

REVISIONES

Importancia de la domesticación en la conservación de los hongos silvestres comestibles en México

The importance of domestication in the conservation of edible wild fungi in Mexico

Gerardo Alvarado-Castillo ^{**}, Gerardo Mata ^b, Griselda Benítez-Badillo ^b

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Circuito Aguirre Beltrán s/n Zona Universitaria CP. 91090, Veracruz, México, tel.: 52228 842 1749, gerardoalvaradoc@hotmail.com

^b Instituto de Ecología A.C. Km 2.5 Carretera antigua a Coatepec 351, Congregación El Haya, Xalapa, Veracruz, México.

SUMMARY

In Latin America, including Mexico, the tremendous degradation of forests has drastically altered the ecological, social and cultural contexts associated with them. Edible wild fungi form part of the eating and subsistence strategy of the local inhabitants and of the biocultural richness. This resource is currently at risk owing to the growing demand for its gastronomic and nutraceutical properties, and because of the lack of knowledge for its sustainable use. All of this increases the probability of overexploiting or driving some species extinct, especially the most traditionally used and well-known ones. Because of this, it is necessary to develop an understanding of the role of edible wild fungi in agroecosystems, and to develop technologies that allow them to be produced under domestication. This review examines the theoretical and conceptual background of the challenges of managing fungi and the implications of their domestication; emphasizing the need to take into account ethnomycological knowledge and use an interdisciplinary approach that favors a balance between conservation and development. The proper management of this resource could contribute to local economies and even become a driver of social transformation for rural and indigenous communities in the forests of Mexico.

Key words: agroecosystems, forest ecosystems, traditional knowledge, ethnomycology.

RESUMEN

En Latinoamérica, incluido México, existe una gran degradación de los bosques y selvas que ha alterado drásticamente al entorno ecológico, social y cultural asociado a ellos. Los hongos silvestres comestibles forman parte de esta riqueza biocultural y se encuentran actualmente amenazados por el desconocimiento de pautas de aprovechamiento sostenible y la creciente demanda por sus propiedades gastronómicas y nutraceuticas. Esto aumenta la probabilidad de sobreexplotación o extinción de distintas especies, especialmente de aquellas tradicionales y más conocidas. Por lo anterior, es necesario entender el papel de los hongos silvestres comestibles dentro de los agroecosistemas, así como desarrollar tecnologías que permitan su domesticación y producción. En la presente revisión se analizan antecedentes teóricos y conceptuales relacionados con los retos en el manejo del recurso fúngico y las implicancias de su domesticación, señalando la necesidad de considerar el conocimiento etnomicológico y un enfoque interdisciplinario que favorezca el equilibrio entre conservación y desarrollo. El manejo adecuado de este recurso podría contribuir a las economías locales y ser un factor de transformación social para las comunidades rurales e indígenas de los bosques en México.

Palabras clave: agroecosistemas, ecosistemas forestales, conocimiento tradicional, etnomicología.

INTRODUCCIÓN

Los hongos silvestres comestibles junto con otros productos forestales no maderables (PFNM) (alimento, medicina, materiales de construcción, leña, etc.), constituyen un elemento relevante en la alimentación e ingresos de varios millones de hogares en todo el mundo, por lo que gobiernos e instituciones han comenzado a valorar su importancia dentro de las comunidades rurales (Zamora-Martínez

y Nieto de Pascual-Pola 1995, Mariaca *et al.* 2001), por su aporte a la autosuficiencia alimentaria y obtención de ingresos (Pastor 2002, Pérez-Moreno *et al.* 2010).

En México su recolección es una actividad basada en el uso múltiple de los recursos naturales, que junto con otras actividades tales como la siembra de maíz, cría de animales, cacería ocasional y venta de la propia fuerza de trabajo, forma parte de la estrategia alimentaria y de subsistencia de los productores rurales que habitan las zonas

boscosas del país (Tacón y Palma 2006, Estrada-Martínez *et al.* 2009). Esta actividad se ha realizado desde épocas prehispánicas y está integrada por componentes económicos, sociales, culturales y ecológicos, lo que le otorga el carácter de agroecosistema, ya que consta de elementos ambientales y humanos, que poseen forma, dinámica, función e interrelaciones (Alvarado y Benítez 2009), producto de un proceso eminentemente histórico, cultural y natural (Ruan-Soto *et al.* 2013).

Económicamente, es una de las pocas actividades que permiten generar un ingreso adicional en comunidades marginales, ya que no demanda de inversiones ni herramientas e incluye la participación de todos los miembros de la familia, lo que permite asegurar un flujo monetario temporal y complementario en muchos hogares rurales (Mariaca *et al.* 2001, Estrada-Martínez *et al.* 2009, Pérez-Moreno *et al.* 2010), sobre todo en la época de baja actividad agrícola (Montoya *et al.* 2008). Posee un componente social muy arraigado que genera vínculos entre familias y comunidades (Villareal y Pérez-Moreno 1989, Pastor 2002), con un gran impacto de género, pues las mujeres se encuentran involucradas en la recolección, procesamiento y particularmente en la comercialización (Mariaca *et al.* 2001, Pérez-Moreno *et al.* 2008).

Incluye importantes elementos culturales determinados por el género, origen, ocupación y grupo étnico de la población rural, así como una extensa comprensión sobre su ingestión, propiedades medicinales y uso ritual (Guzmán 1994, Garibay-Orijel *et al.* 2012, Ruan-Soto *et al.* 2013). Estos conocimientos ancestrales se mantienen activos de manera vertical (de padres a hijos) y horizontal (entre gente de la misma generación) (Mariaca *et al.* 2001, Estrada-Martínez *et al.* 2009), conformando parte de su identidad cultural (Garibay-Orijel *et al.* 2012) y manteniendo dicho conocimiento hasta el día de hoy (Pérez-Moreno *et al.* 2008).

La recolección de hongos silvestres comestibles es compatible con la conservación de los recursos naturales, ya que mantiene una producción continua de los bienes y servicios que proporciona el bosque (Villareal y Pérez-Moreno 1989). Forma parte de su ciclo y contribuye a su salud y productividad (Bonet *et al.* 2012, Castillo-Guevara *et al.* 2012, Montoya y Orrego 2012), conformando con ello un componente ecológico, pues este tipo de aprovechamiento ocasiona menos impactos que otras actividades como la ganadería (Wilsey 2006), generando en las comunidades un incentivo para proteger sus recursos forestales.

De esta forma, la diversidad étnica y de recursos bióticos existente en las diferentes regiones agroecológicas de México, permite que se realice el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles con una visión particular y distinta, que conforma la estrategia de supervivencia de muchos grupos rurales e indígenas (Solbrig 2004). En tal sentido, se mantiene el conocimiento empírico de un recurso importante, que aporta ingresos, beneficia la conservación del ambiente y promueve la organización social, usos y costumbres de las comunidades establecidas en los

ecosistemas forestales (Alvarado y Benítez 2009). Todo lo cual forma parte de la riqueza biocultural de México, que ha representado una importante forma de conservación del recurso *in situ* (Hernández 1993).

Por lo anterior, el objetivo de la presente revisión es informar y difundir la importancia de la recolección de hongos silvestres comestibles en México, los factores que la integran y las limitantes a las que se enfrenta, planteando a la domesticación como un eje fundamental de la conservación del recurso.

SITUACIÓN ACTUAL Y RETOS EN EL MANEJO DE LOS HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES

En México, la recolección de hongos silvestres comestibles es una de las actividades más aisladas y poco conocidas del sector primario (Villareal y Pérez-Moreno 1989, Arteaga y Moreno 2006), pues se desconocen sus patrones de desarrollo, estructuras, procesos, variables socioeconómicas e interrelaciones con otros sectores (Mariaca *et al.* 2001, Martínez-Carrera *et al.* 2007, Garibay-Orijel *et al.* 2009). Así mismo, el alto valor de algunos de ellos en los mercados nacionales e internacionales (por ejemplo, especies de los géneros *Morchella*, *Tricholoma* y *Boletus*) junto con los vacíos legales existentes, pueden desplazar a los recolectores tradicionales, quienes usan normalmente este recurso como estrategia de subsistencia, por personas contratadas para recolectar grandes volúmenes, lo cual generalmente se realiza de forma desigual y desordenada, al acceder a tierras comunales y federales sin los permisos correspondientes y arrasar con las especies comerciales.

Este saqueo, resultado de una falta de gestión forestal sostenible, provoca impactos como la perturbación excesiva del hábitat, compactación del suelo (Martínez de Aragón *et al.* 2011), interrupción del ciclo biológico de algunas especies, fluctuación y disminución de su abundancia, erosión genética (Tacón y Palma 2006), etc., que interfieren en el importante papel que juegan los hongos en la salud forestal (Bonet *et al.* 2012, Montoya y Orrego 2012).

Políticas públicas en el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles. En México, los hongos (cultivados, silvestres y medicinales) no figuran en los sistemas de información oficiales (los cuales determinan la relevancia social y la jerarquización de prioridades en las actividades productivas), por lo que existe una ausencia de políticas públicas, estrategias de mercado y fomento a la investigación científica en torno a este recurso. Ejemplo de ello son las áreas de oportunidad desaprovechadas en hongos silvestres y medicinales con potencial de exportación. Adicionalmente, el marco legal que regula el aprovechamiento de los hongos silvestres es muy general y relega sus competencias a diversas leyes y ordenamientos, lo que ocasiona que este sea ambiguo y genere confusión o duplicidad (Benítez-Badillo *et al.* 2013).

Así mismo, existe un problema de tenencia de la tierra, donde el acceso al bosque no tiene ninguna restricción y la propiedad de los PFSM no está claramente asignada, por lo que los ejidos, usufructuarios y concesionarios de tierras públicas no reciben compensación o beneficio alguno, desincentivando la conservación del bosque (Martínez de Aragón *et al.* 2011). A lo anterior se añade el escaso interés público y privado para estimular la producción, y los problemas técnicos de almacenamiento, conservación y transporte (Martínez-Carrera *et al.* 2007, Andrade *et al.* 2012). El desconocimiento del potencial de este recurso, favorece los procesos de conversión de los ambientes de bosque o selva para otros usos productivos, generalmente más severos, intensivos o incompatibles, generando deterioro y alteraciones no sólo a las poblaciones fúngicas, sino también al entorno social y cultural (Estrada-Martínez *et al.* 2009).

El papel de los hongos silvestres comestibles en la gestión forestal sostenible. La Conferencia Ministerial de Helsinki (1993) declaró que la gestión forestal sostenible es la “administración y uso de los bosques y los montes de manera y en tal medida que mantengan su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial de cumplir, ahora y en el futuro, funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes, a escala local, nacional y global, sin causar daño a otros ecosistemas”. En ese aspecto los hongos desempeñan un papel clave, pues contribuyen al reciclamiento de nutrientes, a través de la descomposición de residuos lignocelulósicos y excretas de animales, al manteniendo la fertilidad del suelo (Savoie y Largeteau 2011), forman parte de la cadena trófica y mantienen interacciones con la flora y fauna, contribuyendo a la salud del sistema forestal (Bonet *et al.* 2012, Montoya y Orrego 2012), aunque lamentablemente su importancia aún no se percibe como tal.

Dentro de los hongos silvestres comestibles más importantes se encuentran los micorrízicos, puesto que aproximadamente el 80 % de las plantas pertenecen a familias capaces de formar asociaciones simbióticas con ellos. Estos mejoran la nutrición del árbol (Boa 2004, Egli 2011, Savoie y Largeteau 2011), a través de la asimilación de elementos poco móviles como nitrógeno, fósforo, cobre y zinc (Martínez-Peña *et al.* 2012) y otorgan mayor tolerancia al estrés ambiental, nutricional y a factores externos (ataque de patógenos o insectos) (Smith y Read 2008, Sangabriel-Conde *et al.* 2010). Pueden ser utilizados como bioinoculantes para micorrización artificial (Savoie y Largeteau 2011) tal como se ha utilizado en México *Amanita caesarea* (Scop) Pers. para *Pinus patula* Schl. et Cham. y *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke para *P. greegii* Englem., *P. patula* y *P. pseudostrobis* Lindl. (Jiménez *et al.* 2013).

Adicionalmente, los hongos sirven de alimento a la fauna local, la cual a su vez contribuye a su dispersión y a la regeneración vegetal en zonas perturbadas, dado que las excretas son excelente fuente de inóculo micorrizógeno

(Castillo-Guevara *et al.* 2012). Todo lo anterior favorece el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos (Savoie y Largeteau 2011, Martínez-Peña *et al.* 2012), fomenta la productividad y contribuye a la resiliencia de los bosques (Savoie y Largeteau 2011).

Integrar el conocimiento de los diversos roles de los hongos en el funcionamiento del ecosistema, junto con el saber tradicional de los pueblos que habitan esos ambientes, puede orientar el manejo integral del bosque (Egli 2011, Savoie y Largeteau 2011), por lo que en la actualidad, el aprovechamiento racional de los hongos silvestres comestibles y su conservación a largo plazo necesitan de la gestión de las poblaciones naturales, basados en el conocimiento local y el desarrollo de técnicas para su domesticación. Esta puede conducir a un nuevo enfoque de conservación y aprovechamiento sostenible, constituyendo una respuesta ante el estado de vulnerabilidad de muchas especies en su medio natural (Ruiz *et al.* 2004, Andrade *et al.* 2012), lo cual hace necesario analizar los antecedentes teóricos y conceptuales que permitan dilucidar la viabilidad de esta opción en el futuro.

LA DOMESTICACIÓN: ANÁLISIS DEL CONCEPTO

El tema se encuentra en amplia discusión, pues existe confusión con otros términos como cultivo y producción, además de que su delimitación no es fácil ya que es un proceso complejo e intangible. Convencionalmente se refiere a un proceso por medio del cual plantas, animales y microorganismos son extraídos de su medio natural para adaptarlos a hábitats creados por el hombre con fines de reproducción y consumo directo o indirecto. Este lleva implícito un proceso evolutivo como resultado de la selección y cruzamiento de una especie, así como el manejo de su entorno natural, para la obtención de características deseables, de tal manera que estas modificaciones genéticas sean acumuladas y heredadas a través del tiempo (Solbrig 2004) para la obtención de fenotipos culturalmente deseados (Abbo *et al.* 2012). Sin embargo, esta selección y manejo implica eliminar o retener ciertas características, conduciendo así a una alta uniformidad morfogénica, lo que supone un riesgo ante epidemias y enfermedades (Hernández 1993), así como una dependencia de la intervención humana (Krapovickas 2011).

No obstante, existen otros conceptos que indican que la domesticación va más allá de la definición biológica convencional e integra aspectos culturales, entendiéndola como un proceso evolutivo en el tiempo, con avances, grados y estadios intermedios (Krapovickas 2011), en el que intervienen las actividades humanas, los procesos físicos del medio y los intercambios mutuos, todos incluidos en un solo sistema analítico. Esto indica que la domesticación implica una serie de interrelaciones simbióticas y co-evolutivas entre el hombre y el ambiente, que a su vez dependen del desarrollo cultural de los pueblos que la practican (Hernández 1993, Jakuba *et al.* 2008).

Con los elementos expuestos, el concepto convencional de domesticación en los hongos silvestres comestibles puede complementarse, pues integra aspectos sociales, culturales y biológicos, que se han desarrollado en diferentes direcciones y en varios niveles de organización (individual, ecosistema, comunidad) a través del tiempo y no únicamente en respuesta a presiones de subsistencia de los grupos sociales (alimentación), sino como un proceso social y simbólico en el que la naturaleza es integrada a un sistema cultural (Bell y Walker 1992). La influencia de todos estos factores (ecológicos, evolutivos, culturales y tecnológicos) hacen que sea un proceso dinámico y en continuo cambio (Meyer *et al.* 2012), aún en proceso de construcción.

EL PROCESO DE DOMESTICACIÓN Y SU POTENCIAL EN LOS HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES

Se han estimado a nivel mundial 1,5 millones de especies de hongos, los cuales se clasifican según su tamaño en micromicetos y macromicetos (Chang y Miles 2004). Dentro de los primeros, se considera a las levaduras como los primeros en ser domesticados para la elaboración de quesos, cerveza u otros productos alimenticios, ocupando en la actualidad lugares importantes dentro de procesos biotecnológicos (Solbrig 2004). Otro ejemplo es la utilización de *Penicillium* spp. en la medicina y de *Saccharomyces* spp. en la elaboración de bioenergéticos, aplicación que se vislumbra como una de las más prometedoras a futuro.

En cuanto a los macromicetos u hongos superiores, existen aproximadamente 10.000 especies que producen cuerpos fructíferos, pero sólo 2.000 (pertenecientes a 31 géneros) son consideradas comestibles. De esta cifra, alrededor de 100 se cultivan experimentalmente, 50 poseen valor económico y sólo 30 son comercialmente cultivadas (Kües y Liu 2000, Chang y Miles 2004). No obstante, Martínez-Carrera *et al.* (2007) mencionan que únicamente 10 especies se cultivan a nivel industrial, mientras Chang y Miles (2004) indican que son solo seis.

En México, Guzmán (1994) estima que hay más de 200.000 especies, pero sólo 4 % son conocidas, aunque es el país de Latinoamérica con mayor cantidad de hongos silvestres comestibles registrados (Andrade *et al.* 2012) con más de 300 variedades (Burrola-Aguilar *et al.* 2012). El potencial de domesticación de los hongos silvestres comestibles (en el sentido convencional) está limitado por el escaso conocimiento de su ciclo de vida e interrelaciones ecológicas, por lo que se siguen obteniendo mediante recolección (Savoie y Largeteau 2011). Esto implica constantes variaciones en los volúmenes colectados en su medio natural y un alto valor de mercado.

Esta situación ha motivado la necesidad de investigar su cultivo y generar los principios para su domesticación. Al respecto, diversos estudios han demostrado que es posible obtener hongos en condiciones naturales, a través de

su inoculación directa en campo o con el uso de plantas micorrizadas (Kües y Liu 2000, Morcillo y Sánchez 2004, Jiménez *et al.* 2013), destacando los trabajos realizados en diferentes especies de trufas (*Tuber melanosporum* Vittad, *T. uncinatum* Chatin, *T. borchii* Vittad) y sus mecanismos de establecimiento (Wang y Hall 2004, Reyna 2012a, Reyna y Garcia-Barreda 2014), así como algunos avances modestos en la producción de *Tricholoma magnivelare* (Peck) Redhead, *T. matsutake* (S. Ito *et al.* S. Imai) Singer (Iwase 1997) y *Cantharellus cibarius* Fr. (Danell y Camacho 1997).

Lo anterior muestra que la domesticación y cultivo de hongos silvestres, (especialmente micorrízicos) es posible y puede darse a escala comercial (Kües y Liu 2000), siempre y cuando se considere al bosque como una parte integral de este proceso, como se ha demostrado en la implementación de técnicas de producción de trufas (Reyna 2012b), esto, con el descubrimiento de propiedades medicinales y nutraceuticas, aumentan cada día el interés en la investigación y desarrollo tecnológico para la implementación de la domesticación de los hongos (Sánchez y Mata 2012).

Especies con potencial de domesticación. Aunque existen avances en la domesticación convencional de géneros saprófitos, como *Lepista*, *Lentinula*, *Ganoderma* y *Agaricus* (Mata y Savoie 2012, Sánchez y Mata 2012), las especies micorrízicas, por su condición, tienen que optar por otro tipo de esquema, cuyo potencial de manejo está estrechamente relacionado con la diversidad de especies forestales. En este sentido, México cuenta con más de 64 millones de hectáreas de superficie forestal (47 % del total nacional) que incluye bosques (coníferas = 5,64 %, coníferas y latifoliadas = 9,33 %, latifoliadas = 8,05 %, bosque mesófilo de montaña = 1,23 %), selvas (altas-medianas = 10,19 %, bajas = 11,50 %), manglares (0,42 %) y otras asociaciones (0,4 %), de las cuales 52,94 % está caracterizada como vegetación primaria (Sistema Nacional de Información Forestal 2012). Esta variedad de ecosistemas, favorecidos por la ubicación, complejidad orográfica, climática y geológica de los bosques y selvas de México, genera una gran diversidad fúngica (Aguilar-Cruz y Villegas 2010, Burrola-Aguilar *et al.* 2013). Para ilustrarlo, el cuadro 1 indica algunos géneros de hongos y su compatibilidad con varios géneros forestales.

Además de esta gran biodiversidad, las comunidades rurales de las distintas áreas de México, poseen una profunda comprensión sobre las propiedades, taxonomía, biología y ecología local de muchos de los hongos relacionados a los ecosistemas forestales (Garibay-Orijel *et al.* 2012, Ruan-Soto *et al.* 2013), prueba de ello es la nomenclatura tradicional que hace referencia a su morfología, color, lugar de crecimiento e incluso a los árboles asociados (Ruan-Soto *et al.* 2009, Jiménez *et al.* 2013, Lara-Vázquez *et al.* 2013). Este conocimiento puede dar lugar a un proceso de domesticación a través de la integración de términos sociales, culturales y biológicos, para un manejo acorde a las condiciones de cada región en particular o a través

Cuadro 1. Géneros de hongos y árboles capaces de formar asociaciones micorrícicas.

Genera of fungi and trees able to form mycorrhizal associations.

Género de hongos	Géneros forestales asociados
<i>Amanita</i>	<i>Abies, Acacia, Afzelia, Aldinia, Allocasuarina, Alnus, Anisoptera, Anthonota, Aphanocalyx, Berlinia, Betula, Brachystegia, Casuarina, Corylus, Dicycme, Didolotia, Dipterocarpus, Dryobalanopus, Eperua, Eucalyptus, Fagus, Gilbertiodendron, Hopea, Inga, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Larix, Leptolaena, Macrolobium, Marquesia, Microberlinia, Monopetalanthus, Monotes, Ormosia, Paraberlinia, Paramacrolobium, Pericopsis, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Sarcolaena, Schizolaena, Shorea, Tetraberlinia, Tsuga, Uapaca y Vateria.</i>
<i>Boletus</i>	<i>Abies, Alnus, Anisoptera, Betula, Castaneopsis, Corylus, Dipterocarpus, Dryobalanopu, Eucalyptus, Fagus, Hopea, Larix, Lithocarpus, Marquesia, Monotes, Pasanía, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Shorea, Tsuga y Vateria.</i>
<i>Cantharellus</i>	<i>Abies, Acacia, Afzelia, Aldinia, Alnus, Anisoptera, Anthonota, Aphanocalyx, Berlinia, Betula, Brachystegia, Cocoloba, Corylus, Dicycme, Didolotia, Dipterocarpus, Dryobalanopus, Eperua, Eucalyptus, Fagus, Gilbertiodendron, Hopea, Inga, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Larix, Macrolobium, Marquesia, Microberlinia, Monopetalanthus, Monotes, Ormosia, Paraberlinia, Paramacrolobium, Pericopsis, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Shorea, Tetraberlinia, Tsuga, Uapac y Vateria.</i>
<i>Hydnum</i>	<i>Abies, Pinus y Quercus.</i>
<i>Laccaria</i>	<i>Abies, Allocasuarina, Alnus, Bambusa, Betula, Campomanesia, Casuarina, Corylus, Eucalyptus, Eucalyptus, Eugenia, Fagus, Larix, Melaleuca, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Tristania y Tsuga.</i>
<i>Lactarius</i>	<i>Acacia, Afzelia, Aldinia, Alnus, Anisoptera, Anthonota, Aphanocalyx, Berlinia, Betula, Brachystegia, Corylus, Dicycme, Didolotia, Dipterocarpus, Dryobalanopus, Eperua, Eucalyptus, Fagus, Gilbertiodendron, Hopea, Inga, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Larix, Macrolobium, Marquesia, Microberlinia, Monopetalanthus, Monotes, Ormosia, Paraberlinia, Paramacrolobium, Pericopsis, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix, Shorea, Tetraberlinia, Tsuga, Uapaca y Vateria.</i>
<i>Lycoperdon, Ramaria, Tricholoma</i>	<i>Abies, Alnus, Betula, Corylus, Eucalyptus, Fagus, Larix, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, Quercus, Salix y Tsuga.</i>
<i>Rusula</i>	<i>Acacia, Afzelia, Aldinia, Anisoptera, Anthonota, Aphanocalyx, Berlinia, Brachystegia, Dicycme, Didolotia, Dipterocarpus, Dryobalanopus, Eperua, Gilbertiodendron, Hopea, Inga, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Macrolobium, Marquesia, Microberlinia, Monopetalanthus, Monotes, Ormosia, Paraberlinia, Paramacrolobium, Pericopsis, Shorea, Tetraberlinia, Uapaca y Vateria.</i>
<i>Tylopilus</i>	<i>Castaneopsis, Lithocarpus, Pasanía, Pinus y Quercus.</i>

Fuente: elaborado con datos de Savoie y Largeteau (2011), Pérez-Moreno (2012), Sánchez y Mata (2012) y Jiménez *et al.* (2013).

del aprovechamiento de esta información para generar modelos predictivos para la identificación, establecimiento y manejo de áreas potenciales.

Conservación forestal y micosilvicultura. El aprovechamiento forestal usualmente se ha centrado en la producción de madera, sin embargo, los altos costos de producción, la globalización (competencia con las importaciones) y las preocupaciones públicas para la protección del ecosistema (Martínez de Aragón *et al.* 2011) hacen necesario un nuevo enfoque de manejo del bosque. En este sentido, la recolección de hongos ha demostrado una rentabilidad igual o mayor (hasta un 60 % más) que la producción maderable (Bonet *et al.* 2010, Martínez de Aragón *et al.* 2011, Bonet *et al.* 2012) y la creciente demanda de estos

PFNM por sus propiedades nutraceuticas, han aumentado la importancia relativa de los hongos en el bosque. Por ello es necesario integrar la producción de madera y hongos (cuyo crecimiento y productividad están interconectados) (Fernández-Toirán *et al.* 2006, Bonet *et al.* 2010) con su relevancia sociocultural, de tal forma que pueda generar un cambio en el manejo del bosque y sus prácticas, deteniendo una planeación tradicional, enfocada a un esquema complejo de silvicultura multifuncional, es decir la micosilvicultura (Savoie y Largeteau 2011)

En México, el desarrollo de este esquema es incipiente en comparación con Europa, donde ha cobrado gran relevancia (Savoie y Largeteau 2011) lo que constituye un reto para el aprovechamiento sostenible del bosque, por lo que su gestión, a través de prácticas como la micorrización

controlada, la inoculación *in situ* y prácticas de manejo forestal (raleo, aclareo y podas) ofrecen un avance prometedora para la obtención de estos PFNM (Bonet *et al.* 2012). Esto es de gran importancia, porque el aprovechamiento actual se realiza sobre la base del conocimiento empírico, lo cual limita el manejo sostenible de las poblaciones naturales, por la falta de métodos que permitan pronosticar su producción a partir de variables ecológicas, dasonómicas o fisiológicas. Ante ello es necesario la generación de modelos de predicción que consideren las características locales (altitud, pendiente, orientación) estructura del bosque (densidad, edad, especies presentes) y variables climáticas (precipitación y temperatura) (Fernández-Toirán *et al.* 2006, Savoie y Largeteau 2011, Martínez-Peña *et al.* 2012), considerando además la recopilación y sistematización del conocimiento tradicional.

Modelos predictivos para el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles. Estos son una herramienta de la micosilvicultura (generalmente realizados en masas forestales uniformes de *Pinus* spp.), que han demostrado que el manejo forestal tiene influencia sobre la obtención de hongos, por ejemplo, estudios recientes han podido establecer modelos predictivos de producción de *Boletus edulis* Bull (Ortega-Martínez y Martínez-Peña 2008, Martínez-Peña *et al.* 2012) y *Lactarius deliciosus* (L. ex Fr.) Gray (Bonet *et al.* 2012, Martínez-Peña *et al.* 2012), aunque también se han desarrollado investigaciones para la producción de otras especies como *Cantharellus cibarius*, *Lyophyllum shimeji* Kawam y *Suillus granulatus* (L. Fr.) Roussel (Savoie y Largeteau 2011). En estos se identifican los principales factores bióticos y abióticos asociados a la producción de hongos y se ha conseguido simular y establecer itinerarios para un manejo bajo el esquema de micosilvicultura (Bonet *et al.* 2012).

A pesar del gran progreso que representan estos modelos, existe entre ellos una gran variabilidad asociada a una gran cantidad de factores involucrados, como los climáticos (paradójicamente la precipitación y la temperatura son factores comunes) (Bonet *et al.* 2012, Martínez-Peña *et al.* 2012), aspectos relacionados con la ubicación (altitud, orientación o pendiente en la que se encuentra la masa forestal) y aspectos asociados a las características estructurales del bosque (especies de árboles, área basal, edad del rodal, densidad, etc.) (Fernández-Toirán *et al.* 2006, Bonet *et al.* 2010, 2012), los cuales además parecen estar interrelacionados entre sí. Esta variabilidad, heterogeneidad y gran número de factores que potencialmente intervienen en la producción de hongos, hacen necesario el uso de técnicas de modelización a nivel local, que ayuden a identificar los aspectos más importantes en la producción y diversidad de los hongos, pues lo que genera condiciones favorables para ciertas especies, puede tener efectos negativos en otras (Bonet *et al.* 2012).

Aunque la gran cantidad de variables relacionadas con la productividad de los hongos y su interdependencia di-

ficulta hacer recomendaciones generales para un manejo micosilvícola, los resultados de estos estudios son alentadores, ya que demuestran que la producción de hongos están influenciadas por el manejo forestal, lo que hace posible generar planes que integren la producción de hongos en los modelos silvícolas (Bonet *et al.* 2010) lo que junto con el conocimiento tradicional y el monitoreo multianual, pueden generar, para las condiciones de México, una silvicultura de uso múltiple.

LA NECESIDAD DE DOMESTICACIÓN DE LOS HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES

La necesidad de domesticación de los hongos silvestres comestibles se encuentra enmarcada en dos aspectos primordiales: el desconocimiento de la actividad y la creciente demanda de estos productos. El primer caso tiene como consecuencia que se le relegue de los temas prioritarios, se excluya de los esquemas de apoyos, servicios y acciones estratégicas del gobierno y del sector privado (Martínez-Carrera *et al.* 2007, Benítez-Badillo *et al.* 2013), impidiendo la generación de políticas públicas acordes a las necesidades de esta actividad.

Lo anterior, junto con la insuficiente información existente (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual-Pola 1995, Garibay-Orijel *et al.* 2009), falta de organización formal, acceso a servicios profesionales, recursos para inversión y su desarticulación con otros sectores (Mariaca *et al.* 2001, Martínez-Carrera *et al.* 2007), provoca un alto riesgo de agotar este recurso por la sobreexplotación (Ruiz *et al.* 2004). Además, la afectación del hábitat natural donde se encuentran, generada por la conversión a actividades agrícolas y ganaderas, que no siempre redundan en un mayor beneficio social o económico (Arteaga y Moreno 2006), comprometen su permanencia y causan efectos económicos, sociales y ambientales no deseables a largo plazo.

Por otro lado, la confirmación científica de las propiedades funcionales y medicinales de un gran número de hongos silvestres comestibles, así como el descubrimiento de sus bioactivos, se constituyen como la más reciente fortaleza para su domesticación y consecuente conservación y manejo del bosque (Martínez-Carrera *et al.* 2010). Su valor nutracéutico incluye propiedades anticancerígenas, antibióticas (antimicrobianas, antivirales, antibacterianas y antiparasitarias), antioxidantes, reductoras del nivel de colesterol y la hipertensión, antidiabéticas, así como para potenciar el sistema inmunológico humano (Jiménez *et al.* 2013, Méndez-Espinoza *et al.* 2013).

En México se conocen alrededor de 70 especies que han sido utilizadas en prácticas de medicina tradicional para el tratamiento de 40 tipos de problemas de salud humana (Guzmán 2008), utilizadas como tratamiento alternativo o como parte de la dieta (Jiménez *et al.* 2013, Méndez-Espinoza *et al.* 2013). Una de las más importantes es *Cantharellus cibarius* conocida tradicionalmente como “duraznito”, cuyas concentraciones de bioactivos (fenoles,

flavonoides y ácido ascórbico) le confieren eficacia antioxidante y antimicrobiana, por lo que tiene un alto valor terapéutico (Ramesh y Pattar 2010, Jiménez *et al.* 2013, Méndez-Espinoza *et al.* 2013). Algunos otros ejemplos de hongos silvestres comestibles con potencial medicinal en México se enlistan en el cuadro 2.

Adicionalmente se ha reconocido el enorme potencial de los hongos silvestres comestibles como una fuente natural para el combate de la diabetes, la cual es un problema de salud pública en México, por lo que sus bioactivos naturales (polisacáridos, fibras, proteínas, etc.) pueden ser utilizados para la prevención, control y tratamiento de esta y otras enfermedades (De Silva *et al.* 2012, Kosanic *et al.* 2012, Jiménez *et al.* 2013), por lo que estos PFNM nativos tienen gran potencial para incorporarse en el corto plazo a la producción comercial de los hongos comestibles, funcionales y medicinales en México (Martínez-Carrera *et al.* 2010).

No obstante, es necesaria una mayor investigación de las propiedades, potencial e importancia de este recurso, ya que mucha de la información relacionada con estos PFNM se encuentra en riesgo de desaparecer (Vázquez 2012), ya que el campo mexicano está sufriendo de un fenómeno de migración (Burrola-Aguilar *et al.* 2012), envejecimiento

rural, perturbación y alteración de zonas forestales (urbanización, cambio de uso del suelo, deforestación, etc.) que están generando una pérdida del conocimiento tradicional por el abandono de las actividades rurales, además de una transición de los hábitos alimentarios debido a fenómenos de aculturación (Ruan-Soto *et al.* 2013).

Con base en los elementos expuestos, la domesticación de los hongos silvestres comestibles debe realizarse considerando que este recurso es parte inseparable del ecosistema forestal y del sistema sociocultural de las comunidades indígenas y rurales de México. Por tanto, es necesario construir un entendimiento de cada especie en particular, el medio que la rodea y sus interacciones, con especial atención al manejo empírico y su integración a los agroecosistemas tradicionales, para establecer los principios de propagación y manejo bajo condiciones naturales. Lo anterior puede, en un futuro no muy lejano, dar pie a su cultivo *in vitro* o semicultivo *in situ* (Alvarado y Benítez 2009). Adicionalmente, el manejo de los hongos silvestres comestibles podría contribuir a las economías locales y ser un factor de transformación social de enorme relevancia en los ecosistemas forestales (Frutos *et al.* 2009 Sánchez y Mata 2012).

Cuadro 2. Hongos silvestres comestibles con potencial medicinal.

Edible wild mushrooms with medicinal potential.

Especies	Nombres comunes	Propiedades medicinales	Referencias
<i>Agaricus subrufescens</i> (Kauffman) Hotson <i>et Stuntz</i> <i>Agaricus campestris</i> Schwein	Sanjuanero	Antidiabético Antibacterial Antitumoral	De Silva <i>et al.</i> (2012) Vázquez (2012) Mata y Savoie (2012)
<i>Amanita caesarea</i> (Scop) Pers.	Hongo rojo Tecomate	Antioxidante Antibacteriano Antiinflamatorio	Jiménez <i>et al.</i> (2013) Bonet <i>et al.</i> (2010)
<i>Boletus edulis</i> Bull. <i>Boletus pinicola</i> Rea. <i>Boletus aestivalis</i> (Paulet) Fr.	Pancitas Cemitas	Antioxidante Antimicrobiano	Bonet <i>et al.</i> (2010) Guzmán (2008) Kosanic <i>et al.</i> (2012)
<i>Calvatia cyathiformis</i> (Bosc.) Morgan	Pedo de muerto	Cicatrizante Febrífugo	Vázquez (2012)
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr. <i>Cantharellus tubaeformis</i> Fr.	Duraznito Flor de calabaza Amarillito Chimequito	Antioxidante Antimicrobiano Antitumoral Antibacteriano Infecciones gastrointestinales Mejora la vista	Ramesh y Pattar (2010) Jiménez <i>et al.</i> (2013) Méndez-Espinoza <i>et al.</i> (2013) Bonet <i>et al.</i> (2010)
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curt:Fr) P. Karst <i>Ganoderma applanatum</i> (Pers) Pat.	Repisas	Antidiabético Anti tiñas	De Silva <i>et al.</i> (2012) Vázquez (2012) Martínez-Carrera <i>et al.</i> (2010)

Continúa

<i>Hydnum repandum</i> L.	Lengua de vaca Gamuza Lengua de gato	Antioxidante Antibacteriano Antitumoral Dolor de cabeza	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein) Tul.	Enchilado	Antitumoral	Guzmán (2008) Jiménez <i>et al.</i> (2013)
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke <i>Laccaria amethystine</i> (Huds) Cooke	Hongo de pajarito	Antitumoral	Guzmán (2008) Jiménez <i>et al.</i> (2013)
<i>Lactarius volemus</i> (Fr.) Fr.	Hongo de leche	Antioxidante Antibacteriano Antitumoral Estimulante Control de la presión baja	Jiménez <i>et al.</i> (2013) Vázquez (2012)
<i>Lentinula boryana</i> (Berk <i>et</i> Mont) Pegler	Hongo de encino	Antitumoral	Vázquez (2012) Martínez-Carrera <i>et al.</i> (2010)
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	Hongo moradito	Antioxidante Antitumoral Tratamiento de lumbalgia Esquelalgia	Guzmán 2008 Jiménez <i>et al.</i> (2013)
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers	Bombón Huevito	Cicatrizante Antioxidante Antimicrobiano	Vázquez (2012) Ramesh y Pattar (2010)
<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.	Hongo de corralito	Antitumoral Antioxidante Antimicrobiano Tonificante del estómago Tratamiento de bronquitis	Jiménez <i>et al.</i> (2013) Ramesh y Pattar (2010)
<i>Ramaria aurea</i> (Schaeff) Quél <i>Ramaria araiospora</i> Marr <i>et</i> Stuntz <i>Ramaria fennica</i> (P. Karst) Ricken <i>Ramaria pallida</i> (Schaeff) Ricken <i>Ramaria suecica</i> (Fr.) Donk <i>Ramaria rubrievanescentes</i> Marr <i>et</i> Stuntz <i>Ramaria formosa</i> (Pers.) Quél <i>Ramaria flava</i> (Schaeff) Quél	Pechuga Escobeta Pata de pájaro	Antitumoral Antioxidante Antimicrobiana Anticancerígena Tonificante del estómago Tratamiento de bronquitis	Jiménez <i>et al.</i> (2013) Montoya y Orrego (2012) Aguilar-Cruz y Villegas (2010) Guzmán (2008) Ramesh y Pattar (2010)
<i>Rusula cyanoxantha</i> (Schaeff ex Schw) Fr.	Trompa Duraznito	Antitumoral Estimulante	Vázquez (2012)
<i>Schizophyllum commune</i> Fr-	Oreja de palo Mulato	Antitumoral	Vázquez (2012)
<i>Tricholoma magnivelare</i> (Peck) Redhead	Hongo blanco Matsutake	Antiinflamatorio Antitumoral Tratamiento de la hepatopatía	Bonet <i>et al.</i> (2010) Jiménez <i>et al.</i> (2013)
<i>Tylopilus felleus</i> (Bull) P. Karst	Lengua de toro	Antiinflamatorio Antitumoral Tratamiento de hepatopatía	Jiménez <i>et al.</i> (2013)

CONCLUSIONES

El potencial de utilización de diversas especies de hongos silvestres comestibles como fuente de alimento, ingresos y conservación del entorno ecológico, como un factor de transformación social en áreas rurales es enorme. Sin embargo, los estudios ecológicos y biotecnológicos de este importante recurso, a pesar de su gran relevancia, se encuentran en etapas muy tempranas, son puntuales y la información se encuentra dispersa. Esto pone en evidencia la importancia de recopilar, sistematizar, resguardar y difundir el conocimiento etnomicológico que existe en México, que es la base para generar procesos de domesticación, cultivo y aprovechamiento. No obstante, este debe realizarse con un enfoque interdisciplinario y considerando todos los componentes que integran la recolección de estos hongos, especialmente su interacción con el bosque. El reconocimiento de la domesticación, desde este punto de vista, contribuiría a valorar la diversidad de este recurso, dar impulso a un modelo productivo que favorezca el equilibrio entre conservación y desarrollo, así como la creación de nuevas alternativas productivas que sean competitivas y sostenibles en un esquema de mercado global.

REFERENCIAS

- Abbo S, S Lev-Yadun, A Gopher. 2012. Plant Domestication and Crop Evolution in the Near East: On Events and Processes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 31(3): 241-257. DOI: 10.1080/07352689.2011.645428.
- Aguilar-Cruz Y, M Villegas. 2010. Especies de Gomphales comestibles en el municipio de Villa del Carbón Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 31: 1-8.
- Alvarado G, G Benítez. 2009. El enfoque de agroecosistemas como una forma de intervención científica en la recolección de hongos silvestres comestibles. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 531-539.
- Andrade GRH, G Mata, JE Sánchez. 2012. La producción iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional. In Mata G, JE Sánchez eds. *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 9-18.
- Arteaga MB, ZC Moreno. 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.
- Bell M, JC Walker. 1992. Late quaternary environmental change: physical and human perspectives. London, UK. Longman Scientific and Technical. 273 p.
- Benítez-Badillo G, G Alvarado-Castillo, ME Nava-Tablada, A Pérez-Vázquez. 2013. Análisis del marco regulatorio en el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3): 363-374. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2012.09.055.
- Boa E. 2004. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people. Rome, Italy. FAO. 147 p.
- Bonet JA, M Palahí, C Colinas, T Pukkala, CR Fischer, J Miina, J Martínez de Aragón. 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 JA, S De-Miguel, J Martínez de Aragón, T Pukala, M Palahí. 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.
- Burrola-Aguilar C, O Montiel, R Garibay-Orijel, L Zizumbo-Villareal. 2012. Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 35: 1-16.
- Burrola-Aguilar C, R Garibay-Orijel, A Argüelles-Moyao. 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: 1101-1115. DOI: 10.1007/s10457-013-9623-z.
- Castillo-Guevara C, C Lara, G Pérez. 2012. Micofagia por roedores en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 772-777. DOI: 10.7550/rmb.27445.
- Chang ST, PG Miles. 2004. Mushroom cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. Washington D.C., USA. CRC Press. 451 p.
- Conferencia ministerial de Helsinki (Finlandia). 1993. Resolución de Helsinki No 1: Directrices generales para una gestión sostenible de los bosques en Europa. Consultado 7 ene. 2014. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/forest-europe/fe_conferencias_ministeriales.aspx#para4.
- Danell E, FJ Camacho. 1997. Successful cultivation of the golden chanterelle. *Nature* 385: 303. DOI: 10.1038/385303a0.
- De Silva DD, S Rapior, KD Hyde, AH Bahkali. 2012. Medicinal mushrooms in prevention and control of diabetes mellitus. *Fungal Diversity* 56: 1-29.
- Egli S. 2011. Mycorrhizal mushroom diversity and productivity-an indicator of forest health? *Annals of Forest Science* 68(1): 81-88. DOI: 10.1007/s13595-010-0009-3.
- Estrada-Martínez E, G Guzmán, TD Cibrián, PR Ortega. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos silvestres comestibles en los mercados regionales y comunidades de la sierra nevada (México). *Interciencia* 34: 25-33.
- Fernández-Toirán LM, T Ágreda, JM Olano. 2006. Stand age and sampling year effect on the fungal fruit body community in *Pinus pinaster* forest in central Spain. *Canadian Journal of Botany* 84: 1249-1258. DOI: 10.1139/b06-087.
- Frutos P, F Martínez-Peña, P Ortega-Martínez, S Esteban. 2009. Estimating the social benefits of recreational harvesting of edible wild mushrooms using travel cost methods. *Forest Systems* 18(3): 235-246. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2009183-01065>.
- Garibay-Orijel R, A Ramírez-Terrazo, M Ordaz-Velázquez. 2012. Women care about local knowledge, experiences from ethnomycology. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8(25): 1-12. DOI: 10.1186/1746-4269-8-25.
- Garibay-Orijel R, J Córdova, J Cifuentes, R Valenzuela, A Estrada-Torres, A Kong. 2009. Integrating wild mushrooms use into a model of sustainable management for indigenous

- community forests. *Forest Ecology and Management* 258: 122-131. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.03.051.
- Guzmán G. 1994. Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México. *Revista Iberoamericana de Micología* 11: 81-85.
- Guzmán G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International Journal Medicinal Mushrooms* 10: 209-217.
- Hernández XE. 1993. Aspects of plant domestication in México: a personal view. In Ramamoorthy TP, R Bye, A Lot, J Fa eds. Biological diversity of México: origins and distribution. Oxford University Press. p. 733-753.
- Iwase K. 1997. Cultivation of mycorrhizal mushroom. *Food Reviews International* 13: 431-442. DOI: 10.1080/87559129709541130.
- Jakuba T, J Kottferová, J Mareková, M Ondrasovic, O Ondrasovicová. 2008. Ecology and domestication. *Folia Veterinaria* 52: 83-84.
- Jiménez RM, J Pérez-Moreno, JJ Almaraz-Suárez, M Torres-Aquino. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(2): 199-213.
- Kosanic M, B Rankovic, M Dasic. 2012. Mushrooms as possible antioxidant and antimicrobial agents. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 11(4): 1095-1102.
- Krapovickas A. 2011. Sembrar, plantar, cultivar, domesticar. *Bonplandia* 20(2): 419-426.
- Kües U, Y Liu. 2000. Fruiting body production in basidiomycetes. *Applied Microbiology Biotechnology* 54: 414-152. DOI: 10.1007/s002530000396.
- Lara-Vázquez F, AT Romero-Contreras, C Burrola-Aguilar. 2013. Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoaya, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10(3): 305-333.
- Mariaca MR, PL Silva, MC Castaños. 2001. Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres en el valle de Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum* 8: 30-40.
- Martínez de Aragón J, P Riera, M Giergiczny, C Colinas. 2011. Value of wild mushroom picking as an environmental service. *Forest Policy and Management* 252(1-3): 239-256. DOI: 10.1016/j.forpol.2011.05.003.
- Martínez-Carrera D, N Curvetto, M Sobal, P Morales, VM Mora. 2010. Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: Avances y perspectivas en el siglo XXI. Puebla, México. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP. 648 p.
- Martínez-Carrera D, P Morales, M Sobal, M Bonilla, W Martínez. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: El sistema de producción consumo de los hongos comestibles. In Sánchez JE, D Martínez-Carrera, G Mata, H Leal eds. El Cultivo de Setas Pleurotus spp en México. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 209-224.
- Martínez-Peña F, S de-Miguel, T Pukkala, JA Bonet, P Ortega-Martínez, J Aldea, J Martínez de Aragón. 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.
- Mata G, JM Savoie. 2012. *Agaricus subrufescens* un hongo comestible y medicinal de gran potencial en México. In Mata G, JE Sánchez eds. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 137-144.
- Méndez-Espinoza C, E García-Nieto, AM Esquivel, MM González, EV Bautista, CC Ezquerro, LJ Santacruz. 2013. Antigenotoxic potential of aqueous extracts from the chanterelle mushroom, *Cantharellus cibarius* (higher Basidiomycetes), on human mononuclear cell cultures. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 15(3): 325-32.
- Meyer RS, AE DuVal, HR Jensen. 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist* 196: 29-48. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04253.x
- Montoya A, N Hernández, C Mapes, A Kong, A Estrada-Torres. 2008. The Collection and Sale of Wild Mushrooms in a Community of Tlaxcala, Mexico. *Economic Botany* 62(3): 413-424. DOI: 10.1007/s12231-008-9021-z
- Montoya S, CE Orrego. 2012. Growth, fruiting and lignocellulolytic enzyme production by the edible mushroom *Grifola frondosa* (maitake). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28(4): 1533-1541.
- Morcillo M, M Sánchez. 2004. ¿Por qué es tan difícil cultivar hongos micorrízicos comestibles? *Terralia* 45: 80-85.
- Ortega-Martínez P, F Martínez-Peña. 2008. A sampling method for estimating sporocarps production of wild edible mushrooms of social and economic interest. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 17(3): 228-237.
- Pastor BJF. 2002. Los productos forestales no maderables, una fuente de materia prima para el desarrollo de la industria eléctrica en Cuba. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(2): 147-152.
- Pérez-Moreno J, A Lorenzana-Fernández, V Carrasco-Hernández, A Yescas-Pérez. 2010. Los hongos comestibles silvestres del parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Colegio de Postgraduados, SEMARNAT, CONACYT. 167 p.
- Pérez-Moreno J, M Martínez-Reyes, A Yescas-Pérez, A Delgado-Alvarado, B Xoconostle-Cázares. 2008. Wild Mushroom Markets in Central Mexico and a Case Study at Ozumba. *Economic Botany* 62(3): 425-436. DOI: 10.1007/s12231-008-9043-6.
- Pérez-Moreno J. 2012. Los hongos comestibles ectomicorrízicos y su biotecnología. In Mata G, JE Sánchez eds. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 19-28.
- Ramesh Ch, MG Pattar. 2010. Antimicrobial properties, antioxidant activity and bioactive compounds from six wild edible mushrooms of western ghats of Karnataka, India. *Pharmacognosy Research* 2: 107-12. DOI: 10.4103/0974-8490.62953.
- Reyna DS. 2012a. Sostenibilidad de la Truficultura: aspectos ecológicos, económicos y sociales. In Reyna DS ed. Truficultura. Fundamentos y Técnicas. Madrid, España. Mundiprensa. p. 49-72.
- Reyna DS. 2012b. Introducción. Historia y Perspectivas de la Truficultura. In Reyna DS ed. Truficultura. Fundamentos y Técnicas. Madrid, España. Mundiprensa. p. 25-48.

- Reyna S, S Garcia-Barreda. 2014. Black truffle cultivation: a global reality. *Forest Systems* 23(2): 317-328. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014232-04771>.
- Ruan-Soto F, J Caballero, C Martorell, J Cifuentes, AR González-Esquinca, R Garibay-Orijel. 2013. Evaluation of the degree of mycophilia-mycophobia among highland and lowland inhabitants from Chiapas, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9(36): 1-13. DOI: 10.1186/1746-4269-9-36.
- Ruan-Soto F, J Cifuentes, R Mariaca, F Limón, L Pérez-Ramírez, S Sierra. 2009. Uso y manejo de hongos silvestres en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Micología* 29: 61-72.
- Ruiz PM, B Belcher, R Achdiawan, M Alexaidis, C Aubertin, J Caballero, B Campbell, C Clement, T Cunningham, A Fantini, H de Foresta, C García-Fernández, KH Gautam, P Hersch-Martínez, W de Jong, K Kusters, MG Kutty, C López, M Fu, MA Martínez-Alfaro, TR Fair, O Ndoye, R Ocampo, N Rai, M Ricker, K Schereckenberg, S Shackleton, P Shanley, T Sunderland, Y Youn. 2004. Markets drive the specialization strategies of forest peoples. *Ecology and Society* 9: 1-29.
- Sánchez JE, G Mata. 2012. Cultivo y aprovechamiento de macromicetos. Una tendencia global en crecimiento. In Mata G, JE Sánchez eds. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 365-376.
- Sangabriel-Conde W, D Trejo-Aguilar, A Soto-Estrada, R Ferrera-Cerrato, L Lara-Capistrán. 2010. Potencial de colonización de hongos micorrízico-arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de producción. *Revista Mexicana de Micología* 31: 45-52.
- Savoie JM, ML Largeteau. 2011. Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. *Applied Microbiology and Biotechnology* 89: 971-979. DOI: 10.1007/s00253-010-3022-4.
- Sistema Nacional de Información Forestal. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos, Informe de resultados 2004-2009. Consultado 9 ene. 2014. Disponible en <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/resultados-2004-2009>
- Smith SE, D Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. London, UK. Elsevier. 800 p.
- Solbrig O. 2004. Ventajas y desventajas de la agrobiotecnología. In Bárcena A, A Katz, J Morales, M Schaper eds. Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto. Santiago, Chile. CEPAL. p. 33-69.
- Tacón A, J Palma. 2006. La comercialización de los productos forestales no madereros: una oportunidad para el manejo comunitario y la valoración del bosque nativo. *Revista Bosque Nativo* 39: 253-266.
- Vázquez SM. 2012. Macromicetos medicinales provenientes de la sierra norte de Puebla, México; depositados en el Herbario "Gastón Guzmán", ENCB-IPN. *Etnobiología* 10(2): 34-37.
- Villareal RL, J Pérez-Moreno. 1989. Los hongos comestibles silvestres de México, un enfoque integral. *Micología Neotropical Aplicada* 2: 77-114.
- Wang Y, IR Hall. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. *Canadian Journal of Botany* 82: 1063-1073. DOI: 10.1139/B04-051.
- Wilsey D. 2006. Can NTFP certification help to ensure the viability of natural production in community-managed extractive reserves? Consultado 23 abr. 2013. Disponible en <http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/esai2006/document/59051>.
- Zamora-Martínez MC, C Nieto de Pascual-Pola. 1995. Natural production of wild edible mushrooms in the southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology and Management* 72(1): 13-20. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03450-B](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(94)03450-B).

Recibido: 22.01.14
Aceptado: 23.01.15

