E. R., & Enao-Mejía, L. G. (2014). Conocimiento y uso tradicional de hongos silvestres de las comunidades campesinas asociadas a bosques de roble (*Quercus humboldtii*) en la zona de influencia de la Laguna de Fúquene, Andes Nororientales. *Etnobiología*, 12(3), 28-40.
- Phillips, O., & Gentry, A. H. (1993). The useful plants of Tambopata, Peru: I. Statistical hypotheses tests with a new quantitative technique. *Economic Botany*, 47(1), 15-32.
- Pilz, D., & 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(1-3), 3-16.
- Quiñónez-Martínez, M., Garza, F., Sosa, M., Keleng, T. L., Lavín, P., & Bernal, S. (2008). Índices de diversidad y similitud de hongos ectomicorizógenos en bosques de Bocoyna, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 33, 59-78.
- Reazin, C., Morris, S., Smith, J. E., Cowan, A. D., & Jumpponen, A. (2016). Fires of differing intensities rapidly select distinct soil fungal communities in a Northwest

US ponderosa pine forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 377, 118-127.

- Robles-García, D., Suzán-Azpíri, H., Montoya-Esquivel, A., García-Jiménez, J., Esquivel-Naranjo, E. U., Yahia, E., & Landeros-Jaime, F. (2018). Ethnomycological knowledge in three communities in Amealco, Querétaro, México. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 14(1), 1-13.
- Rodríguez-Zamudio, Z. (2017) Análisis de la estructura arbórea de encinos para la producción de carbón vegetal y el impacto en el suelo. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Romero, B. C., García, G. E. & Hernández, A. E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de la Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2 (5): 63-70.
- Rubio, G. A. M. (2010). La Densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Escuela Universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla. Instituto de recursos naturales y Agrobiología de Sevilla consejo superior de investigaciones científicas. Trabajo de fin de carrera para optar al título de Ingeniero técnico agrícola. 88 p.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
- Salo, K., & Kouki, J. (2018). Severity of forest wildfire had a major influence on early successional ectomycorrhizal macrofungi assemblages, including edible mushrooms. *Forest Ecology and Management*, 415, 70-84.
- Savoie, J. M., & Largeteau, M. L. (2011). Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(4), 971-979.
- Saynes-Vásquez, A., Caballero, J., Meave, J. A., & Chiang, F. (2013). Cultural change and loss of ethnoecological knowledge among the Isthmus Zapotecs of Mexico. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 9(1), 1-10.
- Silva, F. D. S., M. A. Ramos, N. Hanazaki, & U. P. D. Albuquerque. (2011). Dynamics of traditional knowledge of medicinal plants in a rural community in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 21(3): 382-391.
- Smith, J. E., McKay, D., Brenner, G., McIver, J. I., & Spatafora, J. W. (2005). Early impacts of forest restoration treatments on the ectomycorrhizal fungal community

- and fine root biomass in a mixed conifer forest. *Journal of Applied Ecology*, 42(3), 526-535.
- Taye, Z. M., Martínez-Peña, F., Bonet, J. A., de Aragón, J. M., & de-Miguel, S. (2016). Meteorological conditions and site characteristics driving edible mushroom production in *Pinus pinaster* forests of Central Spain. *Fungal ecology*, 23, 30-41.
- Teklehaymanot, T., Giday, M., Medhin, G., & Mekonnen, Y. (2007). Knowledge and use of medicinal plants by people around Debre Libanos monastery in Ethiopia. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(2), 271-283.
- Toledo, C. V., Barroetaveña, C., & Rajchenberg, M. (2014). Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1093-1103.
- Toledo, V. M. & Barrera-Bassols, N. (2008) La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. 1era ed. España: Icaria editorial.
- Tomao, A., Bonet, J. A., de Aragón, J. M., & de-Miguel, S. (2017). Is silviculture able to enhance wild forest mushroom resources? Current knowledge and future perspectives. *Forest Ecology and Management*, 402, 102-114.
- Torres, E. A. (2009) Estudio ecológico y frecuencia de mención de los hongos silvestres en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. Tesis para obtener el título de Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trudell, S. A., & Edmonds, R. L. (2004). Macrofungus communities correlate with moisture and nitrogen abundance in two old-growth conifer forests, Olympic National Park, Washington, USA. *Canadian journal of Botany*, 82(6), 781-800.
- Vargas, M. D. C. C. (2005). Conservación del Parque Nacional Malinche. *Parque Nacional Malinche*, en: Fernández-Fernández, J. A.. *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala, México* (No. Sirsi) i9789683639929). Gobierno del Estado de Tlaxcala. p.175.
- Zamora, M., Alvarado, G. & Domínguez, J. M. (2000). Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala Parte 1. Inifap.
- Zamora-Martínez, M. C., Montoya, A., Nieto de Pascual-Pola, C., Kong, A., González, H. & Martínez Valdez, J. I.(2007). Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala II. INIFAP/ CENID-COMEF/ Universidad Autónoma de Tlaxcala. México, D. F. México. Libro Técnico No. 3. 59 p.

## ANEXOS CAPÍTULO 3

### Supplementary Files

#### Supplementary document 1. Interview

Participation in this survey is voluntary and your information will be confidential. The objective is to understand community knowledge about fungi.

Interviewee data:

Name: \_\_\_\_\_

Gender: \_\_\_\_\_ Age: \_\_\_\_\_ Occupation: \_\_\_\_\_

Household location: \_\_\_\_\_

1. Do you know wild mushrooms? Yes \_\_\_\_ No \_\_\_\_ Can you name 20 mushrooms you know? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2.- Do you eat mushrooms? \_\_\_\_\_ Do you collect mushrooms? Yes \_\_\_\_ No \_\_\_\_  
Where do you collect them or how do you get them? \_\_\_\_\_

3.- Could you explain how you harvest them (when-months, how often, with whom, how)?

\_\_\_\_\_

4.- How many times a week do you eat wild mushrooms in season? \_\_\_\_\_

5.- Are mushrooms good for something in the forest? Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ For what? \_\_\_\_\_

6.- Do you consider them important? Why? \_\_\_\_\_

7.- Are mushrooms related to any plant? Yes \_\_\_\_ No \_\_\_\_ How? \_\_\_\_\_

8.- What fungi can we find in each type of vegetation, forest, mountain area?

Type of vegetation	Mushrooms
Ocote (Pinus forest)	
Encino (Quercus forest)	
Ayomel (Fir forest)	
Sacatón (grassland)	

9.- What do mushrooms need to be born? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Do you know the weather conditions that mushrooms need to appear? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10.- What soil conditions do mushrooms prefer? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11.- What effect do the following human activities that take place in the mountains have on the forest and on the development of fungi?

Human activities	Effects in the forest	Effects on fungi
Fires		
Firewood collection		
Deforestation		
Crops		
Hunting		
Other?		

12.- Do you think the forest has changed? Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ In what way? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13.- Do the same mushrooms exist now as before? Why? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

14.- Would you like to continue having mushrooms in the forest? Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
I don't mind \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

15.- How do you think we can take care of mushrooms and the place where they grow? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

16.- Would you like to actively participate in the care of mushrooms and the forest? How? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Supplementary Table 1. Sociodemographic characteristics of interviewees.

<b>Characteristic and category</b>	<b>No. of interviews</b>
<i>Gender</i>	
Female	63
Male	71
<i>Economic activity</i>	
Student	40
Home	36
Primary sector	16
Secondary sector	8
Tertiary sector	29
<i>Age category</i>	
Youth (< 20 years)	45
Adult (21-59 years)	44
Elderly (< 59 years)	45
<i>Household location in the community</i>	
Defensa (Area located within 200m from the forest).	44
Centre (Area located ca. 2.5 km from the forest)	45
Colony (Area located ca. 4.4 km from the forest)	45

Supplementary Table 2. Mushroom species and traditional names recognized in the community of San Pedro Tlalcuapan, Chiautempan, Tlaxcala, in order of frequency of mention.

Scientific name	Common name in Spanish	Common name in Nahuatl	F
<i>Russula brevipes</i> Peck	Tecajete	Tecax	
<i>Russula</i> complex. <i>delica</i> Fr.			102
<i>Amanita basii</i> Guzmán & Ram.-Guill	Amarillo, Flor	Ayoxochitl	97
<i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i> Bull.		Pante	92
<i>Ramaria</i> spp.	Escobeta	Xelhuas	73
<i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i> (Pers.) Quél.	Xolete de chambusquina	Xoletl	70
<i>Cantharellus</i> aff. <i>cibarius</i> Fr.		Tecosa	65
<i>Laccaria trichodermophora</i> G.M. Muell.		Xoxocoyuli	64
<i>Suillus pseudobrevipes</i> A.H. Sm. & Thiers	Pancita	Poposo	61
<i>Turbinellus floccosus</i> (Schwein.)Singer	Corneta	Tlapitzal	52
<i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i> (Fr.) Singer.		Tzenzo	48
<i>Agaricus campestris</i> L.	Llanero, Hongo de pasto	Ayutzi	48
<i>Lactarius indigo</i> (Schwein.) Fr.	Tecajete azul	Tlapaltecax	47
<i>Pleorotus opuntiae</i> (Durieu & Léville) Sacc.	Hongo de maguey	Mesonanatl	38
<i>Chroogomphus jamaicensis</i> (Murrill) O.K. Mill.	Borracho	Tlapaltecosa	24
<i>Hygrophorus chrysodon</i> (Batsch) Fr.	Señorita, Palomita	Totoltenanacatl	24
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	Huevito blanco, Tzefamil chico	Popote	24
<i>Calvatia cyathiformis</i> Fr.		Tzefamil	22
<i>Rhizopogon</i> aff. <i>michoacanicus</i> Trappe & Guzmán	Huevito	Xitetl	21
<i>Amanita</i> sp.		Cuehcuex	20
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul.	Chilnanzi naranja	Chilnanzi, Chilnanacatl	20

<i>Hypomyces macrosporus</i> Seaver	Chilnanzi café	Chilnanzi, Chilnanacatl	19
<i>Reticularia lycoperdon</i> Bull. (Myxomycete)	Caca de luna	Cuahtechol	13
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray	Enchiladito	Tlapaltecax, Ocotecax	12
<i>Amanita amerifulva</i> Tullos	Venadito, Casco de soldado		11
<i>Auricularia auricula-judae</i> Bull.	Oreja ratón tronco	Quimixnacas	8
<i>Lyophyllum</i> sp.		Oco-Tzenzo	7
<i>Morchella snyderi</i> M. Kuo & Methven	Chipotle		7
<i>Agaricus bisporus</i> J.E. Lange	Champiñon		6
<i>Ustilago maydis</i> (DC.) Corda		Cuitlacoche	5
<i>Infundibulicybe gibba</i> Pers.	Cueros, Sombrillitas	Nacas cuero	4
<i>Macrolepiota</i> aff. <i>procera</i> (Scop.) Singer		Tulnanacatl	4
<i>Amanita</i> complex. <i>rubescens</i> Pers	Mantequilla		3
<i>Armillaria</i> complex. <i>mellea</i>		Xopitzal	3
<i>Infundibulicybe</i> sp.		Totomoxnanacatl	3
<i>Ramaria</i> aff. <i>suecica</i> (Fr.) Donk	Escobeta café, Escobeta de ocote	Xelhuas	3
<i>Ramaria</i> cf. <i>cystidiophora</i> (Kauffman) Corner,	Escobeta café	Xelhuas	3
<i>Tricholoma flavovirens</i> (Pers.) S. Lundell	Railita, Kailita		3
<i>Amanita elongata</i> Peck	Yema		2
<i>Gymnopus</i> complex. <i>dryophilus</i> (Bull.) Murrill	Xolete pata amarilla	Xoletl	2
<i>Helvella crispa</i> Bull.	Oreja de ratón, Soldadito	Xocuepich	2
<i>Laccaria</i> sp.		Xoxocoyuli cihuatl	2
<i>Lactarius salmonicolor</i> R. Heim & Leclair	Enchilado de oyamel	Ayometecax	2
<i>Ramaria</i> aff. <i>rasilispora</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla	Xelhuas	2
<i>Ramaria rubricarnata</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta amarilla	Xelhuas	2
<i>Ramaria rubripermanens</i> Marr & D.E. Stuntz	Escobeta rosa	Xelhuas	2
<i>Russula</i> complex. <i>xerampelina</i> (Schaeff.) Fr.	Pastelito		2



<i>Agaricus</i> sp.	Llanero de monte		1
<i>Clavariadelphus</i> sp.	Acocote		1
<i>Pholiota lenta</i> (Pers.) Singer	Xolete de ocote	Ocoxoletl	1

---

Supplementary Table 3. Standard deviation values of the average values of the sub-indexes of the cultural significance index

Species	Standard deviation values							
	PAI	FUI	TSAI	MFFI	KTI	HI	IE	LNI
<i>Russula complex. delica</i>	2.56	1.38	2.29	0.67	1.90	1.22	3.30	1.03
<i>Amanita basii</i>	2.29	1.97	1.83	0.55	1.88	1.22	4.23	0.56
<i>Boletus complex. edulis</i>	2.80	2.36	2.48	0.77	1.88	1.22	3.94	0.46
<i>Laccaria trichodermophora</i>	1.90	2.50	2.94	1.67	1.88	1.02	2.98	0.00
<i>Turbinellus floccosus</i>	3.38	2.64	2.62	1.52	2.21	1.22	4.57	1.30
<i>Lyophyllum aff. decastes</i>	3.17	2.88	2.27	2.39	2.21	1.02	3.94	0.00
<i>Ramaria spp.</i>	2.74	2.06	3.04	1.68	1.88	1.02	3.52	0.97
<i>Cantharellus aff. cibarius</i>	2.08	1.70	1.96	1.52	1.88	1.22	3.66	0.00
<i>Suillus pseudobrevipes</i>	3.30	2.15	2.86	1.50	1.88	1.02	3.04	1.38
<i>Hebeloma aff. mesophaeum</i>	1.70	2.03	1.63	0.46	2.06	1.48	3.25	0.00

Supplementary Table 4. Socioeconomic variables associated with environmental factors that affect the WEM community.

Characteristics of the community		Vegetation- Mushrooms	Rainy climate	Soil with fertilizer	Chi-square
Gender	Male	50	70	51	0.46331 (p= 0.79)
	Female	52	62	45	
Age range	Youth	22	43	22	4.8104 (p= 0.307)
	Adults	37	44	33	
	Elderly	43	45	41	
Area inhabited in the community *	Defense	39	44	39	1.6969 (p= 0.791)
	Centre	35	45	31	
	Colony	28	43	26	
	Primary	16	16	13	
Economic activity	Secondary	6	8	8	4.5817 (p=0.801)
	Tertiary	25	29	22	
	Student	22	38	18	
	Home	31	36	32	

*\*Defense: Near the forest, Centre: Mid-distance from the forest, Colony: Far from the forest.*

Supplementary Table 5. Identification and characteristics of main sites for WEM collection.

Site	Vegetation	Mushrooms	Soil	Climate	Human activities
Ame	Prairie	<i>Agaricus campestris</i> <i>Calvatia cyathiformis</i>	Brown, sandy	Warm	Croplands
	Pinus-Oak Forest	<i>Hypomyces lactifluorum</i> <i>Hypomyces macrosporus</i> <i>Russula</i> complex. <i>delica</i> <i>Amanita basii</i> <i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i> <i>Ramaria</i> spp. <i>Calvatia cyathiformis</i> <i>Agaricus campestris</i>	Tepetate (limestone)	Dry	Croplands
Rast, Ato	Pine forest	<i>Amanita basii</i> <i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i> <i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i> <i>Russula</i> complex. <i>delica</i> <i>Hypomyces lactifluorum</i> <i>Hypomyces macrosporus</i> <i>Laccaria trichodermophora</i> <i>Ramaria</i> spp. <i>Helvella crispa</i> <i>Lactarius indigo</i>	Rocky	Temperate	Fires
Tet	Pine-Oak Forest	<i>Ramaria</i> spp. <i>Amanita basii</i> <i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i> <i>Russula</i> complex. <i>delica</i> <i>Lactarius indigo</i> <i>Hypomyces lactifluorum</i> <i>Hypomyces macrosporus</i>	Yellow, sandy	Temperate	Croplands Fires
	Cua	<i>Russula</i> complex. <i>delica</i> <i>Lactarius indigo</i> <i>Hypomyces lactifluorum</i> <i>Hypomyces macrosporus</i>			

---

		<i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i>			
Tla	Pine forest	<i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i>	Hard earth, tepetate (limestone)	Warm	Croplands Fertilizer (leaf litter) removal
		<i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i>			
		<i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i>			
		<i>Laccaria trichodermophora</i>			
		<i>Cantharellus</i> aff. <i>cibarius</i>			
		<i>Chroogomphus jamaicensis</i>			
Mes †	Pine-Oak forest	<i>Amanita basii</i>	Soft, brown	Temperate- warm	Little terrain Few fires A little tree removal
		<i>Russula</i> complex. <i>delica</i>			
		<i>Lactarius indigo</i>			
		<i>Hypomyces lactifluorum</i>			
		<i>Hypomyces macrosporus</i>			
		<i>Suillus pseudobrevipes</i>			
		<i>Lyophyllum</i> aff. <i>decastes</i>			
		<i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i>			
		<i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i>			
		<i>Ramaria</i> spp.			
		<i>Lactarius deliciosus</i>			
Des	Pine forest	<i>Amanita basii</i>	A little tepetate (limestone)	Temperate	Croplands, A little tree removal
		<i>Russula</i> complex. <i>delica</i>			
		<i>Hypomyces lactifluorum</i>			
		<i>Hypomyces macrosporus</i>			
		<i>Hebeloma</i> aff. <i>mesophaeum</i>			
Lin	Pine forest	<i>Russula</i> complex. <i>delica</i>	Sandy	Temperate	Croplands
		<i>Hypomyces lactifluorum</i>			
		<i>Hypomyces macrosporus</i>			
		<i>Laccaria trichodermophora</i>			
Ate	Pine forest	<i>Russula</i> complex. <i>delica</i>	Sandy	Cold	Tree removal

---

---

					Ocoteo (stripping for resin harvesting)
Tzo	Fir forest	<i>Ramaria</i> spp <i>Turbinellus floccosus</i>	Black	Cold	Tree removal
Xax	Fir forest	<i>Morchella snyderi</i> <i>Infundibulicybe</i> sp.	Sandy	Cold	Tree removal
	Pine forest	<i>Boletus</i> complex. <i>edulis</i> <i>Russula</i> complex. <i>delica</i> <i>Ramaria</i> spp. <i>Amanita basii</i> <i>Cantharellus</i> aff. <i>cibarius</i> <i>Laccaria trichodermophora</i> <i>Turbinellus floccosus</i> <i>Chroogomphus jamaicensis</i> <i>Hygrophorus chrysodon</i> <i>Reticularia lycoperdon</i> <i>Lactarius deliciosus</i> <i>Auricularia auricula-judae</i> <i>Infundibulicybe gibba</i> <i>Amanita</i> complex. <i>rubescens</i> <i>Tricholoma flavovirens</i> <i>Gymnopus</i> complex. <i>dryophillus</i> <i>Helvella crispa</i> <i>Russula</i> complex. <i>xerampelina</i> <i>Agaricus</i> sp.	Black, porous	Cold and humid	Tree removal
Tres					
Ayo	Fir forest	<i>Turbinellus floccosus</i> <i>Morchella snyderi</i> <i>Auricularia auricula-judae</i>	Black, porous	Cold and humid	Tree removal Fires

---

---

*Lactarius salmonicolor*

*Pholiota lenta*

*Infundibulicybe gibba*

---

† Site determined by participants as a high production and collection site.

For the protection of the territory, the real names of the collection sites were not included.

Supplementary Table 6. Socioeconomic variables associated with the knowledge of actions for protection and sustainable use proposals presented by the study community.

Interviewee's characteristics		Avoid littering and polluting	Avoid fires	Avoid tree removal	Use traditional management	Actions (planting trees, dams)	Environmental education	Chi-square
Gender	Male	12	34	26	7	14	7	1.5274 (p= 0.91)
	Female	8	22	13	7	11	4	
Age range	Youth	11	24	24	3	11	4	16.164 (p= 0.10)
	Adults	6	16	8	9	8	6	
	Elderly	3	16	7	2	7	1	
Area in the community*	Defense	7	21	13	4	4	4	13.318 (p= 0.23)
	Centre	8	17	9	2	14	4	
	Colony	5	18	17	8	8	3	
Economic activity	Primary	3	9	4	2	1	1	17.545 (p= 0.64)
	Secondary	0	2	2	1	0	1	
	Tertiary	5	13	7	4	7	6	
	Student	10	19	19	3	9	3	
	Home	2	13	6	3	5	0	

\*Defense: Near the forest, Centre: Mid-distance the forest, Colony: far the forest.