

EL MARAVILLOSO MUNDO DE LOS HONGOS

SANÓN ZULEISA RODRÍGUEZ • DOÑA TREJO AGUILAR • ÁNGEL TREJOS LANDA



EL MARAVILLOSO MUNDO DE LOS HONGOS

EL MARAVILLOSO MUNDO DE LOS HONGOS

RAMÓN ZULUETA RODRÍGUEZ • DORA TREJO AGUILAR • ÁNGEL RAFAEL TRIGOS LANDA





Primera edición, agosto de 2007

©Universidad Veracruzana

Dirección Editorial

Apartado Postal 97

Xalapa, Ver. 91000, México

ISBN: 978-968-834-820-8

Impreso en México

Printed in Mexico

7	Prólogo
9	Hongos, una huella biológica ancestral Ramón Zulueta Rodríguez, Jacob Bañuelos Trejo y César E. Moreira Arana
13	La utilización ritual de los hongos en las sociedades prehispánicas de México Sergio Vásquez Zárate
19	Variabilidad, producción e importancia de los hongos en la naturaleza Gastón Guzmán
31	Del “círculo de las brujas” al hongo atómico César E. Moreira Arana, Ciro A. Cubillas Ramírez y Dora Trejo Aguilar
39	Hongos comestibles en México, una industria en crecimiento Gerardo Mata, Rigoberto Gaitán-Hernández y Dulce Salmones
49	Los hongos en la producción de alimentos y bebidas Mauricio Luna y Alejandro Salinas
53	Los hongos... ¿Alimentos milagrosos? Jorge Manuel Suárez Medellín, Flor de Lucy Guadarrama Acosta y Ángel Trigos
61	Hongos psicoactivos: La carne de los dioses Jorge Manuel Suárez Medellín
71	La cadena de valor de los hongos comestibles en México D. Martínez-Carrera, P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez
91	Encontrando el punto débil de los hongos Ángel Trigos
97	Hongos y seguridad alimentaria César Espinoza R. y Karina Ramírez Domínguez
103	Los hongos, son todos unos oportunistas Alejandro Salinas, Elmira San Martín Romero y Mauricio Luna
109	Los hongos, silenciosos y pacientes degradadores de materia orgánica Gerardo Mata y Dulce Salmones
117	Hongos que viven dentro de las plantas, su otra defensa natural Rosario Medel Ortiz
125	Hongos y bacterias, trabajando juntas y en armonía Héctor López Moctezuma y Ramón Zulueta Rodríguez
133	Hongos y plantas: ¿Socios eternos? Dora Trejo Aguilar, Ramón Zulueta Rodríguez y Liliana Lara Capistrán
141	Un peligro silencioso: Los venenos del quinto reino Olivia Márquez y Ángel Trigos
151	¿Hongos terroristas en el reino vegetal? Ángel E. Núñez Sánchez y Ramón Zulueta Rodríguez
159	Ángeles guardianes que combaten plagas y enfermedades en las plantas de interés agrícola Liliana Lara Capistrán, Claudia Flores Cabrera y Doris G. Castillo Rocha
167	Alianza entre microorganismos y plantas para el saneamiento de suelos contaminados con petróleo Ronald Ferrera-Cerrato y Alejandro Alarcón
175	Agradecimientos
177	Síntesis curricular

Maravilloso Mundo de los Hongos es la apreciación que se hace en el presente libro de las versátiles manifestaciones de la vida, llamadas hongos. En efecto, los hongos son seres sorprendentes por la diversificación de sus formas y, más aún, por la versatilidad de sus funciones y capacidades, casi ilimitadas, capaces de utilizar y transformar sustancias que son refractarias a la acción enzimática de otros organismos, con excepción de las bacterias, las que también tienen la posibilidad de actuar frente a materiales tan resistentes como plásticos, hidrocarburos, fenoles, azufre y sus compuestos, sales de hierro y otros minerales, por citar sólo algunos ejemplos.

Los hongos proporcionan, además, sustancias que pueden ser aprovechadas por el hombre, como antibióticos, enzimas y otras que motivan el establecimiento de industrias de gran importancia económica.

Debido a lo anterior, en El Maravilloso Mundo de los Hongos, se desarrollan temas tan interesantes como: hongos y bacterias trabajando juntas, importancia de los hongos en la naturaleza, en particular por su capacidad de degradar la materia orgánica, hongos comestibles y su producción industrial, los hongos en la elaboración de alimentos y bebidas, hongos psicoactivos y su utilización en rituales de las sociedades prehispánicas de México, las asociaciones de los hongos con las plantas en los fenómenos de endobiosis y formación de micorrizas, así como su alianza con las plantas y las bacterias para el saneamiento de los suelos contaminados con petróleo y otras sustancias tóxicas; además, dichos organismos son herramientas valiosas para el control biológico, capaces de combatir plagas y enfermedades en plantas de gran importancia agrícola. Frente a los aspectos benéficos de los hongos, el mencionado libro, explica el peligro que representan los hongos patógenos y los venenosos, varios de ellos mortales.

Es atractiva la variedad de temas que se tratan en el presente libro; aun así, el mundo de los hongos ofrece un enorme campo de aspectos posibles de abordar, considerando la gran cantidad de especies fúngicas que existen en la naturaleza y su gran versatilidad funcional. Se tratan también algunos aspectos de la micología básica, en particular sobre paleomicología y el origen de los hongos, las plantas y los animales terrestres primitivos.

Por otra parte, se plantea la posibilidad de atacar a los hongos nocivos que parasitan plantas útiles, buscando el punto débil de los mismos, el cual puede estar en la membrana celular, considerando que los hongos contienen ergosterol en su membrana y que esta sustancia puede ser transformada a su peróxido y éste a otras sustancias del mismo grupo de los esteroides, mediante el proceso de fotosensibilización, por transferencia de energía, para lo cual existe una técnica rápida y eficiente. Se considera la posibilidad de encontrar antimicóticos, con base en este conocimiento, presentándose aquí una novedosa estrategia para el control de los hongos patógenos, con fines terapéuticos, simplemente aplicando una destrucción selectiva mediante la fotooxidación del ergosterol de la membrana celular de dichos hongos. Es oportuno indicar que los autores son profesionistas competentes, con una amplia experiencia en los temas que desarrollan, lo cual es una garantía de que la información proporcionada se debe apreciar como una valiosa fuente de conocimiento en el campo de la micología.

Teófilo Herrera Suárez
Instituto de Biología, UNAM

Hongos, una huella biológica ancestral

Ramón Zulueta Rodríguez¹, Jacob Bañuelos Trejo²

y César E. Moreira Arana³

Aunque hasta el momento se desconocen cuáles fueron los sucesos que dieron origen a la vida, parece no haber duda de que la fotosíntesis y el surgimiento de una atmósfera rica en oxígeno (sin elementos tóxicos como amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano) fueron la antesala para que la invasión de la corteza terrestre, por parte de las plantas y los animales primitivos, diera inicio a una impresionante carrera de estrategias adaptativas e interacciones biológicas, entre las que destacan las puestas en funcionamiento por los hongos.

Estos organismos, que se caracterizan por hallarse en cualquier parte donde existan otras formas de vida, han estado presentes en nuestro planeta desde hace varios millones de años (m.a.), cuando las áreas emergidas estaban pobladas en su mayor parte por animales invertebrados y algunas algas, en un ambiente donde las condiciones climáticas y edáficas eran muy diferentes a las de nuestros días.

En un contexto evolutivo, los especialistas consideran que los hongos fueron precisamente los primeros organismos en mostrar el carácter de la pluricelularidad, rasgo fundamental que trascendió al desarrollo de los tejidos y los órganos en las especies vegetales y animales.

Entre las hipótesis que se plantean sobre su origen, destaca la que señala a estos organismos como descendientes de alguna especie de alga que perdió su capacidad de fotosintetizar y, por lo tanto, de producir sus propios alimentos.

Al respecto, aunque durante mucho tiempo se les consideró estrechamente afines a las plantas, estudios recientes indican que pertenecen a otra línea evolutiva. Destacan las investigaciones realizadas a nivel molecular, donde se ha demostrado que los hongos provienen de un ancestro anterior a la divergencia entre las plantas y los animales; los mismos, se encuentran más relacionados con el reino animal que con el vegetal (Figura 1).

¹ Laboratorio de Organismos Benéficos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*, Zona Universitaria, 91090 Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: rzulueta36@hotmail.com

² Estudiante de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*, Zona Universitaria, 91090 Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: bockaj@gmail.com

³ Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91090, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: cema@xal.megared.net.mx



Figura 1. Árbol filogenético construido con base en la Teoría de la Evolución, la cual nos indica que todos los organismos son descendientes de un ancestro común: la protocélula (Tomado de The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences, and The University of Arizona Library 1995-2005©).

En cuanto a la búsqueda y hallazgo de fósiles de hongos se refiere, éstos se consideran un material poco común y difícil de encontrar, razón por la cual no se ha justificado su existencia sobre la superficie terrestre, tal y como se ha hecho con otros grupos biológicos.

Así, y aunque algunos de los registros fúngicos encontrados datan de los periodos Devónico (hace 416 m.a.) y Cretácico (hace 143 m.a.), su valor estratigráfico aún no ha proporcionado datos e información relevantes debido a su mala preservación.

Por esta razón, vale la pena destacar que la huella biológica de estos organismos comenzó a vislumbrarse tras el descubrimiento de fósiles microscópicos hallados en una localidad de Escocia⁴, considerada como el sitio paleobotánico más importante del mundo, similar a lo que en arqueología sería la impresionante y majestuosa Teotihuacán, la ciudad más grande y conocida de la época precolombina en América.

Dicho paraje europeo alberga fósiles de hongos y de plantas en muy buen estado, con una edad cercana a los 400 m.a. (Figura 2), a tal grado que, tras la realización de minuciosos exámenes modernos, de alta resolución, se ha demostrado que ambos organismos (p. ej. hongos micorrízico arbusculares y miembros de linajes muy antiguos como *Treubia*,

⁴ Particularmente esporas (palinomorfos fúngicos) las cuales son estructuras de resistencia que, en un momento dado, pueden llegar a permanecer inalteradas en el suelo durante mucho tiempo.

Haplomitrium, y *Lycopodium*) forman relaciones mutualistas (simbióticas) en tan temprana etapa de su evolución.



Figura 2. Paisaje de hace unos 400 millones de años, donde se hallaron evidencias de palinomorfos fúngicos (esporas) y vestigios de plantas primitivas como *Aglaophyton major* y *Asteroxylon mackiei* (Tomado de Steur, 2006).

En el caso de los hongos micorrízicos, como se sabe que el suelo es un medio donde las condiciones son poco variables, éstos han sufrido un proceso de evolución lento, por lo que algunos especialistas sugieren una teoría donde intuyen que prácticamente no han evolucionado (sobre todo algunas especies micorrízicas), de manera que los hongos en la actualidad son prácticamente iguales a los que los dinosaurios “conocieron” hace millones de años.

Por otro lado, otros grupos de hongos han progresado a través de su historia debido a la selección natural y a los mecanismos adaptativos que han adoptado en términos anatómicos, fisiológicos o de comportamiento, para poder sobrevivir a una determinada presión ambiental.

En nuestros días, la mayor presión selectiva proviene de las acciones realizadas de manera desmedida por el hombre en contra de la naturaleza, entre las que prevalece la deforestación, el cambio de uso del suelo y la erosión, factores que han propiciado que algunos hongos,

como en el caso de los parásitos, se hayan vuelto resistentes a ciertos fungicidas y, tras sobrevivir sobre los demás, perpetúen su especie, al heredarle esta peculiaridad a dichos agentes antifúngicos.

Por lo tanto, es indudable que la presencia de los hongos en la naturaleza se convierte en un acontecimiento que, si bien no se han podido definir sus orígenes con exactitud, resulta casi impredecible determinar hasta cuándo dejarán de ser importantes para el bienestar o el infortunio de la humanidad.

Para el lector interesado:

Bolan, N.S., y Abbott, L.K. (1983). Seasonal variation in infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi relation to plant response to applied phosphorus. Australian Journal Soil Research, 21, 207-210.

Borchiellini, C., Boury-Esnault, N., Vacelet, J., y Le Parco, Y. (1998). Phylogenetic analysis of the Hsp70 sequences reveals the monophyly of metazoa and specific phylogenetic relationships between animals and fungi. Molecular Biology and Evolution, 15 (6), 647-655.

Duckett, J.G., A. Carafa, y R. Ligrone (2006). A highly differentiated glomeromycotean association with the mucilage-secreting, primitive antipodean liverwort *Treubia* (Treubiaceae): Clues to the origins of mycorrhizas. American Journal of Botany, 93, 797-813.

Marco B., O.L. (2004). Los hongos fósiles o la paleomicología. Interciencia, 29 (2), 94-98.

Ruiz H., J. (2001). El asombroso reino de los hongos. Avance y perspectiva, 20, 275-281.

Steur, H. (2006). Hans' paleobotany pages; Rhynie chert pictures. Obtenido en la Red Mundial el 15 de enero de 2007. <http://www.xs4all.nl/~steurh/engrhyn/erhynie.html>

La utilización ritual de los hongos en las sociedades prehispánicas de México

Sergio Vásquez Zárate¹

El uso y aprovechamiento de los hongos en México se remonta hasta tiempos ancestrales. En el vasto territorio de la antigua civilización mesoamericana se incluyen variados ecosistemas que alojan una gran diversidad de especies del reino Fungi.

En consecuencia, debe suponerse una gran heterogeneidad de concepciones y prácticas emanadas de distintos contextos culturales, geográficos o temporales, ya sea como alimento o como un elemento medicinal o ritual, donde los hongos fueron sumamente apreciados por casi todos los grupos étnicos y su consumo aún es significativo en las poblaciones indígenas.

Como alimento se aprovecharon numerosas especies silvestres. El *huillacoche*, por ejemplo, ha sido muy apreciado, no sólo por sus propiedades culinarias, sino por su estrecha asociación con el maíz, planta sagrada cuyo cultivo era la base principal de la producción agrícola en Mesoamérica.

Así, y como ocurre hasta hoy, el consumo de hongos comestibles implicaba un amplio conocimiento de las características morfológicas que distinguen a las especies, para evitar intoxicaciones u otros efectos nocivos.

Parte de esta sabiduría se manifiesta entre los grupos indígenas contemporáneos, quienes muestran especial predilección por la colecta de ciertos hongos durante algunas temporadas del año o por su contexto de procedencia; por ejemplo, los hongos que crecen en los troncos de *patancán*², durante la época de secas, son considerados especialmente deliciosos por los grupos totonacos de la selva baja caducifolia.

Cabe señalar que, pese a la importancia histórica de los hongos, el conocimiento actual sobre su colecta y consumo en tiempos prehispánicos se encuentra en un estado incipiente.

¹ Facultad de Antropología de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: svzcajica@hotmail.com

² Seguramente *Pomoea wolcottiana* Rose var. *wolcottiana*.

En cambio, los estudios sobre su utilización con fines rituales y ceremoniales han recibido mayor atención por parte de los investigadores contemporáneos.

En este sentido, y pese a la carga denigrante y condenatoria que la concepción occidental le otorgaba a los efectos provocados por la ingesta de este tipo de plantas, las primeras referencias documentales elaboradas por frailes y conquistadores hispanos del siglo XVI son de gran valor. Así, algunas especies de hongos eran utilizadas en distintos contextos culturales como “inductores de trance”, no sólo entre curanderos y chamanes, sino entre individuos cuya patología se atribuía a alguna enfermedad del “alma”.

Por lo tanto, se consideraba que el consumo de cierto tipo de hongos permitía acceder a un nivel de conciencia que trascendía a la cotidiana dimensión material y terrenal; es en ese ámbito donde puede encontrarse la respuesta a una aflicción o una enfermedad, causada por fuerzas de la naturaleza, o por ser provocada intencionalmente mediante conjuros, procedimientos mágicos o encantamientos, es decir, el uso curativo de los hongos no partía de una concepción negativa ni condenable, sino que formaba parte de un todo abstracto, donde el ser humano no sólo podría enfermar de la mente o del cuerpo, sino también del alma o del espíritu.

Entre los grupos de habla náhuatl, como los mexicas o los tezcocanos, los hongos eran llamados *teonanácatl* (“la carne del dios”; “carne divina”) y aún existen, en el Valle de México, al menos tres especies de *Psilocybe* (*mexicana*, *wassoni* y *aztecorum*) que contienen una sustancia llamada *psilocibina*, la cual produce alucinaciones y, en ciertas circunstancias, estimula o intensifica la imaginación y la percepción del color.

Las evidencias sobre el consumo de hongos no sólo se restringen a las antiguas culturas del Altiplano, pues hay datos sobre su uso ceremonial en distintos grupos prehispánicos.

En algunos contextos rituales, los hongos eran considerados como un medio para establecer comunicación con las deidades (seres divinos o con esencia divina) y con fuerzas sobrenaturales y su ingestión -por parte de sacerdotes y chamanes- formaba parte de un ceremonial, que normalmente seguía un proceso largo y complejo e incluso un prolongado entrenamiento.

Estas actividades rituales comprendían la preparación física y mental de los participantes, muchas veces en medios aislados o en sitios considerados sagrados, precedidas por fases como la recolección ritual, el ayuno, la ingestión y el dominio de un estado alterado de conciencia, hasta la interpretación de los sueños y visiones observados durante la fase de trance.

Estudios etnográficos realizados desde la primera mitad del siglo XX en algunas comunidades indígenas (mazatecas, mixtecas, coras, huicholes, seris y yaquis), han reiterado la importancia que la interpretación tenía como base de un “diagnóstico” de curación o como un vínculo necesario en ritos propiciatorios ante entidades poderosas de la naturaleza.

Existen numerosas evidencias arqueológicas sobre el uso de plantas alucinógenas, no sólo en las fuentes etnohistóricas consignadas por los primeros cronistas y evangelizadores cristianos, sino también en los documentos pictográficos conocidos como códices, en donde los hongos aparecen claramente asociados a eventos relacionados con deidades o entidades no humanas.

Al respecto, bien vale la pena realzar al fraile Bernardino de Sahagún, quien en su Historia de las Cosas de la Nueva España escribió:

“...Hay unos honguillos en esta tierra que se llaman *teonanácatl* [...] son medicinales [...] los que los comen ven visiones y sienten bascas³ del corazón, y ven visiones a las veces espantables y a las veces de risa. A los que comen muchos dellos provocan a luxuria...”

Dentro de los ejemplos pictográficos más sobresalientes bien vale la pena destacar que en la foja 90 del Códice Magliabechiano se encuentra un individuo ingiriendo hongos, en cuya espalda aparece una figura antropomorfa con garras, cuya cabeza descarnada representa a *Miquiztli* (la muerte). Asimismo, en el Códice Florentino (libro XI, foja 142), elaborado también en los primeros años de colonia, hay una clara representación de *nanácatl* (hongos), sobre los cuales aparece otro ser fantástico con garras. Finalmente, en códices mayas como el de Dresde y el de Madrid o TroCortesiano, es posible distinguir diversos especímenes de hongos en escenas representativas de sacrificios humanos.

Entre los artefactos prehispánicos que han logrado sobrevivir con el paso del tiempo, destacan pequeñas esculturas de basalto o andesita que muestran la forma característica de estas plantas, muchas veces adosada a animales o seres fantásticos o antropomorfos.

De igual forma, se ha propuesto que muchas figuras estilizadas, grabadas o pintadas en cuevas o superficies rocosas se relacionaban con ritos, en los cuales se buscaba un estado alterado de conciencia. En ese sentido, los efectos alucinógenos de la psilocibina bien pudieron inducir a la representación de seres u objetos observados durante los momentos de percepción alterada, de tal manera que ello, en cierto modo, explica la sorprendente

³ Término con seguridad referido a una especie de ímpetu colérico que experimentaban quienes consumían a los citados hongos.

cantidad de motivos imaginarios con fantásticas formas, a menudo encontrados en sitios alejados de las antiguas áreas habitacionales.

Recientemente, el arqueólogo Carlos Álvarez ha propuesto que el extenso complejo de petroglifos⁴, detectado en torno al sitio prehispánico de Teotenango, Estado de México, estaba relacionado estrechamente con antiguas prácticas rituales, donde se molían hongos mezclados con el agua de lluvia, captada en pequeños cuencos cavados en bloques de piedra.

Del mismo modo, este investigador ha sugerido que algunas maquetas de templos, hechas en material pétreo, también parecen haber sido utilizadas como recipientes para la molienda de estas plantas psicotrópicas.

No obstante, en otras áreas del México Antiguo se han encontrado cerámicas portadoras de motivos plásticos o cromáticos que hasta cierto punto pueden ser reconocidos como hongos.

Por otro lado, y aunque las evidencias de textiles prehispánicos son escasas y fragmentarias, es posible suponer que entre los diseños fitomorfos haya habido ejemplos de este tipo de plantas sagradas, como hoy ocurre en la indumentaria de grupos étnicos de Oaxaca, Chiapas y Puebla. En el mismo sentido, es posible proponer que algunas esculturas arqueológicas halladas en el área huasteca de Veracruz y Tamaulipas no sean representaciones fálicas, como hasta ahora se ha propuesto⁵, sino sencillas alusiones a especies de *Psilocybe*.

De hecho, la importancia de los hongos en la vida social y cultural del México prehispánico es innegable y se remonta a las fases más tempranas de las grandes culturas mesoamericanas. Sin embargo, los estudios sobre el tema aún son insuficientes y, con frecuencia, minimizados por prejuicios sobre el uso ritual de algunas especies. Pero cabe suponer que los nacientes enfoques transdisciplinarios permitirán subrayar la trascendencia histórica que los hongos tuvieron en el desarrollo de las civilizaciones más importantes del Nuevo Mundo.

⁴ Estos se refieren a las representaciones gráficas que fueron grabadas por nuestros antepasados prehistóricos en rocas o piedras, las cuales son consideradas como el más cercano antecedente de los símbolos previos a la escritura.

⁵ Es decir, que la representación de los hongos se hace sobre todo en la parte de la cabeza.

Para el lector interesado:

Díaz, J.L. (2003). Las plantas mágicas y la conciencia visionaria. Arqueología mexicana, 10 (59), 18-25.

Lozoya, X. (1990). Los señores de las plantas; Medicina y herbolaria en Mesoamérica. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Pangea Editores. 58 p.

McKenna, T. (1993). El manjar de los dioses. La búsqueda del árbol de la ciencia del bien y del mal: Una historia de las plantas, las drogas y la evolución humana. España: Paidós. 340 p.

Samorini, G. (2001). Los alucinógenos en el mito; Relatos sobre el origen de las plantas psicoactivas. España: Editorial Liebre de Marzo. 177 p.

Schultes, R.E., y Hofmann, A. (1982). Plantas de los dioses: Orígenes del uso de los alucinógenos. México: Fondo de Cultura Económica. 192 p.

Wasson, R.G. (1983). El hongo maravilloso: Teonanácatl; Micolatría en Mesoamérica. México: Fondo de Cultura Económica. 307 p.

Variabilidad, producción e importancia de los hongos en la naturaleza

Gastón Guzmán¹

¿Qué son los hongos, cómo es su variabilidad y en dónde y cómo viven?

Puesto que los hongos se han considerado durante mucho tiempo como vegetales, aún pueden encontrarse textos de botánica, biología y hasta de micología e incluso diccionarios, donde quedan acomodados en las plantas. Sin embargo, desde hace más de treinta años, dado el avance de la ciencia, se ha aceptado que los hongos no son vegetales, ni tampoco animales (con los que sí están relacionados, dada su naturaleza biológica).

Por tal motivo, se llegó a la conclusión de que estos organismos forman un grupo especial que recibe simplemente el nombre de Hongos, el cual en definitiva los diferencia de los vegetales, de los animales y de los microorganismos (que son conocidos como bacterias y protozoarios).

Sea lo que fueran los hongos, está claro que son organismos muy sencillos en su estructura y biología; viven de la absorción de sustancias nutritivas del medio en el que se desarrollan, del que sólo absorben muy pocas cantidades. Para ello, necesitan altos niveles de humedad y una temperatura adecuada.

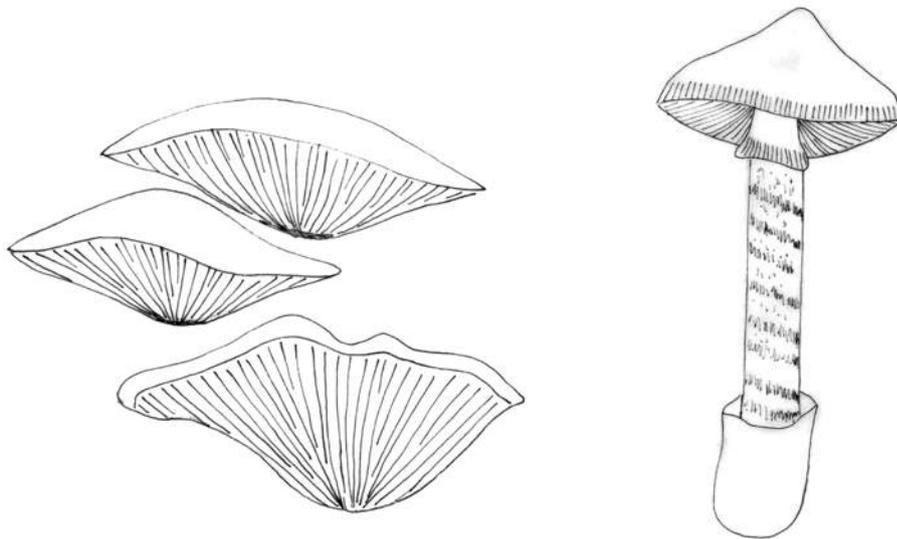
Como ejemplo para entender qué tan poca materia orgánica necesitan los hongos para su crecimiento, obsérvese un moho (uno de los tantos grupos, pertenecientes a los hongos microscópicos) que viven sobre las lentes de una cámara fotográfica, en un lugar húmedo, en tierra caliente. El moho lo veremos muy bien en su desarrollo, pero ¿Qué tanta materia orgánica habrá sobre las lentes? Sin duda alguna, muy poca.

Debido a los bajos requerimientos nutricionales que los hongos necesitan para su crecimiento, se desarrollan en todos los lugares de la superficie de La Tierra que, como mínimo, presenten las condiciones arriba expuestas; justamente ello se debe a que los hongos es el grupo de

¹ Unidad de Micología, Instituto de Ecología, A.C. Antigua carretera a Coatepec No. 351 (km. 2.5) Congregación El Haya, CP. 91070. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: guzmang@ecologia.edu.mx

organismos más diversificado en la naturaleza (después de los insectos), con una amplia distribución:

Los hongos se encuentran en el agua, en el suelo, en materiales orgánicos diversos, como restos vegetales o de animales e incluso como parásitos de otros seres o de ellos mismos; crecen desde el nivel del mar hasta las altas montañas e incluso en las zonas áridas (las mal llamadas “desiertos”) y donde las especies se han adaptado a la escasa humedad disponible.



Las “setas” u “orejas” son objeto de cultivo o de recolección en el campo, muy apreciadas por su buen sabor. Se identifican con el nombre de *Pleurotus* (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

El tecomate bueno (*Amanita tecomate*) es un hongo comestible muy común en los mercados; se caracteriza por su sombrero rojo y pie amarillo (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

En cuanto a la vegetación, los hongos son capaces de desarrollarse tanto en los bosques tropicales, como en los templados y fríos.

La estructura microscópica de los hongos es muy sencilla, lo que contrasta con la complejidad de varias fructificaciones macroscópicas presentes en ciertas especies, entre las que destaca el popular “tecomate”, mismo del que se hablará más adelante.

Desde el punto de vista de su tamaño, los hongos se pueden dividir en microscópicos, como los mencionados mohos, y en macroscópicos, como el “tecomate”, las “setas” o las “pancitas” que se caracterizan por tener fructificaciones grandes, pero que emergen de

masas algodonosas blancas, formadas por miles de filamentos microscópicos (células del hongo) que viven en el suelo u otro sustrato (por ejemplo, troncos o ramas).

Estos últimos son de vida libre, pero hay otros que parasitan los troncos de árboles vivos, como los "tzensos" o "alachos", los cuales incluso son comestibles y objeto de venta en los mercados populares.

Las llamadas levaduras son hongos microscópicos que forman masas gelatinosas en los líquidos azucarados donde viven, y no forman los filamentos arriba citados porque están integradas por células aisladas. No obstante, tienen la peculiaridad de crecer en grandes cantidades, fermentar los líquidos antes mencionados y producir alcohol. De esta manera, su capacidad de transformación las faculta para jugar un rol esencial en la obtención de vinos, cervezas y bebidas tradicionales como "tepache", "pulque", "tuba", "coloche", "pozol" y otras.

Todos los hongos se reproducen por esporas, las cuales son "semillas" microscópicas que se expulsan, por lo general, en grandes cantidades. El aire de una casa cerrada y húmeda, debido a las esporas de los mohos que viven en ella, se enrarece. De ahí que se diga erróneamente "huele a humedad", cuando que lo que se olfatea son las esporas de tales hongos.

Respirar gran cantidad y durante mucho tiempo a estas esporas provoca cierta alergia con dolor de cabeza, pero no más. Los hongos macroscópicos producen sus esporas debajo del sombrero que tienen, o algunas veces en la superficie de arriba. En los hongos globosos (como *Calvatia* y *Lycoperdon*) las esporas se forman adentro de sus cuerpos y para expulsarlas lo hacen explosivamente a través de un poro que se les forma arriba.

¿Cuántos hongos hay en la naturaleza, en México y en Veracruz?

Si bien son preguntas que siempre inquietaron, hasta hace poco tiempo se encontró una respuesta aproximada a todas ellas.

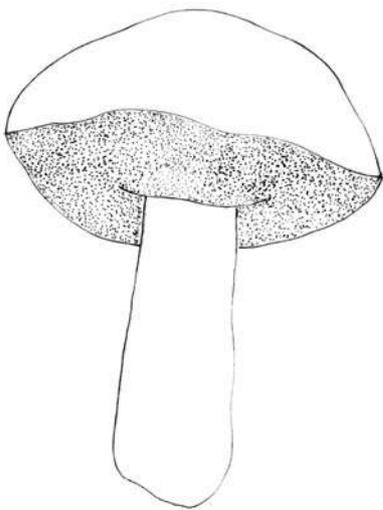
Fue el especialista inglés Hawksworth quien, en 1991, estimó cuántos hongos podría haber en el mundo. Así que, basándose en múltiples cálculos y aproximaciones, dicho micólogo estimó la existencia de más de 1'500,000 especies (no individuos), aunque lo patético del caso fue que consideró que de ese gran total nada más se conoce el 5% (!).

De igual forma, hizo ver que en Europa y en E.U.A. más o menos se reconocen los hongos, pero que en los países poco desarrollados, en especial en las regiones tropicales (las tierras calientes), es donde menos se sabe de ellos.

Sobre México, y con fundamento en los argumentos metodológicos de Hawksworth, el que escribe estimó cuántos hongos hay en nuestro territorio nacional y cuántos en el Estado de Veracruz. En cuanto al país se refiere, la cifra llegó a las 200,000 especies, de las cuales apenas se conoce el 4% (!), mientras que el autor hizo ver que Veracruz es la entidad federativa en la que más atención se le ha puesto a los hongos, debido a que el Puerto de Veracruz fue la principal entrada al país durante siglos y, en consecuencia, por dicho puerto llegaron los primeros naturalistas y especialistas en hongos.

En la entidad veracruzana (donde se han arraigado instituciones de investigación que desde hace mucho tiempo han estudiado a los hongos, la Universidad Veracruzana y el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), este último en los 70's, y desde hace más de 20 años el Instituto de Ecología) se calcula la existencia de alrededor de 50,000 especies de hongos, aunque también es muy limitado lo que conocemos².

Los ejemplos de Hawksworth a nivel mundial y del autor en México, demuestran que los hongos, a pesar de ser un grupo muy numeroso e importante, han sido poco atendidos y por ello hacen mucha falta especialistas y apoyos institucionales que permitan la conformación de grupos interdisciplinarios y transdisciplinarios, dedicados a la formulación y ejecución de proyectos que nos permitan profundizar en su conocimiento.



Las "pancitas" (adscritas al género *Boletus*) son hongos carnosos muy variados, comestibles y venenosos, pero muy populares en los mercados (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).



Uno de los tantos "izensos" que se venden en los mercados es parásito de diversos árboles (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

² Consúltese el trabajo de Guzmán, G. (1998). Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (ensayo sobre el inventario fúngico del país). En: G. Halffter (Comp.). La diversidad biológica de Iberoamérica II. Volumen especial, Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) (pp. 111-175). Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México.

Por otra parte, crece el grave problema de la cotidiana deforestación y contaminación del medio. En México la tala excesiva de la vegetación original y, en particular, la de los bosques, se ha vuelto una práctica cotidiana e inadecuada de futuras catástrofes que no sólo afectarán seriamente a la población de hongos silvestres, sino al equilibrio ecológico de todo el planeta.

Los hongos de los bosques: su importancia y producción

Es interesante observar que de los dos tipos de bosques que hay en México, los de pinos y encinos y los tropicales, estos últimos son los que más especies de hongos tienen (al igual que ocurre en otras regiones del mundo), pero son los bosques de pinos y encinos los que producen la mayor masa.

Lo expresado se debe a que los hongos tropicales desarrollan fructificaciones pequeñas y muy efímeras, mientras que los de pinos y encinos producen especies con grandes fructificaciones y son más duraderos que aquéllos. Además, los hongos comestibles y venenosos de estos últimos son los más conocidos.

También es fascinante saber que la producción natural de hongos comestibles en un bosque de pinos y encinos puede ser de toneladas al año, siempre y cuando dicho bosque esté bien conservado y manejado.

Mientras que en Europa y en los E.U.A. existen grandes empresas que se dedican a recolectar, industrializar y comercializar hongos comestibles silvestres, en México se carece de este tipo de empresas, dado que, debido a las malas condiciones de nuestros bosques, no podrían soportar una actividad de tal naturaleza. No obstante, el autor, en colaboración con sus colegas, estudió la capacidad de producción de hongos comestibles en los bosques del Cofre de Perote, Veracruz, y encontraron que en 1983 fue de 747 kg ha⁻¹, la cual descendió hasta 37 kg ha⁻¹ en 1995 a causa de la sobreexplotación por la extracción constante de leña y madera que degradan y disminuyen el aprovechamiento de los recursos forestales asociados al bosque.

En cambio, la alta variabilidad de hongos comestibles, originada en los bosques de pinos y encinos arriba señalados, ha desarrollado en la población rural una importante y milenaria costumbre relacionada con su recolección, venta y consumo. Por ende, culturas étnicas de nuestro país como la Purépecha en Michoacán y la Náhuatl y Totonaca en Veracruz, tienen bastante arraigo con esta tradición.

Más estos pueblos indígenas no sólo identifican bien a los hongos a través de una observación cuidadosa de sus fructificaciones, forma, color, consistencia (conocida como "carne"), los cambios de tonalidad, olor y sabor de las mismas, sino que su experiencia adquirida a lo largo de centurias y transmitida de generación en generación, cuya precisión es inequívoca y admirable, según lo ha constatado el autor en sus estudios sobre los hongos, ha permitido que sean vendidos en los mercados desde hace 50 años.

Como consecuencia, resulta sorprendente descubrir la infinidad de nombres populares que los campesinos ponen a los hongos, con los cuales los identifican plenamente. Por ejemplo, la denominación "tecomate bueno" y "tecomate malo" con la que distinguen a dos hongos con el sombrero rojo: uno comestible (una especie del complejo *Amanita caesarea*) que tiene el sombrero liso y otro venenoso (*Amanita muscaria*) con el sombrero cubierto de escamas blancas³.

Una manera práctica y sencilla de conocer a los hongos comestibles es visitar los mercados populares en la época de lluvias y observar la gran variedad que se encuentra a la venta; entre ellos los "corales" o "manitas" (varias especies de *Ramaria*), los "gachupines" (diversas especies de *Helvella* y de *Gyromitra*) y el "cuitlacoche", mismos que se suman a los ya citados.

Confiemos en que nuestros campesinos no se equivocan, porque son experimentados y toda su vida se han dedicado a la recolección de hongos, oficio que aprendieron desde niños, acompañando al papá o al abuelo al bosque. De hecho, el autor nunca ha encontrado un hongo venenoso en un mercado. Aunque resulta pertinente aclarar que los envenenamientos ocurridos se han debido a negligencias como las de aquel recolector de hongos que se encontraba en estado de ebriedad o no conocía los hongos y efectuó la vendimia de puerta en puerta.

Además, en un mercado formal, los propios vendedores fungen como inspectores, por lo que no permitirán a ningún marchante ofrecer hongos venenosos. Por otra parte, y a propósito de la identificación de las especies venenosas, descártense absolutamente las prácticas seguidas por algunas personas ciudadinas que afirman que si los hongos se hierven con un ajo o con una moneda de plata y éstos no se ennegrecen, significa que el hongo es comestible. Lo anterior es debido a la existencia de hongos venenosos cuyas toxinas ennegrecen el ajo y a la plata, **pero las de otros no**. En consecuencia, el único camino para saber si un hongo es comestible o no, es la práctica del estudio cuidadoso de todas las partes de su cuerpo fructífero, tal y como lo hacen los campesinos.

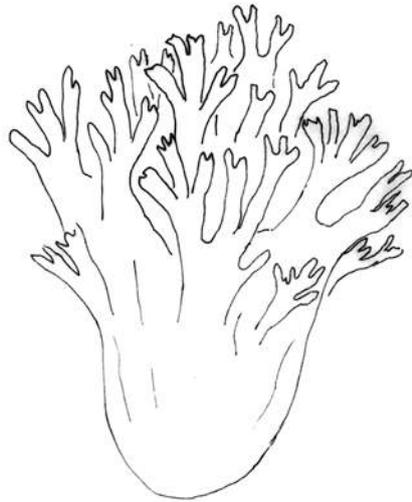
³ Para mayor información consúltese Mapes, C., Guzmán, G y Caballero, J. (1981). *Etnomicología Purépecha: El conocimiento y uso de los hongos en la Cuenca de Pátzcuaro, Michoacán*. Cuadernos de Etnobiología 2, Dirección de Culturas Populares (SEP)/Sociedad Mexicana de Micología/Instituto de Biología, UNAM, México. 79 p. [Serie Etnociencia]; Guzmán, G. (1977, con varias reediciones). *Identificación de los hongos*. Limusa, México. 236 p., y Guzmán, G. (1997). *Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina*. Instituto de Ecología, Xalapa/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 360 p.

Otro dato importante, en cuanto a los hongos comestibles y su comparación con las especies venenosas, es que hay más especies comestibles que venenosas. El autor ha registrado más de 200 especies comestibles en el país, contra no más de 50 tóxicas, de las cuales sólo cinco son mortales.

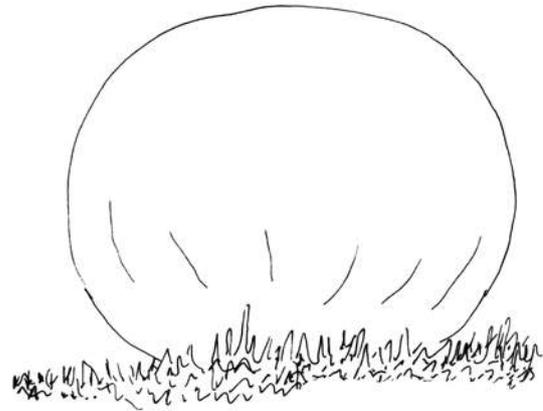
Como la fructificación de las especies muy venenosas es, por lo general, blanca, de ahí se ha desprendido la incorrecta creencia de que “todos los hongos blancos son venenosos”, siendo que el “champiñón” y las “setas” de cultivo son blancos y bastante apreciados entre los hongos comestibles.

Ahora bien, en cuanto a las especies calificadas en párrafos anteriores como tóxicas, vale la pena indicar que simplemente producen trastornos gastrointestinales media hora después de haberse comido, con vómitos y diarreas, pero el sujeto recupera su salud una vez que expulsa todo lo ingerido.

No así cuando se trata de especies mortales, en las que las complicaciones se manifiestan hasta 12 ó 24 horas después de la ingestión o antes, a través de malestar general y dolor de cabeza. Las alteraciones gástricas son también vómitos y diarreas, pero ambas con sangre, pues su veneno ataca a las células del hígado y las destruye. La persona con este tipo de intoxicación muere después de una agonía de casi una semana, sin que por el momento exista un remedio para evitarlo.



Los “coralitos” o “patitas” adscritos a *Ramaria* son comestibles de venta en los mercados (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).



Las “bolas de jardín” son hongos blancos y comestibles cuando jóvenes; una vez maduros, se vuelven polvorientos y parduzcos y su polvo (las esporas) se emplea en la medicina tradicional (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

Los hongos medicinales y los sagrados

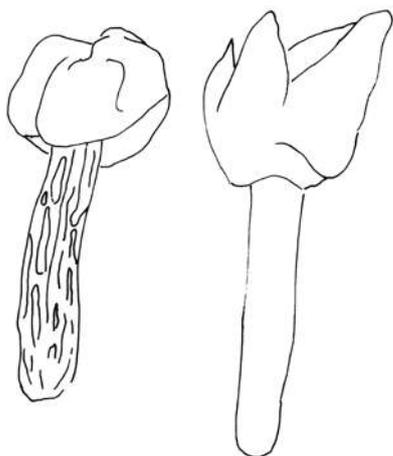
Varios grupos étnicos en el país utilizan algunas especies de hongos como remedio para aliviar diversas alteraciones de la salud.

Hasta ahora se conocen más de 20 hongos que son apreciados en la medicina tradicional. Entre los males que tales hongos combaten están: alta temperatura, asma, cólicos, conjuntivitis, disentería, dolor de muelas, epilepsia, estreñimiento, granos, hemorragias, neuritis, piquetes de abeja, quemaduras, reumatismo, tiñas, tos y úlceras de la boca, entre otros.

Los hongos globosos, citados casi al principio de este texto, los cuales son blancos, carnosos y comestibles, se usan contra piquetes de abejas (se frota toda la fructificación fresca sobre el piquete) y para combatir hemorragias (sus esporas). Del "cuitlacoche" (el hongo del maíz, tan conocido por su buen sabor), también se emplean sus esporas contra hemorragias y para suavizar la piel de los niños pequeños, e incluso para aliviarlos del cordón umbilical. Varios líquenes de los árboles (conocidos como "lama") son usados en forma de té para combatir la tos.

Finalmente, los hongos sagrados, conocidos también como alucinógenos o neurotrópicos, entre otros muchos nombres, han jugado un papel muy importante entre los mazatecos y zapotecos de Oaxaca, y los nahoas del centro del país.

México es notoriamente rico en estas especies, las cuales se adscriben al género *Psilocybe*, aunque no todas tienen tales propiedades. Estos hongos, que se usan con fines ceremoniales desde tiempos prehispánicos, se descubrieron a la ciencia en 1954-1957.



Los "gachupines" son muy populares, siin embargo, antes de comerlos, hay que hervirlos y tirar el agua, ya que crudos son ligeramente tóxicos (este es el único caso conocido de hongos tóxicos cuando están crudos). (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

Por desgracia, la gran difusión que se les dio en la década de los 60's, provocó un uso desmedido por parte de jóvenes extranjeros hasta el punto de profanar las costumbres indígenas. Por esta razón, el uso recreacional de tales hongos obligó al gobierno de México, y a varios del extranjero, a prohibir su usanza al declarárseles como droga. Esto, además de provocar un comercio ilícito y afectar las tradiciones indígenas, paró las investigaciones médicas (neurofisiológicas y psicoterapéuticas) y las micológicas que sobre estas especies se estaban realizando.

Cuando dichos hongos fueron descubiertos a la ciencia, se señalaban como exclusivamente mexicanos. Sin embargo, están en todo el mundo, pero solamente en México y en Nueva Guinea existen tradiciones étnicas sobre ellos. En 1958 la variabilidad de tales hongos era de alrededor de 20 especies, pero ahora el autor tiene definidas más de 150, de las cuales 55 crecen en México.

A este respecto, resulta maravilloso reconocer que México es el país con más especies neurotrópicas: Hay especies como el famoso "San Isidro" (*Psilocybe cubensis*) que crece en todas las tierras calientes del mundo, o el *Psilocybe* identificado entre los mazatecos como "pajarito" (*Psilocybe mexicana*), común en muchos lugares subtropicales del país e incluso en Guatemala.

Las posibles aplicaciones de estos hongos en la medicina se fundamentan en que afectan el sistema nervioso central de forma pasajera y provocan un estado de desequilibrio mental, con la percepción de alucinaciones e ilusiones, ambas coloridas.

La persona así afectada no olvida su identidad y a la vez acepta aquella irrealidad que observa. Lo primordial de esta drástica acción es que al desaparecer los efectos, la persona queda normal física y mentalmente. Los curanderos indígenas, que a menudo ingieren estos hongos, son una corroboración fehaciente de este suceso.

Sin embargo, el peligro del uso de estos hongos radica en el abuso y en no seguir los cuidados que los indígenas recomiendan: ingerirlos de noche⁴ y sin alimentos previos, no tomar alcohol ni medicinas (ni mucho menos drogas) y siempre estar bajo la dirección de una persona de edad, que cuide y guíe al paciente. Con estos sabios consejos, los indígenas nunca han tenido problemas con la ingesta de hongos alucinógenos.

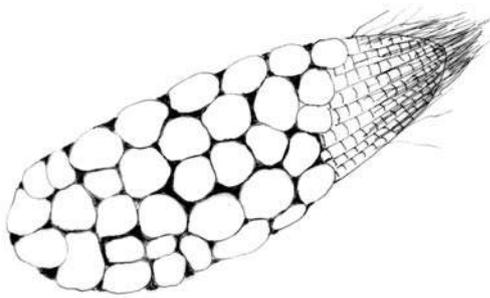
Corolario

Los hongos forman un grupo de organismos muy especial y variado, con amplia distribución mundial.

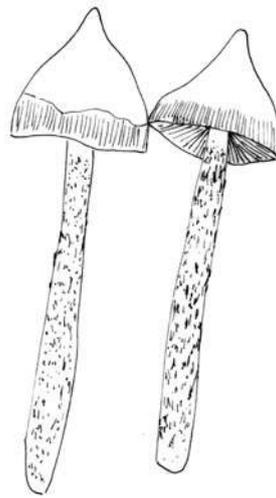
⁴ Esta recomendación surge a partir de que los efectos llegan a ser tan fuertes, que la persona no debe distraerse con ruidos o visiones que en un momento dado lo pudieran alterar.

Su importancia ecológica es enorme, ya que al nutrirse de la degradación del medio en donde se desarrollan, ayudan a la reincorporación de la materia orgánica y a la simplificación de complejas sustancias químicas. Al mismo tiempo, su variabilidad se estima en miles de especies, pero su conocimiento científico es todavía muy pobre.

En contraste, desde los inicios de la civilización, éstos han sido muy importantes y aún lo son en la vida del hombre. Por consiguiente, es incuestionable que México cuente con una amplia tradición en el uso de los hongos comestibles, en los empleados en bebidas fermentadas, en los medicinales y en los considerados sagrados. Pero, desafortunadamente, todo el conocimiento tradicional acumulado y la gran diversidad en especies se están perdiendo aceleradamente debido a la incontrolable destrucción de la vegetación e incesante contaminación ambiental derivadas del "avance de la civilización".



El "cuitlacoche" es un hongo parásito de las mazorcas del maíz; sin embargo, es uno de los comestibles más apreciados por el hombre (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).



Una de las muchas especies de hongos alucinógenos es el "derrumbe" u "hongo santo" (*Psilocybe zapotecorum*). (Dibujo de Gastón Guzmán, 2007).

Para el lector interesado:

Guzmán, G. (1997). Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina. México: Instituto de Ecología, A.C./Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 360 p.

Guzmán, G. (1998). Inventorying the fungi in Mexico. Biodiversity and Conservation, *Z*, 369-384.

Guzmán, G. (2003). Los hongos de El Edén (Quintana-Roo): Una introducción a la microbiota tropical de México. México: Instituto de Ecología, A.C./Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 334 p.

Del “círculo de las brujas” al hongo atómico

César E. Moreira Arana¹, Ciro A. Cubillas Ramírez² y Dora Trejo Aguilar³

Las sociedades humanas presentan frente a los hongos dos posiciones contradictorias, con numerosos matices, que van desde la micofilia (afinidad por los hongos) a la micofobia (aversión a ellos).

De esta manera, los hongos pueden ser altamente apreciados, como en el caso de los cotizados “diamantes negros” de la gastronomía que alcanzan precios estratosféricos: las trufas. Pero eventualmente son detestados, como ocurre con el molesto moho que suele cubrir los zapatos y otras prendas de piel que han sido guardadas en un closet por largo tiempo, hasta llegar al extremo de ser temidos por constituir una peligrosa fuente de venenos, característica aprovechada por los hechiceros y los chamanes.

En gran parte las concepciones simplistas tienen su origen en el desconocimiento que priva sobre este reino. Así, una creencia prevaleciente en la mayoría de la gente supone que los hongos se restringen a las estructuras con una característica forma de sombrerito que de ordinario se pueden ver en las zonas más húmedas de un bosque, por ejemplo, sobre los troncos en descomposición. Pero si se hablara con mayor precisión, sería necesario referirse a ellos como setas, ya que tal es su nombre.

En realidad, la palabra hongo debe aplicarse al conjunto del organismo cuya mayor parte no es visible por hallarse bajo la superficie, de tal forma que la parte carnosa exterior sólo constituye una pequeña fracción del verdadero hongo y se encuentra dedicada a la reproducción.

Por tal motivo, en la zona inferior de muchas setas maduras pueden verse numerosas laminillas de las que se desprende un polvo oscuro integrado por diminutas esporas, de las cuales se originarán nuevos hongos, cuando caen en un sitio apropiado para su germinación.

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91090, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: cema@xal.megared.net.mx

² Alumno de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91090, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México.

³ Laboratorio de Organismos Benéficos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus Xalapa*. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91090. Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: doratrejo59@hotmail.com.

Así que, en realidad, bajo el suelo es donde se desarrolla una extensa y fina red de filamentos llamada micelio, casi imperceptible a simple vista, que constituye el verdadero cuerpo del hongo.

Creencias mágicas sobre los hongos

Desde siglos atrás, las setas fueron vistas como emanaciones de la tierra húmeda. Mas como no dan frutos ni granos como las plantas, debieron parecer criaturas relacionadas con las potencias del inframundo. Entonces, y tal vez debido a que a veces pudieran aparecer numerosas setas de manera misteriosa, pudo haber conducido a muchos pueblos a creer que en ello había algo mágico. De tal modo que aún en nuestros días, si se produce un proceso inesperado como el súbito incremento en el número de comercios que se abren en una zona de la ciudad, es habitual referir en el habla popular que “brotaron como los hongos después de la lluvia”.

Sin embargo, el hecho de que el verdadero cuerpo del hongo se desarrolle bajo la superficie del suelo, facilita su posibilidad de extenderse y de emerger nada más en el momento de la reproducción y de esta manera observar a los llamados cuerpos fructíferos que son precisamente las setas.

Aunque por lo general su micelio está constituido por una delicada red de hifas, que suele crecer en forma circular y dejar un área libre central a medida que se agotan los nutrientes disponibles, en ocasiones, el hongo va desarrollándose en forma de anillo subterráneo y a la vez libera sustancias que, incluso, pueden estimular el crecimiento de la hierba que brota en la superficie.

Así, visto desde arriba, puede percibirse un extraño círculo de vegetación alterada del que de vez en cuando brotan las setas. La observación de tan llamativo fenómeno llevó a muchos pueblos a vincularlos con las hadas, los duendes o los hechiceros, ya que sólo algún ser fantástico podía ser el causante de tan extraña aparición.

Durante la Edad Media, a este tipo de acontecimientos se les llegó a denominar “círculo de las brujas”, suponiendo que eran causados por ellas durante sus excursiones nocturnas. Entre los pobladores del Viejo Mundo una creencia muy arraigada sostenía que durante el último día de abril, en la denominada noche de *Walpurgis*, los brujos efectuaban sus danzas rituales y dejaban los curiosos anillos como evidencia de las ceremonias mágicas realizadas en los claros del bosque.

Por coincidencia, los extraños síntomas de supuesta posesión demoníaca que manifestaban algunos habitantes de la Europa medieval, sin duda alguna, se debían a la acción de un hongo. Al respecto, y luego de consumir alguna clase de "pan de la locura" (sobre todo el que estaba elaborado con centeno cosechado en regiones húmedas), los campesinos padecían alucinaciones, convulsiones, contracturas musculares y, en el peor de los casos, una fatal necrosis de los tejidos, similar a la temible gangrena.

Hoy se sabe que dicho cuadro corresponde al ergotismo, una intoxicación originada por la ingesta de varios alcaloides relacionados con el LSD sintetizados por un hongo parásito de los cereales: el cornezuelo (*Claviceps purpurea*). Pero como sucede con frecuencia, los venenos administrados en dosis adecuadas también pueden emplearse como remedios. Así, la ergotamina extraída de dicho hongo se emplea con mucho éxito para el tratamiento de la migraña y otras cefaleas de origen vascular.

Es verdad que ciertos hongos producen ataques directos al hombre, pudiendo provocar enfermedades benignas como las tiñas, donde suelen aparecer lesiones anulares a modo de pequeños "círculos de las brujas" en la superficie de la piel. En el otro extremo, es posible que produzcan severos cuadros de invasión interna: las micosis profundas.

No obstante, es justo reconocer que algunas especies producen sustancias extremadamente útiles para el combate de microorganismos patógenos, como es el caso de la penicilina. De hecho, ese fue el primer antibiótico natural de origen fúngico descubierto, lo que le hizo merecer el premio Nobel al célebre Alexander Fleming, en 1945, junto a Ernst Boris Chain y Howard Walter Florey.

Los hongos pueden ser buenos socios

A medida que los hongos se han ido estudiando con mayor detalle comenzaron a desvanecerse los prejuicios mágicos, aunque no han dejado de ofrecer sorpresas. Los hongos no son sólo importantes para la sociedad humana, también establecen relaciones bastante estrechas con algas verdeazules, con numerosas plantas y con ciertos animales.

Dado que se trata de organismos cosmopolitas, capaces de procesar una gran cantidad de compuestos presentes en la naturaleza, el resultado de dicha transformación son azúcares, grasas y proteínas, que en su momento pueden ser utilizados por otros seres vivos como fuentes de alimento. Para determinados insectos como las hormigas, los escarabajos y las termitas, es posible establecer una simbiosis mutualista con los hongos donde ambos organismos casi

siempre resultan beneficiados, ya que debido a las condiciones ambientales prevalecientes, prácticamente les resultaría imposible vivir de manera independiente.

Socios de las algas verdeazules

Cuando se camina por un bosque, un parque u otros lugares donde abundan los árboles y las rocas, es factible notar que en la superficie de ambos crecen unas estructuras grisáceas parecidas a hojas o a costras. Tales estructuras son conocidas con el nombre de líquenes. Mas al no presentar tallos, raíces, ni hojas como en las plantas, su cuerpo se denomina *talo*.

Curiosamente, en realidad un líquen no es una entidad biológica única e inconfundible como una lechuga, un pez o un perro, sino que se trata de dos individuos que difícilmente podrían vivir de manera independiente y, por lo tanto, sostienen una relación muy estrecha⁴ donde ambos resultan beneficiados.

Los organismos que conforman a un líquen son un hongo, denominado micobionte y un alga verdeazul, conocida como ficobionte.

Ahora bien, de las aproximadamente 75,000 especies de hongos que se han descrito hasta el día de hoy, se ha calculado que cerca del 20% se encuentran conformando líquenes, cuyos nombres se asignan basándose en el del hongo. De este modo, si el hongo constituyente es un Ascomiceto (lo cual sucede en la mayoría de los casos) se les llama Ascolíquenes, o bien Basidiolíquén, si se trata de un Basidiomiceto.

En realidad, un líquen está formado por varias capas, donde el hongo recubre por encima y por debajo al alga verdeazul que se encuentra protegida en la parte central. El hecho que estos dos organismos intercambien nutrimentos, compartan espacio y se reproduzcan juntos, les permite sobrevivir en sitios tan inhóspitos como la superficie de una roca desnuda, en zonas desérticas y hasta en las regiones árticas.

Los requerimientos nutritivos de los líquenes son mínimos, pues no necesitan ninguna fuente de alimento orgánico como los hongos y, a diferencia de las algas de vida libre, pueden permanecer vivos, aunque se desequen⁵. En esta asociación, el alga se encarga de producir los azúcares que se utilizan como fuente de energía, mientras que el hongo toma los minerales transportados por el viento o la lluvia que son necesarios para coexistir.

Las formas más comunes por la cuales los líquenes se dispersan en el ambiente son dos: por fragmentación, cuando el líquen se rompe y los trozos libres pueden colonizar otra parte de la corteza o de la roca; o mediante la formación de "semillas" (llamadas propágulos) que

⁴ Tal vínculo recibe el nombre de mutualismo simbiótico o simbiosis.

⁵ Por lo general, sólo necesitan algo de luz, aire, un poco de agua y algunos minerales para sobrevivir.

contienen tanto al alga como al hongo en un estado inicial o primigenio. Además, los líquenes también pueden formarse por la captura de un alga por parte de las hifas del hongo.

Aunque los restos fósiles de líquenes son raros y tienen una edad calculada en 600 ó más millones de años, se ha determinado que se trata de hifas de hongos asociadas con algas marinas. Mas si en aquel tiempo las plantas vasculares aún no habían evolucionado junto con los hongos (sus micobiontes) en la superficie terrestre, entonces resulta aceptable la proposición donde se infiere que los líquenes son más antiguos que los hongos micorrízicos.

Entre los mecanismos evolutivos desarrollados por los líquenes destaca su capacidad para absorber en un instante las sustancias disueltas en el agua de lluvia y por esa razón son muy vulnerables a los compuestos tóxicos disueltos en ella. Así, la presencia o ausencia de líquenes en un determinado sitio es un útil indicador de la contaminación.

Así, los líquenes pueden ser utilizados como bioindicadores de lluvia ácida, contaminación por metales pesados y derrame de hidrocarburos, entre otros factores. Incluso se evalúa su posible empleo para disminuir las elevadas concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) en la atmósfera de las grandes ciudades, pues se ha comprobado su capacidad y versatilidad para disminuir el daño que éste provoca en las concentraciones urbanas⁶.

Entre los acontecimientos ecológicos más apasionantes bien vale la pena destacar que los líquenes fueron aprovechados como indicadores para registrar la extensión del desastre nuclear de Chernobil ocurrido en 1986, especialmente en la región ártica, ya que éstos tienden a concentrar elementos radiactivos liberados en el ambiente⁷ y arrastrados por las corrientes de aire alrededor del mundo.

Socios de las hormigas

En ciertas épocas del año, principalmente en primavera, verano e inicios de otoño, a menudo se observan grandes filas de hormigas arrieras que acarrean trozos de hojas a su hormiguero⁸ para preparar un medio nutritivo sobre el que cultivan hongos que serán utilizados para su alimentación.

La relación entre los hongos y las hormigas refiere a un mutualismo ancestral y altamente evolucionado que ha sido utilizado como un sistema modelo en los estudios de simbiosis. Así, estas hormigas fungívoras (comedoras de hongos), por lo general, no consumen todo el micelio de los hongos "cultivados", sino que prefieren a los gongilidios, unas estructuras especializadas (hifas modificadas) ricas en azúcares y grasas.

⁶ El SO₂ es uno de los principales contaminantes (componente de la lluvia ácida) que afecta a los seres vivos y a la salud pública en todo el mundo.

⁷ Sobre todo el cesio, que es y seguirá siendo por mucho tiempo el elemento más preocupante en lo que respecta a la salud humana. Como ejemplo baste mencionar que su tasa de transferencia a la carne de reno (*Rangifer tarandus*) ha obligado a los gobiernos de Finlandia, Noruega, Rusia y Suecia a imponer restricciones a su caza y consumo.

⁸ Se ha calculado que alrededor del 15% de los materiales recolectados en los bosques tropicales en América Central y América del Sur van a parar a los nidos de estas hormigas, conocidas expresamente como defoliadoras o cortadoras de hojas.

Dichos hongos pertenecen al grupo de los Basidiomicetos, el mismo al que pertenecen los champiñones y las amanitas. Sin embargo, se ha demostrado que, a diferencia de estos últimos, los que son cultivados por las hormigas ya han perdido la capacidad de formar estructuras de reproducción sexual.

De esta manera, lo interesante de dicha interacción se debe, entre otras cosas, a que grupos específicos de hormigas cultivan sólo tipos específicos de hongos, usualmente uno, el que utilizan como única fuente de alimento, es decir, son altamente especialistas y, por esa razón, muy vulnerables.

Como en cada colonia de hormigas la única que es capaz de reproducirse es la reina, es ella quien transfiere el hongo a la siguiente generación, llevando una pequeña bola de micelio durante el vuelo nupcial. El hongo, proveniente de la colonia parental, es guardado por la reina en una pequeña cavidad ubicada bajo su boca. Una vez que la hembra ha sido inseminada, cava una cámara, extrae el hongo y lo oculta en ella. Algunas especies forman nuevas colonias, bajo la hojarasca o rocas, debajo o en el interior de los troncos en descomposición o aun en los árboles vivos.

Mientras la sociedad humana pasó hace apenas unos miles de años de una vida nómada de cazadores-recolectores al sedentarismo, gracias al desarrollo de los cultivos, las hormigas lo han hecho desde hace varios millones de años.

En algún punto de la evolución, que se cree oscila entre 45 a 65 millones de años atrás, cierto grupo de hormigas comenzó a cultivar hongos. Dicha habilidad apareció en un grupo al que se le denomina actualmente *Atini*. Como se distribuyen exclusivamente en América, diversas investigaciones indican que el origen y la subsiguiente diversificación de estas hormigas tuvo que haber ocurrido después de la separación entre Sudamérica y África.

Así, las 210 especies de hormigas donde la reina, las larvas y, de manera parcial, los adultos son consideradas fungívoras obligadas a depender del cultivo de hongos para sobrevivir; sin embargo, se les separa en dos grandes grupos: las *Atini* "inferiores" y las *Atini* "superiores" debido a sus características morfológicas y el tipo de nutrimentos que proporcionan a los distintos hongos que consumen dentro de sus nidos.

Los géneros de hormigas defoliadoras *Acromyrmex* y *Atta* tienen las características más avanzadas, como un mayor tamaño y una gran variedad de formas de las trabajadoras. Ello les permite coleccionar una mayor cantidad de hojas con respecto a las formas pequeñas y por eso se les ubica en el grupo de las *Atini* superiores.

Además, el tamaño de su colonia es más grande que el de las *Atinni* inferiores. Estas últimas alimentan a sus hongos con materia orgánica en descomposición, pasto seco o heces de insectos, y las hormigas trabajadoras son monomórficas, es decir, presentan un patrón morfológico prácticamente idéntico entre ellas.

Del mismo modo que los agricultores humanos defienden a sus cultivos de las plagas y las enfermedades, las hormigas deben disponer de ciertos mecanismos para proteger a sus invernaderos subterráneos. Recientemente se descubrió que en una región específica de la cutícula (superficie corporal) de las hormigas, se encuentran bacterias de forma filamentosa que, cuando crecen, se pueden observar como una gran madeja de hilo enredado. Ellas pertenecen al grupo de los actinomicetos y se ha propuesto que su función consiste en proteger a los hongos cultivados del ataque de microorganismos patógenos.

Tales bacterias producen una serie de antibióticos que, de hecho, también han sido utilizadas por el hombre, gracias a que actúan como agentes bacterianos y antimicóticos⁹.

Dichos organismos seguramente han coevolucionado (evolucionado de manera conjunta), lo que significa que a lo largo de millones de años se han vuelto interdependientes. En todas las hormigas criadoras de hongos, estudiadas hasta la fecha, se han encontrado bacterias filamentosas. Por lo visto, a diferencia de otras relaciones simbióticas, donde la asociación usualmente se da entre dos organismos, en la asociación hormiga-hongo hay un tercer socio: el actinomiceto.

Más allá de la desconfianza, hagámoslos nuestros socios

La desconfianza hacia los hongos permanece hasta nuestros días. Durante las primeras explosiones atómicas, acontecidas en la primera mitad del siglo XX, una gran nube radioactiva fue la marca característica de las bombas nucleares. Lo curioso es que su forma pudo ser relacionada con un árbol, una medusa o con muchos otros organismos similares y haber sido bautizada como el "árbol atómico" o la "medusa atómica". Pero, lamentablemente, quien lo hizo prefirió el ominoso nombre de "hongo atómico", sugiriendo el peligro y hasta la maldad con que se suele asociar a tales organismos.

No obstante, son tantos los beneficios que se obtienen de los hongos que es injusto asumir posiciones extremas de micofilia o de micofobia. En consecuencia, es hora de darles el lugar que les corresponde en la naturaleza: Respetarlos como rivales y aprovecharlos como aliados.

⁹ Muchos de estos antibióticos son derivados de un organismo perteneciente al género *Streptomyces*, justamente aquél que se halla en las hormigas micófagas.

Para el lector interesado:

Fericgla, J.M. (1994). El hongo y la génesis de las culturas. Duendes y gnomos: Ámbitos culturales forjados por el consumo de la seta enteógena *Amanita muscaria*. España: Editorial Liebre de Marzo. 221 p.

Fericgla, J.M. (2000). Los chamanismos a revisión: De la vía del éxtasis a Internet. España: Editorial Kairos 248 p.

Furst, P.T. (1980). Alucinógenos y cultura. México: Fondo de Cultura Económica. 341 p.

Pech C., J. (2003). Volviendo a una tradición cosmogónica. Desacatos, 11, 185-189.

Hongos comestibles en México, una industria en crecimiento

Gerardo Mata, Rigoberto Gaitán-Hernández y Dulce Salmones¹

México, pueblo micófago

El consumo de los hongos comestibles en México es una tradición que se remonta a tiempos prehispánicos y que en la actualidad aún se mantiene viva. Los hongos silvestres no sólo fueron para los antiguos pobladores de México una importante fuente alimenticia, sino que ciertas especies (como los hongos alucinógenos) se utilizaron en sus rituales sagrados.

En este sentido, se debe destacar que es en el centro de nuestro país, sobre todo en los lugares de clima templado, en donde el consumo de los hongos silvestres es más intenso. La diversidad de colores, formas y texturas es remarcable en los mercados populares durante la época de lluvias, cuando los hongos brindan además de un manjar para el paladar, un agasajo para la vista.

Hasta el día de hoy, en todo el territorio nacional, se tiene registro del consumo de más de 200 especies de hongos, de los cuales la mayor parte son reconocidos por nombres que hacen alusión a alguna de sus características morfológicas. Así, se encuentran “clavitos”, “elotitos”, “panalitos”, “panzas”, “escobetas”, “trompas”, “enchilados”, “azulitos” e incluso muchas de las especies comercializadas popularmente mantienen sus nombres en lengua indígena como los “tecomates”, “tzensos”, “huitlacoche”, “totolcoxcatl”, etc.

No obstante, y si bien las evidencias demuestran que México es un pueblo “micófago” (comedor de hongos), existe la preocupación de que esta tradición se erosione -como muchas otras- con la llamada modernidad, pues la venta de hongos silvestres también es cada vez una actividad menos frecuente, debido a que cada día es más difícil recolectarlos por la intensa deforestación y destrucción de sus hábitats.

¹ Unidad de Micología, Instituto de Ecología, A.C. Antigua carretera a Coatepec No. 351 (km. 2.5). Congregación El Haya, C.P. 91070. Xalapa, Veracruz, México. Correos electrónicos: mata@ecologia.edu.mx; gaitan@ecologia.edu.mx; dulce@ecologia.edu.mx

Los inicios de una industria prometedora

A pesar de nuestros hábitos micófilos, el cultivo de hongos comestibles es una actividad más bien reciente que comenzó alrededor de 1930, a diferencia de países como China donde esta costumbre se encuentra asociada al cultivo empírico de algunas especies desde hace más de mil años.

En México los primeros cultivos se enfocaron a la producción de un hongo llamado champiñón, cuyo nombre científico es *Agaricus bisporus* (Figura 1), el cual en poco tiempo sería el protagonista de una industria floreciente.

El cultivo del champiñón en México se inició importando tecnología y materiales del extranjero; actualmente, los sistemas de producción, en su mayor parte, están basados en diseños originales en nuestro país, los cuales han funcionado con notable éxito. Este cultivo implica la fermentación o "compostaje" del sustrato (Figura 2), así como un tratamiento térmico para eliminar o reducir las poblaciones microbianas que se desarrollan durante el compostaje. El sustrato está compuesto básicamente de paja de distintos cereales (trigo, cebada, avena). Dicho sustrato se humedece y suplementa con elementos ricos en nitrógeno que favorecen la fermentación.



Figura 1. Champiñones frescos de primera calidad, listos para enviarse al mercado (Fotografía: Gerardo Mata).



Figura 2. Compostaje del sustrato para la producción de champiñones (Fotografía: Gerardo Mata).

Durante la fermentación o compostaje, etapa en la que se transforma la composición química del sustrato por la acción de microorganismos como bacterias y hongos, el sustrato se remueve periódicamente durante 3 a 4 semanas para permitir la obtención de un material homogéneo.

Al finalizar el compostaje, el sustrato recibe un tratamiento térmico con el cual se le confieren características bastante específicas e ideales para el crecimiento del champiñón.

A continuación, para “sembrar” el sustrato, es necesario desarrollar el micelio del hongo en semillas de centeno (micelio al que comúnmente se le denomina “inóculo”, “semilla” o “blanco”)². De esta manera, el sustrato y el inóculo son mezclados, lo que facilita el desarrollo del hongo, que se coloca en diferentes contenedores como camas metálicas, de madera, o bien, en bolsas de plástico.

En la actualidad su cultivo se realiza en invernaderos especiales bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y ventilación (Figura 3).

Como puede advertirse, el cultivo del champiñón no es sencillo ni tampoco, en sentido estricto, barato. En consecuencia, ello ha ocasionado que la producción de este hongo se encuentre centralizada en unas cuantas compañías, las cuales han logrado dominar el proceso e incluso innovar en la tecnificación del mismo (Figura 4).



Figura 3. Sala de cultivo industrial de champiñones (Fotografía: Gerardo Mata).



Figura 4. Cosecha de champiñones (Fotografía: Gerardo Mata).

² Aunque por lo general a los demás hongos se les produce en granos de gramíneas.

La producción de hoy

Al igual que en todo el mundo, en nuestro país la especie mayormente cultivada es *A. bisporus* (el champiñón), con sus variedades blanca y oscura³, aunque también se ha procurado el cultivo de especies del género *Pleurotus*, conocidas comercialmente como setas (Figuras 5 y 6) y el llamado shiitake (*Lentinula edodes*) (Figura 7)⁴.



Figura 5. Producción de setas variedad oscura en paja de cebada (Fotografía: Gerardo Mata).



Figura 6. Producción de setas variedad blanca en paja de cebada (Fotografía: Gerardo Mata).



Figura 7. Shiitake fresco, listo para enviar al mercado (Fotografía: Gerardo Mata).

México ocupa el vigésimo lugar en producción mundial de hongos comestibles, y el primero en Latinoamérica, con casi el 60% de la producción total que asciende a más de 38 mil toneladas y genera más de 15 mil empleos directos e indirectos, con operaciones comerciales superiores a los 73 millones de dólares.

³ Conocida en el mercado con el nombre de "portobello".

⁴ La producción comercial de champiñón y setas representa el 95% y 5%, respectivamente, mientras que la proporción de shiitake es tan solo del 0.1%.

Como productor de setas, a nivel internacional, México ocupa el vigésimo tercer lugar, mientras que en el Continente Americano es considerado el primer productor, alcanzando una cantidad estimada en 5 mil toneladas anuales; éstas se destinan, sobre todo a satisfacer el mercado interno y sólo una pequeña parte se exporta hacia Centro América.

La mayor producción de setas se genera a partir de cepas comerciales obtenidas en el extranjero, siendo las especies más aceptadas en el mercado nacional: *Pleurotus ostreatus* (setas de variedad oscura) y *P. pulmonarius* (setas de variedad clara).

La relación de la compra-venta de hongos cultivados en México y el extranjero se ha incrementado de manera irregular desde 1994. De esta manera, en el año 2000, se exportaron más de 1,600 toneladas, pero en 2001 la exportación fue tan solo de 345. En cambio, durante ese periodo las importaciones anuales de hongos comestibles, principalmente procesados, alcanzaron las 5,000 toneladas.

En el año 2003 se estimó que el consumo *per cápita* de hongos comestibles en México fue de 630 g, tendencia que desde entonces ha ido en aumento. Así, el cultivo de hongos comestibles en nuestro país ha tenido dos vertientes principales: La industrial y privada, y la rural-empresarial, emprendida por distintos grupos campesinos. En el presente existen más o menos 10 grandes productores de hongos comestibles y distintas organizaciones integradas por pequeños agricultores, cuyo número varía constantemente.

Los hongos como alimento para el hombre

Desde tiempos remotos, el hombre ha consumido hongos como alimento, los cuales eran muy apreciados por su agradable sabor y textura, incluso ciertas especies estaban reservadas para el deleite de la nobleza. De esta forma, en la antigua Roma, se consumía *Amanita caesarea* la cual, como su nombre lo indica, estaba dedicada al César.

Los hongos se han apreciado tanto por sus niveles de proteína (de excelente calidad) como por el número de aminoácidos esenciales (nueve); éstos son especialmente ricos en licina y leucina, estructuras que forman parte de las proteínas y que son imprescindibles en la función de los sistemas biológicos.

De esta manera, se considera que cada proceso de la vida depende de las proteínas, por ejemplo, algunas de éstas permiten el movimiento de los músculos, mientras que otras transportan a las grasas, impidiendo su acumulación en los canales por los cuales transitan; también existen aquellas que ayudan a la detección y posterior destrucción de agentes

patógenos. A partir de lo anterior, queda claro el papel vital que juegan las proteínas y el consumo de alimentos que las contienen.

En general, se acepta que la dieta de una tercera parte de la población mundial es deficiente en proteínas y, por esta razón, son diversos los grupos de investigación que han venido desarrollando gran cantidad de trabajos encaminados a la búsqueda de alternativas alimenticias, capaces de revertir esta situación.

Así, los hongos no sólo ocupan un lugar especial por su alto contenido proteínico, sino también son valorados porque su contenido de grasa total es relativamente bajo, contienen un alto porcentaje de ácidos grasos no saturados y también poseen cantidades considerables de fibra nutricionalmente valiosa, al igual que porciones relativamente altas de carbohidratos.

De hecho, los hongos comestibles, a menudo, son comparados con algunas verduras por su contenido de vitaminas. Entre ellas destacan el complejo B (niveles aceptables de B₁, B₂, B₁₂), la vitamina C o ácido ascórbico, la vitamina D⁵ y la niacina, así como el compuesto ácido pantoténico. De la misma forma, destaca la presencia de minerales como potasio, fósforo, sodio, calcio y hierro.

Por lo anterior, los hongos son un recurso alimentario muy prometedor, dadas sus cualidades fisiológicamente funcionales, así como por su potencialidad para el desarrollo de medicinas, productos farmacéuticos, suplementos dietéticos y bebidas saludables.

Los hongos medicinales

Algunas especies de hongos son bien conocidas por sus propiedades medicinales, con tal suerte que se ha reportado que ciertos hongos refuerzan el sistema inmunitario y ayudan a combatir el cáncer, las infecciones y enfermedades como la artritis reumatoide y el lupus; asimismo, se ha comprobado que su alto contenido de ácido glutámico y de potasio, entre otras funciones, ayudan a combatir las infecciones y a reducir la presión arterial, respectivamente.

A pesar de que existe un gran número de hongos con propiedades medicinales, sólo unos pocos han sido seriamente estudiados y utilizados, entre ellos el champiñón común y sus variedades oscura (Portabello) y el champiñón del sol (*Agaricus blazei*), el shiitake y las setas.

Al Portabello y al champiñón común se les ha encontrado selenio, el cual ayuda a prevenir el cáncer de próstata. Este compuesto interactúa con la vitamina E para neutralizar los radicales libres que dañan a las células.

⁵ Así como de alguno de sus precursores, como el ergosterol.

El champiñón del sol, hongo de origen brasileño, ha demostrado tener un importante efecto anticancerígeno, ya que entre otras cualidades presenta algunos compuestos que fortalecen el sistema inmunológico y reducen la glucosa en sangre.

En el shiitake y en las setas se han detectado la presencia de algunos compuestos que fortalecen el sistema inmunológico y que ayudan a reducir la concentración de colesterol en la sangre, así como algunos compuestos anticancerígenos.

Perspectivas

La diversidad de sustratos disponibles, sobre todo aquellos que son subproductos de la agricultura y de la actividad forestal, aunado a la variedad de climas en México, generan un abanico de posibilidades para el cultivo de diversas especies de hongos comestibles.

Paradójicamente las especies estudiadas en nuestro país con tales fines son realmente escasas. Además de los avances logrados con el champiñón y con las setas, se han realizado estudios con el shiitake y con el llamado hongo de la paja de arroz (*Volvariella volvacea*) (Figura 8); en menor escala, se ha investigado al hongo de invierno (*Flammulina velutipes*) y algunas especies de las llamadas orejas de ratón (*Auricularia* spp.) muy estimadas en la comida oriental y que en México se les importa de diferentes países asiáticos pese a que, con excepción del shiitake, todas crecen silvestres en nuestro país.



Figura 8. Hongo de la paja de arroz en diferentes estados de desarrollo (Fotografía: Gerardo Mata).

El shiitake ha sido cultivado de manera tradicional en troncos de encino y se produce sobre todo en China, Japón y Korea. Recientemente, su cultivo se ha extendido a varios países de

Europa y América, entre ellos, México. Si bien el cultivo moderno de esta especie se basa en la utilización de un sustrato constituido básicamente de aserrín de encino enriquecido con diferentes elementos, las cepas del shiitake no se adaptan con facilidad al cultivo en sustratos a base de paja de cereales.

Sin embargo, gracias al esfuerzo de investigación y a una minuciosa selección de cepas, ahora se le puede cultivar en paja de trigo o de cebada con resultados bastante alentadores (Figura 9). Así que la utilización de este tipo de sustratos, aunada a la posibilidad de comercializar al shiitake en seco, son elementos que pueden facilitar el aumento de la producción en México. Hoy en día, esta especie ocupa el tercer lugar entre las especies cultivadas en el mundo. En cuanto a su cultivo, bien puede desarrollarse en lugares con clima templado, pues su temperatura óptima de producción es de alrededor de 18 °C.



Figura 9. Shiitake cultivado en paja de trigo en México (Fotografía: Gerardo Mata).

Por otro lado, el hongo de la paja de arroz es una alternativa para las regiones tropicales, puesto que su temperatura óptima de crecimiento oscila entre 30 y 32 °C. Esta especie puede crecer en sustratos como el bagazo de la caña de azúcar, desechos de algodón y restos del cultivo del plátano. Una de las ventajas que presenta es su ciclo de cultivo, ya que la producción puede obtenerse apenas 10 días después de la siembra. Sin embargo, el producto se debe comercializar en un estado juvenil conocido como "huevo" o "botón", lo cual obliga al productor a colocarlo de inmediato en el mercado. En México, el hongo de la paja de arroz se comercializa principalmente en los restaurantes de comida china y japonesa.

Aun cuando se ha avanzado en el estudio y la producción de algunas especies de hongos comestibles en México, tal parece que nos encontramos en los albores de una actividad que apenas comienza a rendir frutos. Todavía queda mucho por hacer en el estudio de estos organismos, sobre todo en la identificación, reproducción e introducción de variedades bien adaptadas a las condiciones locales, así como en la selección de sustratos disponibles en diferentes regiones, con el fin de incrementar la eficiencia y la productividad de los sistemas agrícolas.

En cuanto a los hongos medicinales se refiere, los avances son todavía menores; pero, con toda certeza, en años venideros se tendrá la oportunidad de observar el desarrollo de una industria extractiva de compuestos químicos, a partir de especies como el shiitake, las setas y, sobre todo, de especies con una milenaria tradición en la medicina popular como *Ganoderma lucidum*, hongo utilizado ampliamente en Asia para combatir problemas de cáncer.

Otro aspecto en el que será necesario profundizar, refiere al estudio de los hongos micorrízicos. Al respecto, vale la pena mencionar que las asociaciones simbióticas entre plantas y este tipo de hongos deben ser motivo de estudios detallados, con el fin de contribuir al conocimiento de la fisiología y ecología de las especies comestibles, sobre todo, porque ello permitirá proponer sistemas de manejo en los bosques que favorezcan la obtención de productos maderables, así como la colecta de hongos comestibles. De esta manera, se tendrá que revalorar la producción de especies de alto valor comercial como son los "tecomates" (*Amanita caesarea*), el "hongo blanco" (*Tricholoma magnivelare*) y las "panzas" (*Boletus edulis*), entre otras.

Como puede verse, el panorama en la investigación de los hongos comestibles en México es amplio; faltan muchas cosas por hacer y quedan aún muchos espacios por llenar. En los próximos años seguramente se presentarán retos y oportunidades para contribuir al incremento del conocimiento micológico, que sirva de apoyo a la industria nacional y que, a su vez, sea un factor que ayude a elevar el nivel de vida de los mexicanos. Esperamos que este trabajo sirva de motivación para que los jóvenes se asomen al "mágico mundo de los hongos".

Para el lector interesado:

Guzmán, G., Mata, G., Salmones, D., Soto, C. y Guzmán-Dávalos, L. (1993). El cultivo de los hongos comestibles; Con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales. México: IPN. 245 p.

Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez-Merlo, R., y Mata, G. (2002). Manual práctico del cultivo de setas: Aislamiento, siembra y producción. México: Instituto de Ecología. 56 p.

Miles, P.G., y Chang, S.T. (1999). Biología de las setas: Fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Santa Fe de Bogotá (Colombia): World Scientific. 206 p.

Sánchez, J.E., y Royse, D. (2001). La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México: ECOSUR/UTEHA. 290 p.

Los hongos en la producción de alimentos y bebidas

Mauricio Luna y Alejandro Salinas¹

La obtención de alimentos, mediante procesos de fermentación microbiana, ha sido utilizada desde la antigüedad y cada cultura ha aportado parte de su conocimiento para el desarrollo de la industria alimentaria actual. Aunque, sin lugar a dudas, el grupo de microorganismos más utilizado con estos propósitos son las bacterias, existen algunas especies de hongos cuyo particular mecanismo fisiológico ha sido empleado para la preparación de alimentos que han dejado de ser propios de una determinada región geográfica y se les ha comenzado a elaborar en casi todo el mundo.

Los vegetales, cereales y leguminosas son comúnmente el grupo de alimentos base para la obtención de productos de fermentación, mediante la acción de mohos y levaduras, quienes al desdoblar los carbohidratos a formas más simples, dan como resultado la obtención de alcohol y ácido láctico, en tanto que las proteínas también son desdobladas a péptidos y aminoácidos, incrementando así el valor nutritivo para el consumo humano.

Son varias las especies del género *Aspergillus* que han sido usadas por el hombre para la producción de alimentos fermentados: *A. niger* es utilizado en Japón y China para la fermentación de soya y arroz, con lo cual se obtiene una pasta densa llamada *miso*, que es comida de forma directa o empleada en la preparación de aderezos. Por su parte, *A. oryzae* y *A. sojae* son empleados para la obtención de la muy conocida salsa de soya; líquido salado de color oscuro y de aroma característico que se consume con los platillos orientales, donde la materia prima fermentable es la soya y el trigo. Actualmente, *A. niger* es empleado a nivel industrial para la producción de ácido cítrico, utilizado para la elaboración de refrescos de cola.

¹ Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (LATEX), Calle Médicos 5, Col. Unidad del Bosque. CP 91010, Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: mluna@uv.mx

Rhizopus oligosporus es usado en la producción del *tempeh*, un alimento hecho a partir de soya cocinada y fermentada, que se incluye en la dieta de la población de Indonesia, cuyo valor nutricional es dado por su alto contenido de proteínas y vitaminas del grupo B. Del mismo modo, en China y Vietnam se obtiene el denominado *sufu*, un manjar con apariencia de queso blando que se prepara a partir de una cuajada de leche de soya, en cuyo proceso de fermentación se ha identificado la participación de *Actinomucor elegans*, *A. repens*, *A. taiwanensis*, *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. racemosus* y *Rhizopus microsporus* var. *Microsporus*.

El arroz también es fermentado por los pobladores de la India, pero en este caso se utilizan las levaduras *Hansenula anomala*, *Candida guilliermondii* y *Geotrichum candidum*, por medio de las cuales se obtiene un líquido sazonzador de verduras llamado *torani*.

Al hablar de fermentación con levaduras, no se puede dejar de mencionar a la reconocida *Saccharomyces cerevisiae*, que es una de las responsables de la producción de vinos y cervezas. Los vinos son obtenidos de la fermentación de la uva, de donde las levaduras, asociadas de forma natural o adicionada, utilizan los azúcares y otros constituyentes, convirtiéndolos en etanol, bióxido de carbono y distintos productos que finalmente darán las características químicas y de calidad del vino.

Sin embargo, *S. cerevisiae* no trabaja sola, pues es antecedida por otras levaduras de bajo poder fermentativo, como *Kloeckera apiculata*, que son las iniciadoras de este proceso y que darán la pauta al desarrollo sucesivo de otras especies, tales como *S. cerevisiae*, *S. pastorianus*, *S. oviformis* y *S. bayanus*, entre otras, como consecuencia de la competencia por el sustrato y el grado de tolerancia al alcohol. De hecho, la sucesión de razas o de especies de levaduras es esencial para el desarrollo de las propiedades del vino.

México no es la excepción en el aprovechamiento de la fermentación para la obtención de alimentos y muestra de ello es la masa de maíz fermentado llamada pozol que se consume disuelta en agua por los habitantes del sur y sureste de nuestro país. Si bien se ha encontrado que en la microbiota del pozol prevalecen bacterias ácido lácticas, además se han asociado mohos y levaduras de las especies *Geotrichum candidum*, *Trichosporon cutaneum*, *Hansenula fabiani*, *Kluveromyces fragilis*, *Candida guilliermondii*, *C. parapsilosis*, *C. tropicalis* y *Saccharomyces cerevisiae*.

En general, en la mayoría de las bebidas fermentadas típicas de América Latina referidas a continuación (Cuadro 1), es un hecho destacado por investigadores en la materia, la

actividad de algunas de las especies de levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Hansenula*, *Kloeckera* y *Candida*.

Cuadro 1. Productos fermentados a partir de cereales, consumidos en Latinoamérica.

Producto	Descripción	País
Abati	Bebida alcohólica	Paraguay, Argentina
Acupe	Bebida de maíz germinado, fermentado y endulzado	Venezuela
Agua-agria	Bebida no alcohólica de maíz y agua	México
Arroz requemado	Arroz fermentado	Ecuador
Atole	Potaje no alcohólico de masa de maíz	México
Atole agrio	Potaje no alcohólico de masa de maíz negro, fermentado durante 4 ó 5 días	México
Cachiri	Bebida de maíz fermentado	Brasil
Champuz	Bebida de maíz fermentado o arroz	Colombia, Perú
Chica	Bebida alcohólica de piña, cebada y masa de maíz negro	México
Charagua	Bebida alcohólica de pulque, chile y maíz tostado	México
Fubá	Granos de maíz germinados y fermentados en agua	Brasil
Jamin -bang	Pan de maíz fermentado y cocinado	Brasil
Napú	Bebida de maíz germinado y fermentado	Perú
Ostoche	Bebida alcohólica de maíz y pulque o azúcar morena	México
Quebranta huesos	Bebida alcohólica de maíz tostado y frutos de pirul	México
Sendechó	Bebida alcohólica de maíz y chile parecida a la cerveza	México
Sora	Bebida alcohólica de maíz germinado, molido, cocinado y fermentado	Perú
Tepache	Bebida alcohólica de maíz, azúcar morena y agua	México
Tesgüino	Bebida alcohólica de maíz germinado, molido y cocinado, adicionado con plantas que sirven como fuente de enzimas	México
Tocos	Postre de maíz fermentado durante 2 a 3 meses	Perú
Zarzaparrilla	Bebida alcohólica de maíz y corteza de zarzaparrilla	México
Zambumbia	Bebida alcohólica de cebada endulzada con azúcar morena	México

Fuente: Lorence-Quiñones *et al.* (1999). Cereal fermentations in Latin American Countries. En: N.F. Haard, S.A. Odufa, C.-H. Lee, R. Quintero-Ramírez, A. Lorence-Quiñones, y C. Wachter-Radarte. *Fermented Cereals: A global perspective* (Capítulo no. 4). Rome (Italy): FAO. (Agricultural Services Bulletin No. 138).

Ahora bien, no sólo los vegetales son base para la obtención de alimentos fermentados por la actividad de hongos. Al respecto, vale la pena mencionar que el *kefir* es producto de una fermentación doble de la leche, donde la fermentación láctica es llevada a cabo por bacterias lácticas y la fermentación alcohólica por levaduras de las especies *Saccharomyces*

kefir, *S. exiguus*, *S. unisporus*, *Torulospora delbrueckii*, *Kluyveromyces marxians* y *Candida kefir*. De igual manera, en quesos, las especies de hongos más empleadas de forma industrial son *Geotrichum candidum*, *Penicillium camemberti* y *P. roqueforti*; este último, utilizado para la producción de quesos de pasta azul o Roquefort, madurados con mohos que, en su interior, llevan a cabo una actividad enzimática de proteínas (proteolítica) y de lípidos (lipolítica), dándole al queso un aroma y sabor típicos.

De esta manera, la utilización de actividad microbiana para la obtención de alimentos y bebidas, en el caso de hongos multicelulares y unicelulares, ocasiona varios beneficios derivados, al modificar algunas de las características esenciales del producto original (p. ej. cambios en sus cualidades nutritivas y sensoriales), otorgándole además un efecto preservativo contra microorganismos patógenos y deterioradores del material primario que, sin duda, amplía su vida de anaquel como alimento procesado.

Para el lector interesado:

Fernández E., E. (2000) Microbiología e inocuidad microbiana de los alimentos. México: Universidad Autónoma de Querétaro.

Lorence-Quiñones, A., Wachter-Rodarte, C., y Quintero-Ramírez, R. (1999). Cereal fermentations in Latin American Countries. En: N.F. Haard, S.A. Odunfa, C.-H. Lee, R. Quintero-Ramírez, A. Lorence-Quiñones, y C. Wachter-Rodarte (Eds.). Fermented cereals: A global perspective (Capítulo no. 4). Rome (Italy): FAO. (FAO Agricultural Services Bulletin no. 138).

Muntañola, M. (1998). Guía de los hongos microscópicos. España: Omega. 168 p.

Los hongos... ¿Alimentos milagrosos?

Jorge Manuel Suárez Medellín¹, Flor de Lucy Guadarrama Acosta¹

y Ángel Trigos^{2, 3}

A partir de las dos últimas décadas del siglo XX, la industria alimentaria mundial se ha visto enriquecida por una serie de productos a los cuales se les atribuyen determinados beneficios para la salud del consumidor, debido a la acción biológica de algunos de sus componentes.

Es importante mencionar que el desarrollo de dichos productos implica un cambio en los enfoques científicos y de mercado tradicionales, dado que han sido diseñados no solamente para cumplir con los estándares nutrimentales básicos, sino que además buscan proporcionar una amplia gama de efectos provechosos adicionales. A esta categoría de productos pertenecen los alimentos funcionales, los nutraceuticos y los complementos alimenticios, muchos de los cuales están elaborados a base de diversas especies de hongos.

Se ha propuesto el término **alimento funcional** para definir a aquel alimento del cual se ha demostrado, satisfactoriamente, que es capaz de afectar en forma positiva a una o más funciones del organismo más allá de la adecuada nutrición, de tal manera que su consumo incrementa la salud y el bienestar o reduce el riesgo de contraer alguna enfermedad, especialmente cáncer o trastornos cardiovasculares. Dicho concepto fue introducido en Japón a mediados de los años 80 del siglo pasado, donde este tipo de platillos recibieron el nombre de "Alimentos para el Uso Específico de la Salud" (FOSHU, por sus siglas en inglés).

A raíz del surgimiento de la comida FOSHU, se ha producido un cambio en la orientación tanto de la industria alimentaria como de la investigación básica relacionada, lo cual ha conducido a la posibilidad de modificar la composición de los productos alimenticios, reduciendo los niveles de sustancias indeseables, como el colesterol e incrementando al mismo

¹ Maestría en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Av. Dr. Rafael Sánchez Altamirano (antes Dos Vistas) km 3.5 Carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Las Ánimas, C.P. 91192. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: jorgejlmash@yahoo.com

² Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Av. Dr. Rafael Sánchez Altamirano (antes Dos Vistas) km 3.5 Carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Las Ánimas, C.P. 91192. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: a.trigos@yahoo.com

³ Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (LATEX), Calle Médicos 5, Col. Unidad del Bosque. CP 91010, Xalapa, Veracruz, México.

tiempo el contenido de sustancias con efectos positivos, por ejemplo, ciertos fitoquímicos que ayudan a reducir el riesgo de padecer cáncer.

Actualmente, este tipo de alimentos van ganando aceptación en el mercado en muchos países desarrollados, entre los cuales podemos mencionar a los de la Comunidad Europea, Estados Unidos de América (EUA), Canadá, Nueva Zelanda, China, Corea y, por supuesto, Japón.

En términos ordinarios, cuando se habla de alimentos funcionales nos referimos a:

- Alimentos convencionales que contienen sustancias bioactivas naturales.
- Productos que han sido enriquecidos con sustancias benéficas, o bien a los que se le han quitado componentes nocivos.
- Alimentos en los cuales la naturaleza de uno o más de sus componentes ha sido modificada.

En este sentido, parece factible considerar que los hongos comestibles son, en mayor o menor medida, alimentos funcionales, ya que todos ellos contienen de manera natural por lo menos una sustancia, la cual se le ha comprobado que posee propiedades biológicas provechosas: Ergosterol, uno de los principales componentes de la membrana celular de los hongos.

Al respecto, bien vale la pena señalar que diversos estudios han demostrado que el ergosterol y sus productos de oxidación pueden contribuir a una gran variedad de efectos benéficos potenciales para la salud humana, tales como reducción del dolor asociado a la inflamación, inhibición del crecimiento de tumores cancerosos y disminución en la incidencia de enfermedades cardiovasculares; ello se debe a que poseen una importante actividad antioxidante y antimicrobiana.

Además, y por si esto fuera poco, el ergosterol que se ingiere como parte de la dieta puede ser metabolizado en nuestro organismo para producir vitamina D, entre otros productos bioactivos, algunos de los cuales se cree que inhiben el crecimiento de tumores.

Independientemente de su contenido de ergosterol, se sabe que distintas especies de hongos comestibles, entre las que destacan algunos miembros de los géneros *Pleurotus* (setas u hongos ostra), *Agaricus* (champiñones, en particular *A. blazei*), *Lentinula* (hongo comestible conocido comúnmente con el nombre de shiitake) y *Grifola* (seta muy grande también llamada maitake), poseen diversos efectos fisiológicos como disminución del colesterol y el azúcar en la sangre, incremento en la actividad del sistema inmunológico e inhibición del crecimiento de tumores.

El shiitake (*Lentinula edodes*) es un ingrediente muy apreciado dentro de la gastronomía tradicional japonesa que, además de poseer cualidades antimicrobianas y antivirales en contra del virus de la inmunodeficiencia humana tipo 1 (VIH-1), produce polisacáridos que comúnmente estimulan al sistema inmunológico.

Por su parte, la seta *Pleurotus ostreatus* reduce el riesgo de aterosclerosis⁴, evita las mutaciones e inhibe el crecimiento de tumores, al igual que el champiñón común *Agaricus bisporus*. Finalmente, el maitake (*Grifola frondosa*), favorece la respuesta inmune, reduce la concentración de azúcar en sangre y presenta actividad antiinflamatoria. No obstante, entre otros muchos hongos con potencial como alimento funcional pueden mencionarse al oreja de judas (*Auricularia auricularia-judae*), *Agaricus brasiliensis* y los champiñones del sol (*A. blazei*).

En este contexto, vale la pena resaltar que un importante número de investigaciones, realizadas recientemente, se han dirigido a la búsqueda de nuevas sustancias naturales, capaces de mejorar el funcionamiento biológico de los seres humanos, escenario donde diversos grupos de hongos comestibles y/o medicinales son considerados como una fuente potencial de este tipo de compuestos; esto no resulta tan sorprendente dado que, a lo largo de la historia, los hongos han sido valorados como alimentos con un alto valor nutricional por muchas sociedades en el mundo. Además, una gran cantidad de hongos han sido utilizados en la medicina tradicional de distintas culturas desde la antigüedad. Así, el número de compuestos derivados de los hongos -ya sean componentes celulares primarios o metabolitos secundarios- que han demostrado favorecer al sistema inmune y, por lo tanto, pueden ser utilizados en el tratamiento de diversas enfermedades, crece día a día.

Sin embargo, conviene recordar que no todos los metabolitos producidos por dichos hongos tienen propiedades funcionales; inclusive algunos llegan a ser muy peligrosos. Al respecto, se ha reportado la presencia de hidracinas⁵, levemente tóxicas, y con efectos cancerígenos a largo plazo, tanto en el champiñón común (*Agaricus bisporus*) como en el shiitake japonés (*Lentinula edodes*). Afortunadamente, los compuestos nocivos citados se volatilizan durante la cocción, por ello, no se recomienda su ingesta en crudo.

Ahora bien, una característica importante que deben tener los alimentos funcionales para ser considerados como tales, es que han de ser precisamente alimentos, es decir, tendrán que consumirse como un platillo convencional de la dieta normal y no en forma de pastillas, cápsulas, tabletas o alguna otra presentación similar. En consecuencia, cuando los componentes biológicamente activos de un alimento son consumidos de este modo (por

⁴ Trastorno común de las arterias que ocurre cuando la grasa, el colesterol y otras sustancias se acumulan en sus paredes y forman placas (depósitos) que pueden dificultar el flujo de sangre en nuestro cuerpo.

⁵ Compuestos volátiles, similares a los combustibles utilizados en las naves espaciales.

ejemplo el ergosterol de un hongo), entonces se habla más de un nutraceutico, que de un alimento funcional.

Por otro lado, y de acuerdo con la opinión de Wasser *et al.* (2000), un hongo **nutraceutico** es la biomasa seca o el extracto refinado total o parcialmente del micelio y/o el cuerpo fructífero de un hongo, el cual es consumido en forma de cápsulas o tabletas (no como comida), considerándose un complemento alimenticio con posibles aplicaciones terapéuticas o preventivas. De esta manera, el concepto mencionado implica que su ingesta regular puede incrementar la respuesta inmunológica del cuerpo humano al aumentar gradualmente la resistencia a la enfermedad y, en algunos casos, provocar la regresión de un estado patológico.

Cabe señalar que ni los nutraceuticos, ni los complementos alimenticios son considerados medicamentos, en el sentido tradicional del término, ya que su enfoque es más bien preventivo que curativo. Por otra parte, aunque desde el punto de vista legal su fabricación y comercialización se rige por la normatividad aplicable a la industria alimentaria y no a la farmacéutica, en la práctica los límites entre un medicamento y un nutraceutico no siempre son muy claros.

De un total de casi 300 especies de hongos de las cuales se sabe a ciencia cierta que poseen cualidades medicinales, apenas 20 se destinan a la formulación de nutraceuticos; esto no significa que sean las únicas susceptibles de ser empleadas de este modo y, probablemente, el más importante sea el hongo Reishi (*Ganoderma lucidum*) por su contenido de sustancias bioactivas.

A pesar de tratarse de hongos, que por su consistencia semejante al corcho no son tradicionalmente comestibles, los miembros del género *Ganoderma* (en especial *G. lucidum*) constituyen una importante fuente de materia prima para la elaboración de nutraceuticos y bebidas funcionales a base de té verde, chocolate y café, con un mercado a nivel mundial estimado entre 5 y 6 billones de dólares, de los cuales 1.6 billones corresponden a su consumo en los EUA.

Este hongo, comercializado como Reishi o Ling-Zhi (dependiendo si su procedencia es japonesa o china, respectivamente), ha sido usualmente empleado como tratamiento de infinidad de dolencias, entre las que destacan el cáncer, la hipertensión, la hepatitis, el colesterol alto, la diabetes, la inmunodeficiencia, la aterosclerosis, las hemorroides, la fatiga crónica, el insomnio, los mareos producidos por neurastenia, la bronquitis y el asma; además, es un hongo que se considera promovedor de vitalidad y longevidad.

De hecho, su impresionante acción curativa se debe a la gran cantidad de compuestos bioactivos que en él se han encontrado. En términos generales, se consideran dos tipos de extractos de *G. lucidum*⁶ que presentan una importante actividad biológica: de naturaleza no polar y polar.

Dentro de la fracción no polar, se han aislado más de 130 triterpenoides altamente oxigenados y farmacológicamente activos del cuerpo fructífero, esporas y micelio de *G. lucidum*. Algunos de estos compuestos han demostrado inhibir el crecimiento de tumores; otros tienen efecto analgésico; actividad antiinflamatoria aún mayor que la mostrada por el ácido acetilsalicílico; actividad antihistamínica; efecto antimicrobiano; actividad en contra del VIH-1; e inhibición de la síntesis de colesterol y la agregación de plaquetas sanguíneas (efecto antiaterogénico).

Por otra parte, dentro de la fracción polar, se ha reportado que varios de los polisacáridos compuestos por glucosa, galactosa, fucosa y manosa (obtenidos a partir de cuerpos fructíferos de *G. lucidum*) poseen una potente actividad antitumoral. Además, en las esporas de este hongo se reconoce la presencia de un polisacárido con actividad inmunomodulatoria, que también exhibe propiedades antihepatotóxicas y de remoción de radicales libres, cualidad que tiene influencia en el ciclo celular y en la transducción de señales celulares, de tal forma que inhibe el crecimiento celular leucémico e induce la diferenciación de células leucémicas en monocitos/macrófagos.

Al mismo tiempo, podría inhibir la agregación de plaquetas sanguíneas e impedir las interacciones entre los virus y las membranas plasmáticas de la célula. Asimismo, recientemente se encontró que el extracto soluble en agua del micelio de *G. lucidum* cultivado disminuye, de manera significativa, la incidencia y el tamaño de los tumores cancerosos inducidos en el colon de ratones machos.

Bao *et al.* (2002) reportan la presencia de un polisacárido compuesto por D-glucosa (obtenido a partir del extracto acuoso de esporas de *G. lucidum*, conocido como PSGLI-1A) que estimula la producción de linfocitos T. Previamente, los mencionados autores habían reportado otro polisacárido, llamado PGL que, contrariamente a lo que se esperaba, se comprobó que suprime la proliferación de linfocitos T. Esto explicaría, en parte, el efecto del extracto acuoso de *G. lucidum* sobre el sistema inmunológico.

Por su parte, You y Lin (2002) señalan la presencia de un complejo polisacárido-proteína, conocido como GLPP, capaz de neutralizar el daño causado por las Especies Reactivas del Oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) en macrófagos de rata. El polisacárido del

⁶ Se ha demostrado que sus extractos acuosos son particularmente efectivos en la inhibición del crecimiento de sarcomas y que los extractos en disolventes poseen una marcada actividad en contra de la peroxidación de lípidos y para atrapar a los radicales libres hidroxilo y superóxido.

complejo está compuesto por ramnosa, xilosa, fructosa, galactosa y glucosa, unidos entre sí por enlaces B-glicosídicos.

Además, se ha descubierto la presencia de un péptido de bajo peso molecular (GLP) en el extracto acuoso de este hongo, el cual se cree que es el principal responsable de la actividad antioxidante de *G. lucidum*. En relación con el GLP, se ha demostrado que juega un papel importante en la inhibición de la peroxidación de lípidos en sistemas biológicos, debido a sus actividades como antioxidante, quelante de metales, y atrapador de radicales libres.

Esto último es particularmente importante, ya que el daño oxidativo causado por los radicales libres y otras ROS, puede estar relacionado con el envejecimiento y enfermedades tales como la aterosclerosis, cáncer y artritis reumatoide. Así, aunque el ser humano y otros organismos poseen defensas antioxidantes y sistemas de reparación que han evolucionado como una protección contra el proceso oxidativo, dichos sistemas son insuficientes para su prevención total. Es por eso que los antioxidantes (incluidos los nutraceuticos hechos a partir de *G. lucidum*) juegan un papel significativo en la dieta humana, como posibles agentes protectores para la reparación del deterioro oxidativo.

Finalmente, *G. lucidum* también produce ganoderano C, una proteína que reduce la concentración de azúcares en la sangre.

Aparte del polifacético *G. lucidum*, existen otros hongos del género *Ganoderma* que han demostrado poseer efectos benéficos para la salud humana, entre los que se pueden citar a *G. tsugae*, *G. applanatum*, *G. colossum*, *G. concinna*, *G. pfefferi* y *G. neo-japonicum*.

En México se ha reportado la presencia de 16 especies de *Ganoderma*, diez de las cuales se encuentran reportadas para el Estado de Veracruz, aunque muchas son consideradas como plaga forestal de importancia económica, razón por la cual sería fundamental llevar a cabo investigación enfocada a descubrir posibles aplicaciones en el campo de la formulación de alimentos funcionales, aprovechando no sólo los hongos de este género, sino la enorme diversidad fúngica de nuestro país, que en su gran mayoría permanece aún inexplorada.

Para el lector interesado:

Bandala V., Guzmán, G., y Montoya, L. (1993). Los hongos del grupo de los poliporáceos conocidos en México. Reporte Científico, no. especial 13, 1-55.

Bao, X., Fang, J., y Li, X. (2001). Structural characterization and immunomodulating activity of a complex glucan from spores of *Ganoderma lucidum*. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 65, 2384-2391.

Karmali, A. (2004). Desintoxicación –El rol de la nutrición con hongos. Mycology News, 1 (9), 7-8.

Lindequist, U., Niedermeyer, T.H.J., y Jülich, W.-D. (2005). The pharmacological potential of mushrooms. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2 (3), 285–299.

Roberfroid, M.B. (2000). Defining functional foods. En: G.R. Gibson y C.M. Williams (Eds.). Functional foods concept to product (pp. 9-26). U.K.: Woodhead Publishing Ltd.

Trigos A., Castellanos-Onorio, O., Salinas, A., y Yáñez-Morales, M.J. (2005). Ergosterol from *Phytophthora drechsleri*, a unusual metabolite of a member of this genus. Myocopathologia, 159 (3), 469-471.

Wasser S.P., Nevo, E., Sokolov, D., Reshetnikov, S., y Timor-Tismenetsky, M. (2000). Dietary supplements from medicinal mushrooms: Diversity of types and variety of regulations. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2, 1-19.

You Y.H., y Lin, Z.B. (2002). Protective effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharides peptide on injury of macrophages induced by reactive oxygen species. Acta Pharmacologica Sinense, 23, 787-791.

Zjawiony, J.K. (2004). Biologically active compounds from Aphyllophorales (Polypore) Fungi. Journal of Natural Products, 67, 300-310.

Hongos psicoactivos: La carne de los dioses

Jorge Manuel Suárez Medellín¹

La historia de los hongos, capaces de modificar la percepción de quien los consume, está plagada de emocionantes aventuras de magia, ciencia y religión, así como de sorprendentes descubrimientos que nos han permitido comprender algunos de nuestros más arraigados mitos culturales y, por tanto, a nosotros mismos. Es también –al igual que todas las historias que merecen ser contadas– una historia de amor y de odio. Durante las siguientes páginas intentaré dar una idea aproximada de las principales implicaciones de esta historia, aunque me temo que mis palabras puedan parecer demasiado pálidas y sin gracia, a la luz de un tema lleno de maravillas.

A pesar de que el consumo de hongos psicoactivos es tan antiguo como la humanidad misma, en lo que respecta a la cultura occidental podríamos situar el principio de nuestro relato en la segunda década del siglo veinte, en el verano de 1927 para ser más exactos. Todo comenzó, como decía, con la historia de amor de una pareja de recién casados que disfrutaban de su luna de miel en las montañas Catskill de Nueva York. Él era un joven banquero de Montana que había estudiado periodismo; ella, una emigrante rusa egresada de la escuela de medicina. Ambos provenían de mundos diametralmente opuestos, tanto en lo cultural como en lo académico, pero el cariño mutuo hacía que sus diferencias fueran más bien complementarias.

Un día, al realizar un paseo por el bosque, la joven Valentina Pavlovna se entretuvo recolectando algunos hongos silvestres para preparar un guiso típico de su tierra natal. Al ver el atrevimiento de su flamante esposa, Robert Gordon Wasson le advirtió que si cocinaba esas setas –él como buen anglosajón las consideraba repugnantes y peligrosas– con toda seguridad no llegaría viva al día siguiente. Valentina se burló de la preocupación del pobre

¹ Maestría en Ciencias Alimentarias, Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. Av. Dr. Rafael Sánchez Altamirano (antes Dos Vistas) km 3.5 Carretera Xalapa–Las Trancas, Col. Industrial Las Ánimas, C.P. 91192. Xalapa, Veracruz, México. Correo electrónico: jorgejlmash@yahoo.com

Robert, que para entonces ya se sentía casi viudo, y no sólo cocinó los hongos, sino que también se los comió y hasta los encontró deliciosos.

Obviamente, las setas eran comestibles y Wasson pudo disfrutar de la compañía de su mujer durante otros treinta años más. Sin embargo, el incidente dejó una huella imborrable en la pareja: a partir de entonces dedicaron sus ratos de ocio a descubrir por qué algunas culturas, como la rusa, apreciaban a los hongos, mientras que otras, como la anglosajona, los consideraban repulsivos cuando no venenosos. Los Wasson denominaron al primer tipo de actitud micofilia y al segundo micofobia.

A través de una ardua labor de muchos años y siempre por su propia cuenta, el matrimonio Wasson fue recopilando toda la información disponible acerca del aprecio que los pueblos indoeuropeos y sus vecinos tenían hacia los hongos silvestres.

Buscaron alusiones a los hongos en mitos, leyendas, canciones, refranes, cuentos inspirados en el folklore, en el habla popular, en el arte y hasta en las escrituras sagradas. La idea, como el propio Gordon Wasson lo expresó muchos años después, no era estudiar en los libros lo que los especialistas supieran acerca de los hongos, sino lo que la gente del campo aprende sin necesidad de maestro desde su más tierna infancia. Poco a poco, este peculiar pasatiempo se fue transformando hasta dar origen a una disciplina con todas las de la ley: la etnomicología, es decir, el estudio científico de los usos y costumbres populares relacionados con los hongos.

Conforme se fueron adentrando más y más en el tema, los Wasson se atrevieron a proponer una hipótesis para responder por qué algunos pueblos como los griegos, celtas y anglosajones odiaban a los hongos, mientras que otros como los rusos y los catalanes los amaban. Según ellos, este hecho se podría explicar si en algún pasado remoto los antepasados de los pueblos indoeuropeos hubiesen adorado a los hongos, de tal suerte que en algunas culturas se había mantenido la actitud reverente del culto, mientras que en otras los tabúes que rodeaban a dicha devoción habían sobrevivido en forma de odio y temor hacia los hongos en general. La hipótesis era sin duda arriesgada, pero no carecía de atractivo.

Por otra parte, los Wasson no tenían al principio muy claro qué tipo de hongo podría haber despertado semejante adoración, capaz de dejar tan profunda huella durante tantos siglos. Los candidatos a ser considerados como el hongo sagrado responsable de la división entre culturas micófobas y micófilas no se hicieron esperar en dos climas y latitudes totalmente distintos.

Pero dejemos por un momento los estudios iniciados por R. G. Wasson y su esposa Valentina, y dirijamos nuestra atención unos cuatrocientos años atrás, a la época en que el violento choque entre la cosmovisión española y la indígena daba lugar al proceso de formación de lo que ahora conocemos como México.

Diversos cronistas de la conquista se sorprendían de que los habitantes originales de lo que entonces se llamaba la Nueva España consumían “hongos malos, que emborrachan también como el vino”. De acuerdo con el fraile Motolinía “A estos hongos llámanles en su lengua *teunamacatlth*, que quiere decir carne de Dios o del Demonio que ellos adoraban, y de la dicha manera, con aquel amargo manjar, a su cruel Dios los comulgaba”². Como era de esperarse, los representantes de la iglesia católica consideraron el culto del *teunamacatlth* o *teonanácatl* una idolatría herética que intentaron erradicar a toda costa. Por cierto, estuvieron mucho más cerca de conseguir su objetivo que los modernos grupos antinarcóticos, así que durante varios siglos los únicos testimonios del uso de hongos psicoactivos en Mesoamérica fueron los escritos de los cronistas de la conquista y las figuras prehispánicas de piedra con forma de hongo³.

Tanto así, que en 1915 el respetado botánico W. E. Safford llegó a la conclusión de que los hongos *teonanácatl* jamás habían existido y que lo que los conquistadores habían supuesto como tales no eran otra cosa más que botones secos del cactus visionario *Lophophora williamsii* o peyote. Durante los siguientes veinte años, la opinión de Safford fue la más aceptada entre los especialistas, hasta que los etnobotánicos Blas Pablo Reko y Richard Evans Shultes, y el antropólogo Robert J. Weitlaner consiguieron algunos ejemplares de *teonanácatl* en Huautla de Jiménez, una remota aldea mazateca en el estado de Oaxaca, a partir de los cuales lograron definir que se trataba de un hongo. Sin embargo, muy poco se logró avanzar en su estudio, pues la investigación tuvo que ser suspendida debido a la Segunda Guerra Mundial. De esta forma, el culto al *teonanácatl* volvió a caer durante algún tiempo en el olvido académico.

Dicho culto no era el único caso de adoración de un hongo en el mundo, ya que se tenían noticias de que diversas tribus de la península de Kamchatka, en Siberia, conocían un hongo embriagante desde el siglo XVIII, denominado *mukhomor* o matamoscas, que era usado por sus chamanes para acceder a un estado exaltado de conciencia y “hablar con los dioses”. A diferencia de lo ocurrido con el *teonanácatl*, el hongo matamoscas no era utilizado nada más dentro de un contexto estrictamente ritual, sino que también se empleaba como droga lúdica, en forma análoga al alcohol etílico entre los pueblos de occidente.

² Citado por Ott, J. (1996). *Pharmacotheon; Drogas enteogénicas, sus fuentes vegetales y su historia*. España: Editorial Liebre de Marzo. 630 p.

³ Aunque algunos autores, como Guzmán, consideran discutible que los hongos de piedra estén directamente relacionados con el culto al *teonanácatl*. Al respecto, y para mayor información, véase Guzmán, G. (1984). El uso de los hongos en Mesoamérica. *Ciencia y Desarrollo*, 59, 17-27.

Este hongo fue identificado por los micólogos como *Amanita muscaria* y, según los especialistas, es el embriagante más antiguo usado por el ser humano, pudiéndose rastrear los orígenes de su consumo ¡hasta el año 6000 antes de nuestra era!

De acuerdo con relatos de los exploradores que se adentraron en la península de Kamchatka, el hongo matamoscas era tan apreciado por los lugareños que cada cuerpo fructífero podía alcanzar el mismo valor que un reno; además, éste era reciclable, ya que quien tuviera el ánimo de beber la orina de una persona que lo hubiese consumido, podría compartir parte de sus efectos. De hecho, por muy insólita que dicha práctica pueda parecernos, era algo común entre quienes no se podían dar el lujo de conseguir sus propias *Amanitas*.

Otro dato interesante es que *A. muscaria* es un hongo bastante conocido fuera de Siberia. Miembro de un género bastante ilustre (al que pertenecen tanto la deliciosa *A. caesarea*, como la mortal *A. phalloides*), es el típico hongo que aparece en las ilustraciones de los libros infantiles (o en las caricaturas de los pitufos); su sombrero es escamoso y de colores brillantes, por lo general, rojo o naranja y está recubierto de verrugas blancas; el pie es también escamoso y presenta color blanco; en la base es bulboso y posee un anillo en la parte superior.

Quienes lo han consumido señalan que puede producir macropsia (tendencia a ver los objetos más grandes de lo que son en realidad) o bien micropsia, el efecto contrario. Debido a lo anterior, se ha sugerido que tales propiedades pueden haber inspirado al famoso hongo de *Alicia en el país de las maravillas*, que tenía un lado donde hacía crecer y otro que hacía encogerse a quien lo comía.

Asimismo, *A. muscaria* es el hongo que a menudo representa a las setas venenosas en las culturas micófagas. Tantas características juntas no podían ser una simple casualidad y, obviamente, no pasaron inadvertidas para unos observadores tan dedicados como R. G. Wasson y su esposa, Valentina Pavlovna, quienes pese a sus inicios como aficionados en este tema, para la década de los cincuentas ya eran unos auténticos expertos.

Por supuesto que el hongo matamoscas (*A. muscaria*) figuraba como un candidato ideal para ser el hongo sagrado cuyo culto ancestral explicaría el origen, tanto de la micofilia como de la micofobia, y así se lo hicieron saber los Wasson al mundo en su primer libro *Mushrooms, Russia and History*, el cual vio la luz en 1957. Pero ese mismo año –que por lo visto fue particularmente productivo para la pareja de etnomicólogos– los Wasson tuvieron oportunidad de publicar otro texto fundamental en la historia del estudio de los

hongos sagrados: Un artículo, bellamente ilustrado, que apareció en la revista *Life* con el sugerente título En busca del hongo mágico, en el cual se daba a conocer finalmente al mundo occidental el escurridizo secreto del *teonanácatl*.

Después de que Reko, Shultes y Weitlaner tuvieron que interrumpir sus investigaciones por la guerra, parecía que el redescubrimiento académico de los hongos *teonanácatl* todavía tendría que esperar un buen rato, sobre todo, después de la muerte de Reko a principios de los cincuentas. Sin embargo, la casualidad (y por supuesto el trabajo arduo de Robert y Valentina Wasson) se encargaría de que esto no fuera así.

En 1952, los Wasson, en medio de su incansable búsqueda de referencias micológicas populares, se toparon en menos de una semana con un artículo que mencionaba el supuesto uso de hongos embriagantes en México y con un dibujo que representaba una de las piedras con forma de hongo procedentes de Mesoamérica. Intrigados por la evidencia, decidieron continuar sus investigaciones en nuestro país.

Finalmente, luego de múltiples preparativos, el 29 de junio de 1955, R. G. Wasson y el fotógrafo Allan Richardson pudieron recolectar en Huautla de Jiménez, Oaxaca, una cantidad suficiente de uno de los hongos *teonanácatl*, que sería identificado más tarde como *Psilocybe caerulescens*.

Ese mismo día, María Sabina, una curandera que después se convertiría en todo un ícono contracultural, permitió la entrada de Wasson y Richardson a una ceremonia tradicional de sanación, con lo cual se convertirían en los primeros no indígenas en probar los hongos sagrados. Unos días después, Valentina Wasson y Masha, su hija, también los ingerirían.

El artículo publicado en la revista *Life*, en el que se relataba la odisea de los Wasson, se convirtió de inmediato en un clásico, atrayendo la atención no sólo de los especialistas, sino también de un buen número de buscadores de nuevas experiencias, e incluso de la CIA, que a la sazón buscaba nuevas sustancias para utilizar como armas químicas no convencionales. Hoy en día es posible encontrar una transcripción del artículo original en la página de la Red Mundial <http://www.imaginaria.org/wasson/wasson.htm>⁴.

De la noche a la mañana, las tranquilas calles de Huautla de Jiménez se transformaron en la meca de toda clase de peregrinos, ávidos de probar el hongo embriagante recién redescubierto. De esta forma, la proliferación de falsos chamanes, convirtió en un simple artículo de consumo turístico lo que hasta entonces había sido uno de los secretos mejor guardados de México.

⁴ Vale la pena destacar que, a pesar de que R. G. Wasson se tomó la molestia de cambiarle el nombre a María Sabina por el ficticio de Eva Méndez, para proteger su identidad, la curandera se volvió tan popular dentro de la contracultura que en la actualidad –casi medio siglo después– es común encontrar su rostro impreso en playeras, pósters y todo tipo de parafernalia.

Pero no todo fue negativo, pues las investigaciones que Wasson realizó junto con el micólogo Roger Heim –quien por aquellos años era director del Museo Nacional de Historia Natural de Francia- con el tiempo, condujeron a la identificación de hasta veinte especies distintas de hongos psicoactivos, muchos de ellos pertenecientes al género *Psilocybe*, la mayoría desconocidas para la ciencia.

En 1958, el químico suizo Albert Hofmann, quien veinte años antes había sintetizado por vez primera el potente psicoactivo conocido como LSD a partir de un alcaloide presente en el cornezuelo del centeno (*Claviceps purpurea*), logró aislar los compuestos activos del *teonanácatl* que, desde entonces, recibieron el nombre de psilocibina y psilocina.

Posteriormente, y en un hecho sin precedentes en la historia de la química de productos naturales, el mismo Hofmann hizo un viaje a México en el que ofreció a María Sabina un frasco de psilocibina sintética, explicándole que contenía el “espíritu del hongo en forma de pastillas”. Por su parte, la curandera se mostró agradecida por el obsequio, ya que así podría ejercer su actividad incluso en temporada de sequía y confirmó que su efecto era exactamente el mismo que el del hongo completo.

Algunos años después, otro compuesto análogo a la psilocibina, la baeocistina procedente del *Psilocybe baeocystis*, pasó a engrosar las filas de sustancias con propiedades psicoactivas aisladas a partir de hongos *teonanácatl*. Actualmente, se conocen cerca de cien especies de hongos, capaces de producir psilocibina y/o psilocina, taxonómicamente agrupadas en 14 géneros, repartidos por todo el mundo.

Los efectos de la embriaguez ocasionada por hongos psicocínicos se caracterizan por la presencia de alteraciones visuales y auditivas, además de una profunda sinestesia (la percepción de sensaciones propias de un sentido en otro sentido diferente, como cuando “se ve la música”). Llama la atención el hecho de que, de acuerdo con los conocedores, los efectos de la psilocibina/psilocina son indistinguibles de los del LSD y la mescalina (el alcaloide presente en el cactus *Lophophora williamsii* o peyote), aunque de menor duración. Esta característica ha sugerido a los investigadores la posibilidad de que los mecanismos neurológicos de acción de los tres embriagantes sean similares.

En efecto, hoy se sabe que las drogas antes mencionadas actúan sobre los receptores del neurotransmisor serotonina localizados en la parte media del tallo cerebral, y que se conectan con prácticamente todo el sistema nervioso. Existen evidencias bioquímicas, electrofisiológicas y conductuales de que la serotonina participa en el control de los estados de sueño y vigilia, el ánimo, las emociones, el control de la temperatura corporal, la dieta, la conducta sexual,

algunos tipos de depresión, el comportamiento suicida y, por supuesto, la embriaguez producida por los hongos sagrados. En ese sentido, resulta sumamente interesante señalar la sorprendente similitud que existe entre la serotonina y, por ejemplo, la psilocina (Figura 1).

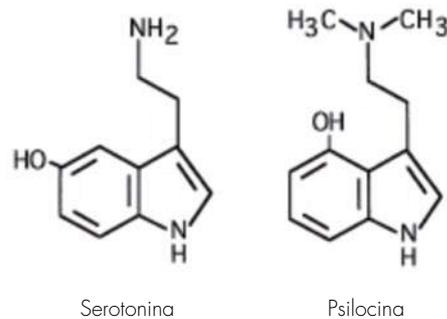


Figura 1. La afinidad estructural existente entre la serotonina y la psilocina determina que ambas sustancias se unan al mismo tipo de receptores neuronales, mas ello ocasiona los efectos psicoactivos de esta última.

En el caso de *Amanita muscaria*, el famoso hongo matamoscas siberiano, la historia del estudio de sus componentes activos ha sido un poco más tortuosa, a pesar de haber comenzado mucho antes. Ya desde 1869 se había obtenido a partir de dicho hongo una sustancia llamada muscarina⁵, la cual se creyó originalmente el principio activo de este macromiceto. No obstante, tuvo que pasar casi un siglo para que se descubriera que la muscarina no sólo no era la causante de las alteraciones de la percepción, características de la embriaguez reportada por los chamanes siberianos, sino que se encuentra en una proporción muy baja en *A. muscaria*. En la actualidad se sabe que la potencia psicoactiva de este hongo proviene del ácido iboténico y de su subproducto, el muscimol.

Lejos de provocar efectos psicoactivos, la intoxicación por muscarina produce síntomas característicos de acción sobre el sistema nervioso autónomo como salivación, lagrimeo y sudoración profusa. Sin embargo, y pese a que no es la responsable de la inclusión de *A. muscaria* en el selecto club de los hongos sagrados, la muscarina ha sido de gran ayuda en la investigación neurológica, donde se utiliza experimentalmente como estimulante de los receptores del neurotransmisor acetilcolina.

⁵ La muscarina no fue solamente el primer alcaloide tóxico obtenido a partir de *A. muscaria*, sino también el primero en ser aislado de un hongo.

En cuanto a la ingestión de ácido iboténico y/o muscimol, ésta provoca distorsiones visuales, espasmos musculares, pérdida del equilibrio y alteración de la percepción auditiva durante un lapso de tiempo que puede durar entre seis y ocho horas, dependiendo de la dosis, es decir, efectos similares a los reportados por las tribus siberianas.

En 1968, R. G. Wasson, quien para entonces había enviudado⁶ y se había retirado de su trabajo como banquero, publicó un libro llamado *Soma: Divine Mushroom of Immortality*. En dicho trabajo identificaba al soma, planta-dios de la antigua civilización Aria, con el hongo matamoscas, *Amanita muscaria*.

Los arios, una tribu que llegó del norte al Valle del Indo, alrededor del segundo milenio antes de nuestra era, escribieron una colección de himnos sagrados conocidos como Vedas que constituyen la base del moderno hinduismo. El primero de ellos, el *Rig Veda*, hace referencia al *soma*, que era al mismo tiempo un dios, una planta roja y carnosa, y la orina de un sacerdote que había ingerido la planta⁷.

Si recordamos la curiosa costumbre siberiana, referida con antelación, de beber la orina de los usuarios de *A. muscaria* y el color rojo del sombrero de este hongo, la conclusión de Wasson parece bastante factible. Lo más interesante es que, siendo los arios parte de los pueblos indoeuropeos originales, de ser cierta la teoría de Wasson, ésta confirmaría que el hongo matamoscas es el hongo cuyo culto ancestral originó la distinción entre culturas micofóbicas y micofílicas.

Así pues, resulta que la primer discusión del matrimonio Wasson durante su luna de miel, había sido ocasionada por una religión de casi cuatro mil años de antigüedad, por los metabolitos psicoactivos producidos por un grupo de hongos y, en última instancia, por las particularidades químicas y fisiológicas del cerebro humano. Sólo que, para entenderlo, fue necesario redescubrir (y popularizar) un culto ancestral que había sobrevivido en dos regiones tan disímolas y apartadas entre sí como son la estepa siberiana y la sierra oaxaqueña. Ustedes dirán si se trata o no de una historia maravillosa.

⁶ Pero por culpa del cáncer y no de la intoxicación por hongos venenosos, como había creído durante su luna de miel.

⁷ Es verdad que hoy sabemos que un hongo no es precisamente una planta, pero esto no invalida la interpretación de Wasson, ya que tradicionalmente se le había clasificado dentro del reino vegetal. La identificación de los hongos como vegetales ha llegado a tal punto que la mayoría de la gente todavía no sabe que los hongos constituyen un grupo de organismos independientes, distintos a plantas y animales.

Para el lector interesado:

Aghajanian, G.K., y Marek, G.J. (1999). Serotonin and allucinogens. *Neuropsychopharmacology*, 21, 16-23.

Brailowski, S. (1995). Las sustancias de los sueños. México: Fondo de Cultura Económica. 355 p.

Guzmán, G. (1984). El uso de los hongos en Mesoamérica. *Ciencia y Desarrollo*, 59, 17-27.

Hofmann, A. (1980). LSD my problem child. Obtenido en la Red Mundial el 15 de febrero de 2007. <http://www.psychedelicalibrary.org/child.htm>

Wasson, R.G. (1957). En busca del hongo mágico. Obtenido en la Red Mundial el 8 de enero de 2007. <http://www.imaginaria.org/wasson/wasson.htm>

La cadena de valor de los hongos comestibles en México¹

D. Martínez-Carrera, P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez²

Durante la última década, la globalización ha modificado de manera acelerada la economía mundial, así como prácticamente todas las facetas de la actividad humana. El análisis de estos procesos y transformaciones se ha concentrado en aquellos sectores industriales que se desarrollan a escala global (e.g. electrónica, automóviles, ropa-textiles, plásticos, medicinas), ocupando el sector primario un lugar secundario, aunque no de menor importancia.

Los enfoques de cadena de valor y red de producción han resultado bastante útiles para definir integralmente los actores fundamentales de cada sector, sus parámetros de proceso y producto, y tendencias de desarrollo. Entender el funcionamiento de la secuencia de actividades productivas que agregan valor hasta la utilización final de los productos, en un plano de organizacional y geográfico, es fundamental para el desarrollo socioeconómico de cualquier país en el siglo XXI.

En este documento se discute la importancia de la cadena de valor de los hongos comestibles silvestres y cultivados en el país, analizada y descrita desde el enfoque de sistema de producción-consumo (SPC-HC) propuesto por los autores.

Importancia de los hongos comestibles

Actualmente, la producción mundial de hongos comestibles cultivados, supera los 7 millones de toneladas (t) por año, cuyo valor económico aproximado sobrepasa los 30 billones de dólares. La tasa promedio de incremento anual en la producción de hongos frescos es superior al 11%.

¹ Síntesis de la conferencia presentada por el primer autor en la mesa redonda "Importancia de las investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas en la cadena producción-consumo de los hongos comestibles". Evento celebrado en el marco de la "1 Reunión Nacional sobre el Cultivo de *Pleurotus*", en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México (diciembre 2, 2005).

² Biotecnología de Hongos Comestibles. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), Campus Puebla. Puebla 72001, Puebla, México. Correo electrónico: dcarrera@colpos.mx

También se han descubierto notables propiedades medicinales (anticancerígenas, antibióticas, que reducen el nivel de colesterol y la hipertensión, antitrombóticas, antidiabéticas), lo cual ya brinda un impulso adicional al desarrollo de este campo.

Se ha estimado que se generan operaciones comerciales de alto valor agregado superiores a los 3.6 billones de dólares en los mercados internacionales de la industria alimenticia, farmacéutica, y de perfumería y cosméticos, observándose una creciente demanda en Europa, Norteamérica y Japón. A nivel mundial, el champiñón (*Agaricus*) es el hongo comestible más importante con un nivel de producción superior a los 2 millones de toneladas métricas anuales, seguido por el shiitake (*Lentinula*) con más de 1.5 millones de t, y las setas (*Pleurotus*) con alrededor de un millón de t. La importancia ecológica de esta actividad radica en la utilización y reciclaje acelerado de millones de toneladas de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales utilizados como sustrato de cultivo.

En el caso de los hongos comestibles silvestres, su explotación se lleva a cabo en diversas regiones boscosas del mundo; hasta ahora, se han registrado alrededor de 1,200 especies en más de 85 países. Cada año, se estima que se comercializan más de 200,000 t de hongos silvestres, cuyo valor económico supera los USD \$ 1.67 billones de dólares.

Tan sólo en España, alcanzan a comercializarse 1,200-4,000 kg de hongos silvestres por día, con precios al consumidor que oscilan entre 2-30 euros por kilo fresco de buena calidad, sobre todo en las regiones de Cataluña, Lugo, Cuenca, Soria y Palencia. Asimismo, la recolección y el consumo son más notables en China, Japón y Europa Oriental que en Norteamérica, Europa occidental, Mesoamérica y África.

En cuanto a las principales especies comercializadas a nivel mundial son: las trufas (*Tuber melanosporum*), el matsutake (*Tricholoma* spp.), boletos-cèpes-porcini (*Boletus* spp.), y cantarelos (*Cantharellus cibarius*). Aunque se han confirmado propiedades nutricionales y medicinales equivalentes a aquellas de las especies cultivadas arriba citadas, diversas investigaciones alertan sobre concentraciones relativamente altas en hongos comestibles silvestres contaminados con metales pesados (Hg, Cd, Ag, Pb, Cu, Ni) y en ciertas regiones con radiocesio (^{137}Cs).

La cadena de valor de los hongos comestibles

Se trata de una cadena de valor compleja, basada en procesos productivos primarios. La cadena de valor está integrada por la interacción simultánea de recursos naturales específicos, con sus formas de aprovechamiento o de establecimiento de procesos controlados, con los

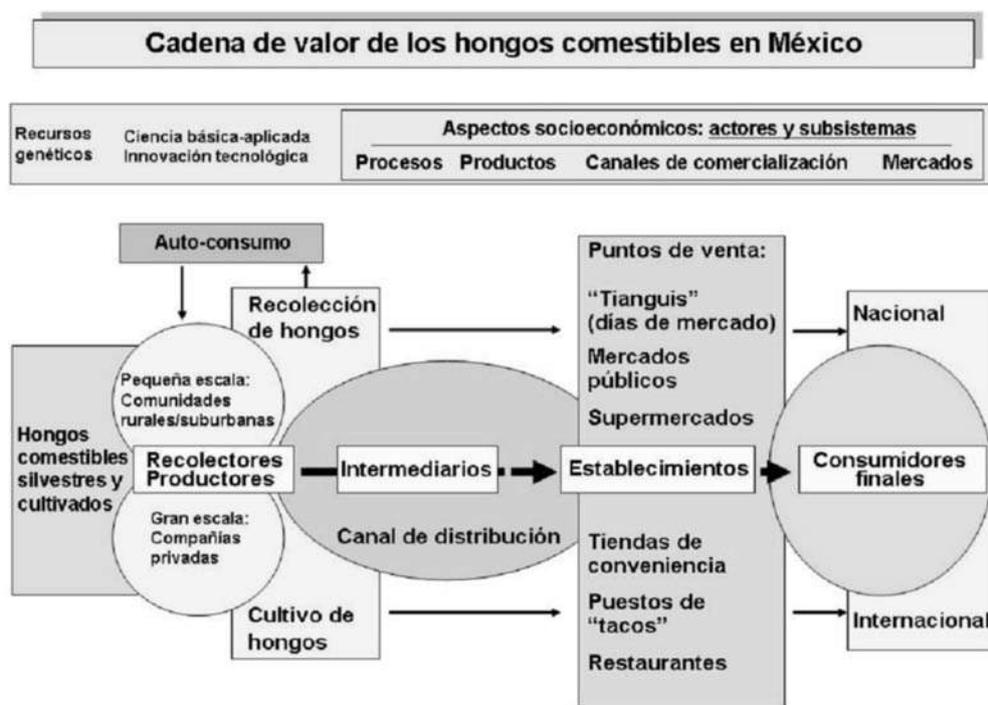


Figura 1. Diagrama general de la cadena de valor, desde la producción natural y comercial hasta los consumidores finales nacionales e internacionales.

La base de toda la cadena está formada por los recursos genéticos de hongos comestibles que sustentan la producción natural y comercial a pequeña y gran escala. Se entiende por recursos genéticos todos aquellos materiales, con valor real o potencial, que contienen unidades funcionales hereditarias y que provienen, en este caso, de los hongos comestibles.

El término considera tanto a los materiales que ya han sido descubiertos, como aquellos que aún están por descubrirse. Es importante mencionar que en las zonas rurales y suburbanas del país, tanto los recolectores como los productores de hongos comestibles a pequeña escala, destinan una parte de los productos obtenidos para el autoconsumo, generando un importante ingreso familiar no monetario. Los hongos comestibles, recolectados o cultivados, constituyen productos que pueden comercializarse a precios variables, a través del sistema de mercado.

Este sistema cuenta con diversos intermediarios y canales de distribución, así como con establecimientos o puntos de venta que permiten la adquisición de los productos por parte de los consumidores finales, tanto a nivel nacional como internacional. El nivel de competitividad de la cadena de valor está determinado por la retroalimentación procedente del conocimiento generado por las investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas, así como por la capacidad de innovación establecida en los procesos productivos, la distribución y la generación de nuevos productos, en respuesta a las demandas de un mercado cada vez más globalizado.

A continuación se describen diversos aspectos de la cadena de valor de los hongos comestibles en México. La mayor parte de la información disponible corresponde a los hongos comestibles cultivados, ya que los estudios sobre hongos comestibles silvestres son relativamente escasos.

a) Antecedentes históricos relevantes

La producción de hongos comestibles inició como una auténtica biotecnología tradicional, basada en técnicas sencillas de propagación, hace aproximadamente 1,000-1,400 años en China, con el cultivo empírico de las "orejas de ratón" (*Auricularia* spp.) y del "shiitake" [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler].

De la misma forma, aunque como proceso independiente, también comenzó en Francia, hace más o menos 350 años, con el cultivo del champiñón (*Agaricus* spp.). A través del tiempo, ha sido posible la incorporación y desarrollo de tecnologías que han mejorado sustancialmente la producción comercial a gran escala, no sólo de los hongos comestibles mencionados, sino también de otras especies potencialmente cultivables.

Actualmente pueden distinguirse dos grandes tendencias en la biotecnología de hongos comestibles a nivel mundial: 1) Biotecnología aplicada; 2) Biotecnología moderna. La biotecnología aplicada en hongos comestibles se ha derivado de las técnicas tradicionales, enriquecidas con innovaciones biológicas, mecánicas y experiencias locales, derivadas de un contexto social, económico y ecológico; en cambio, la biotecnología moderna se ha desarrollado y visto fortalecida con poderosas tecnologías que permiten el estudio y manipulación directa del material genético de los hongos comestibles, concretamente del ácido desoxiribonucleico (ADN).

En México, aunque con mucho menor grado de desarrollo, pueden identificarse las tendencias predominantes a nivel mundial. En el Cuadro 1 se aprecian los eventos históricos

Cuadro 1. Etapas históricas fundamentales de la biotecnología aplicada y moderna de los hongos comestibles en México.

Biotecnología	Procesos	Año	Lugar	Sectores involucrados	
Aplicada	Producción de inóculo, "semilla"	1954	Primer laboratorio, Cuajimalpa, D. F.	Privado: "Hongos de México, S.A."	
		1974	Segundo laboratorio, Guadalupe Victoria, México	Privado: "Hongos Leben, S.A."	
		1992	Primer laboratorio rural, Cuetzalan, Puebla	Académico-Social: CP-Cooperativa indígena [†]	
		1994	Desarrollo de microempresas en la región central del país	Privado y Social	
		1994	Establecimiento de la industria transnacional	Privado: Industria transnacional (<i>Amycel, Sylvania</i>)	
	Producción de hongos	1933	Primeros ensayos, Texcoco, México		
		1939	Primeras plantas productoras, D.F.		
		1949	Establecimiento de la empresa "Hongos de México, S.A.", Cuajimalpa, D.F.	Privado	
		1975	Establecimiento de la empresa "Hongos Leben, S.A.", Guadalupe Victoria, México	Privado	
		1989	Establecimiento de la producción rural de hongos, Cuetzalan, Puebla	Académico-Social: CP-Cooperativa indígena [†]	
		Procesamiento de hongos	1947	Salmuera doméstica de hongos, Azcapotzalco, D.F.	Privado
			1955	Primeros enlatados de hongos, Cuajimalpa, D.F.	Privado: "Monteblanco, S.A."
			1972	Enlatado comercial de hongos a gran escala, Cuajimalpa, D.F.	Privado: "Monteblanco, S.A."
	Productos de hongos	1996		Académico-Social: CP-Cooperativa indígena [†]	
		2005	Elaboración de cápsulas, extractos, suplementos alimenticios, jarabes, licores, y cremas. Veracruz y Michoacán	Privado: "Laboratorios Fungi Cap, S.A." y "Garcifer, S.A."	
Moderna	Conservación del germoplasma nativo	2003	Establecimiento del Centro sobre Recursos Genéticos de Hongos Comestibles	Académico: CP, <i>Campus Puebla</i> ^{††}	
	Caracterización del germoplasma nativo y mejoramiento genético	2003	Diversidad genética y mejoramiento genético mediante el uso de marcadores moleculares y caracterización de genes	Académico: CP, <i>Campus Puebla</i> ^{††}	

CP= Colegio de Postgraduados (COLPOS).

R= Referencias. 1: Martínez-Carrera *et al.*, 1991b. 2: Martínez-Carrera *et al.*, 1991a, 1993. 3: Martínez-Carrera *et al.*, 1998a. 4: Martínez-Carrera, 2000. 5: Martínez-Carrera, 2002a. 6: Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990. 7: Martínez-Carrera *et al.*, 1996. 8: Martínez-Carrera *et al.*, 1998b. 9: Martínez-Carrera *et al.*, 1999. 10: Morales y Thurston, 2003. 11: González, 2005. 12: Sobal *et al.*, 2007. 13: Morales *et al.*, 2007.

[†]CP, *Campus Puebla*, en colaboración con la Sociedad Cooperativa Agropecuaria "Tosepan Titataniske".

^{††}Financiamiento del CONACYT, a través de los proyectos: 1) 28985-B (1999-2000); 2) 0062 (1999); 3) 36085-B (2001-2004); y 4) 139163-B (2001-2003). También los siguientes apoyos complementarios: 1) International Foundation for Science (IFS E/1743-1, 1989-1990); y 2) Ingresos propios del Área de Investigación sobre Biotecnología de Hongos Comestibles, CP, *Campus Puebla* (1996-2005).

más relevantes de la biotecnología de producción de hongos comestibles en el país, así como aquellos sectores de la sociedad que los han impulsado.

La biotecnología aplicada cuenta con mayor desarrollo y ha dado lugar a la producción comercial de hongos comestibles, a pequeña o gran escala, por parte de los sectores privado y social. El sector privado lo ha hecho en mayor medida durante los últimos 70 años, mientras que el sector social inició recientemente apoyándose en el sector público, tanto académico como de programas de desarrollo gubernamentales. Se tienen experiencias exitosas en los estados de Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos, Veracruz, Jalisco, Yucatán, Guerrero, Oaxaca, Querétaro, y Chiapas.

En lo que se refiere a biotecnología moderna, ésta ha iniciado recientemente en el sector académico, aunque su impacto potencial en el largo plazo es también bastante prometedor, ya que se dispone de sistemas de transformación genética para el champiñón (*Agaricus*), las setas (*Pleurotus*) y el shiitake (*Lentinula*).

Debe resaltarse que México es el único país latinoamericano que cuenta con una importante red de grupos de investigación, los cuales trabajan en diversos aspectos básicos, aplicados y socioeconómicos relacionados con el cultivo de hongos comestibles; sin embargo, se trata de grupos relativamente jóvenes, formados a principios de los 80's, siendo todavía heterogéneos en formación académica, masa crítica de investigadores e infraestructura.

El impacto de sus estudios en el desarrollo del sector privado ha sido limitado, aunque a futuro su relevancia estratégica será mayor. Pueden mencionarse importantes investigaciones sobre el aislamiento de cepas mexicanas, caracterización del germoplasma, producción de enzimas, adaptación fisiológica, relaciones antagónicas entre hongos y mohos; la obtención de cepas acelulolíticas, cepas comerciales mejoradas genéticamente y desarrollos tecnológicos.

b) La situación actual

Producción nacional.

En este momento, la producción comercial de hongos comestibles cultivados es una actividad relevante. Se estima que los volúmenes de producción ascienden a más o menos 47,468 t anuales de hongos frescos (Figura 2), siendo nuestro país el mayor productor de Latinoamérica, con alrededor del 58.9% de la producción total, y el que ocupa el décimo sexto lugar en la producción a nivel mundial.

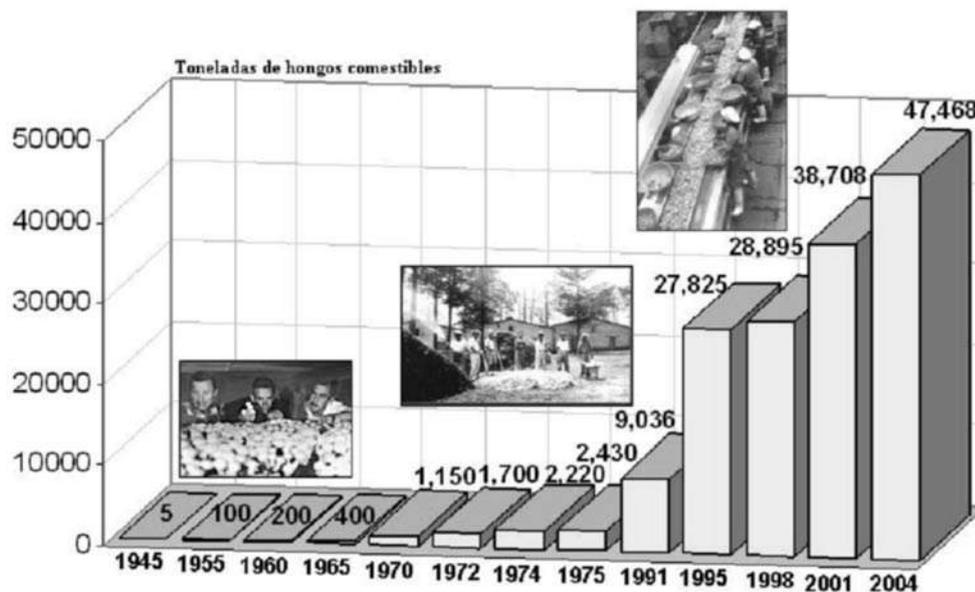


Figura 2. Evolución histórica y tendencias de la producción comercial estimada de hongos comestibles cultivados en México, durante el período 1945-2004 (Martínez-Carrera *et al.*, 1991b, 2007; Martínez-Carrera, 2000, 2002a).

El monto anual de las operaciones comerciales supera los USD \$ 200 millones de dólares, generando alrededor de 25 mil empleos directos e indirectos.

La importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de más de 474,000 t anuales de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales. Los hongos comestibles que se cultivan comercialmente en México son los champiñones (*Agaricus*), las setas (*Pleurotus*), el shiitake (*Lentinula*), el reishi (*Ganoderma*) y el maitake (*Grifola*), cuyos volúmenes y proporciones de producción anual se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Producción anual estimada de hongos comestibles cultivados comercialmente en México, incluyendo volúmenes y proporciones de producción para el 2005.

Nombre científico	Nombre comercial P	Producción nacional	
		Volumen (t)	Proporción (%)
<i>Agaricus bisporus</i> (J.E. Lange) Pilát	Champiñones	45,260.9	5.35
	Champiñón blanco 4	4,931.59	9.27
	Champiñón café	328.50	.73
<i>Pleurotus</i> spp.	Setas (blanca, gris, café)	2,190	4.62
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	Shiitake 1	8.2	
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.	Reishi	PC -	--
<i>Grifola frondosa</i> (Dicks.) Gray	Maitake P	C	---
Total		47,468.21	00

PC= Nivel de pruebas a escala comercial.

La mayor proporción (95.35%) corresponde a los champiñones: champiñón blanco, 44,931.5 t año⁻¹ y champiñón café, 328.5 t año⁻¹, seguida por las setas (4.62%, blanca, gris, café, con un total de 2,190 t año⁻¹) y el *shiitake*, 0.038%, con 18.2 t año⁻¹. En el caso del *reishi* y el *maitake* todavía no se tiene una producción consistente; por el momento, sólo se han registrado pruebas a escala comercial en el 2005. Comparativamente, en 2004, el volumen de producción de hongos comestibles en el país fue superior al de cacao (43,974 t año⁻¹), equivalente al de ajo (47,917 t año⁻¹), y un poco inferior al del chicharo (53,717 t año⁻¹), del tomate cherry (54,592 t año⁻¹), y de las hortalizas (62,487 t año⁻¹), como puede apreciarse en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Importancia comparativa de los hongos comestibles cultivados en México, en relación con los volúmenes de producción (t) de algunos productos agrícolas, convencionales y orgánicos, durante el período 1995-2004, de acuerdo con las estadísticas de SIACON (2005), SAGARPA.

Producto	Año		
	1995	2001	2004
Hortalizas 5	9,183	83,527.11	62,487.34
Hortalizas (orgánico)	-	113.87	7.5
Tomate cherry	5,761	28,589.05	54,592.17
Tomate cherry (orgánico)	-	4,487.93	683.5
Tomate rojo (jitomate orgánico)	-	-	3,800
Chicharo 3	9,894	48,014.78	53,717.33
Chicharo (orgánico)	-	385.17	336.25
Ajo	43,761.5	5,558.80	47,917.57
Ajo (orgánico)	-	206.75	106.99
Hongos comestibles cultivados 2	7,825	38,708.4	7,468
Cacao	49,425.4	6,737.65	43,974.52
Café cereza	1,725,960.1	645,821.86	1,665,406.18
Café cereza (orgánico)	-	-	31,571.36

También es relevante la comparación con los equivalentes orgánicos de estos productos, tales como el café cereza orgánico (31,571 t año⁻¹), ya que la importancia de la producción orgánica de hongos comestibles cultivados es cada día mayor, se desarrolla a un nivel más acelerado y representa una importante ventaja competitiva del producto a corto plazo. Sin embargo, esto sólo puede lograrse a través de certificaciones internacionales y del establecimiento de sistemas de control de calidad a nivel de producto, proceso y sistema de producción.

En el caso de los hongos comestibles silvestres, aunque no se cuenta con información estimada de los volúmenes totales de aprovechamiento a nivel nacional, se tienen datos sobre la recolección de 230.31 t de matsutake (*Tricholoma magnivelare*) para exportación durante el período 1989-2000 (Figura 3), cuyo valor económico superó los USD \$ 7.0 millones de dólares.



Figura 3. Aprovechamiento del hongo comestible silvestre denominado “matsutake” (*Tricholoma magnivelare*) en los mercados internacionales. a) Pesado de los cuerpos fructíferos recolectados en una comunidad zapoteca de Oaxaca, México. b) “Matsutake” seleccionado y listo para ser trasladado a la ciudad de México y exportado al sureste de Asia.

Comercio interior

La mayor parte de la producción, comercialización y consumo de los hongos, comestibles silvestres y cultivados, se lleva a cabo en la región central de México. El sistema de mercado de los hongos comestibles está poco desarrollado (Figura 4), considerando las actuales tendencias promovidas por la globalización hacia la especialización, diversificación empresarial, descentralización, integración, calidad e inocuidad alimentaria.

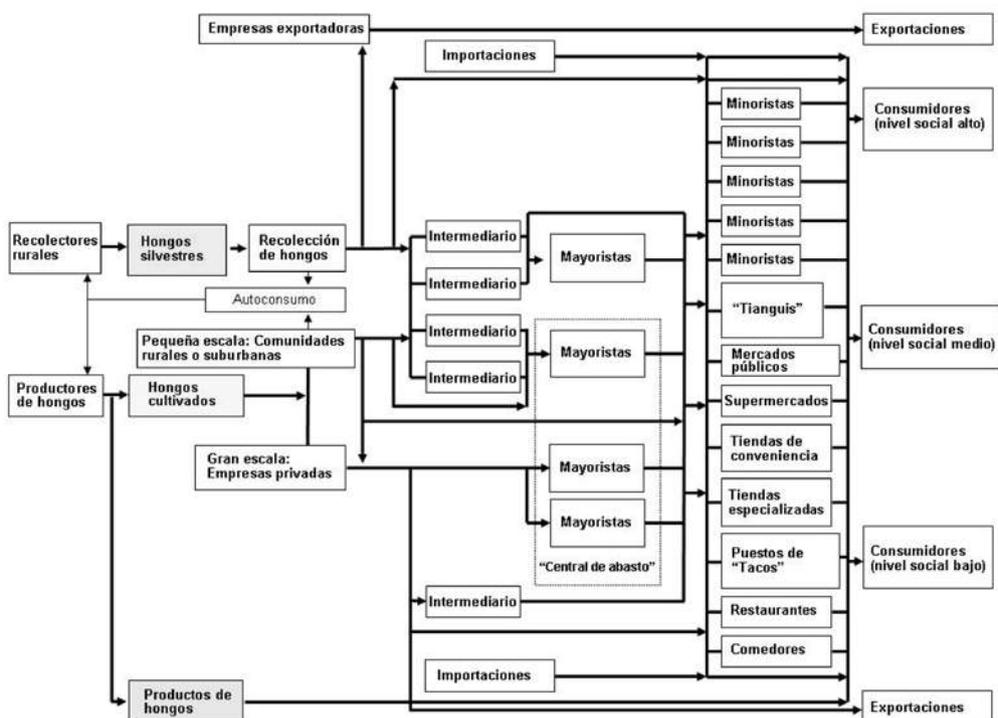


Figura 4. Principales canales de comercialización identificados en el sistema de mercado de los hongos comestibles, silvestres y cultivados, en México.

Existen canales de comercialización complejos y poco eficientes, caracterizados por intermediarios funcionales que carecen de organización, capacidad económica e infraestructura. A pesar de ello, los márgenes de comercialización (Cuadro 4) son todavía competitivos, en comparación con otros productos agrícolas registrándose un rango de 40-

46.6% en los hongos comestibles cultivados, lo cual es razonable para los productores, mayoristas y minoristas.

Cuadro 4. Márgenes de comercialización de los hongos comestibles silvestres y cultivados en México (Martínez-Carrera et al., 2002, 2005), en comparación con aquellos de otros productos agropecuarios y pesqueros registrados en el SIAP (2005, septiembre).

Producto	Origen	Precio promedio al productor MN/kg (USD \$/kg)	Precio promedio al mayoreo MN/kg (USD \$/kg)	Precio promedio al consumidor MN/kg (USD \$/kg)	Participación del productor en el precio final (%)
<u>Aguacate hass</u>	Michoacán	11.00 (1.01)	13.67 (1.26)	23.78 (2.20)	46
<u>Chile poblano</u>	Guanajuato	4.07 (0.37)	9.58 (0.88)	13.58 (1.25)	30
<u>Frijol claro</u>	Guanajuato	5.10 (0.47)	10.00 (0.92)	14.45 (1.33)	35
Hongos comestibles cultivados:	Región central	12.00 (1.25)	22.00 (2.29)	22.50 (2.34)	53.4-59.7
Canal con intermediarios		43.00 (3.97)	-	72.00 (6.65)	
Venta directa productor-minorista					
Hongos comestibles silvestres:	Región central	532.5 (49.36)	-	- (100-1,250) ^a	8.3-85
<i>Tricholoma magnivelare</i>		5.00 (0.52)	-	60.00 (6.25)	
<i>Helvella</i> spp.		30.00 (3.12)	-	35.00 (3.64)	
<i>Lactarius scrobiculatus</i>					
<u>Limón mexicano</u>	Michoacán	1.85 (0.17)	2.92 (0.27)	6.97 (0.64)	27
<u>Mango manila</u>	Guerrero	4.06 (0.37)	5.50 (0.50)	16.68 (1.54)	24
<u>Naranja</u>	Veracruz	2.10 (0.19)	3.53 (0.32)	5.85 (0.54)	36
<u>Papa alpha</u>	México	7.93 (0.73)	9.08 (0.84)	14.78 (1.36)	54
<u>Papaya maradol</u>	Chiapas	2.70 (0.25)	7.97 (0.73)	12.41 (1.15)	22
<u>Plátano tabasco</u>	Tabasco	1.06 (0.098)	2.83 (0.26)	6.52 (0.60)	16
<u>Tomate verde</u>	Guanajuato	3.50 (0.32)	5.88 (0.54)	11.94 (1.10)	29
<u>Zanahoria</u>	Guanajuato	1.07 (0.099)	3.92 (0.36)	8.90 (0.82)	12
<u>Leche de bovino</u> (Litro)	Región lagunera	3.73 (0.34)	4.50 (0.41)	8.46 (0.78)	44
<u>Carne en pie de bovino</u>	Veracruz	21.75 (2.01)	32.25 (2.98)	56.93 (5.27)	38
<u>Carne en pie de porcino</u>	Guanajuato	14.90 (1.38)	26.00 (2.40)	44.86 (4.15)	33
<u>Carne en canal de ave</u>	Guanajuato	19.38 (1.79)	28.26 (2.61)	32.46 (3.00)	60
<u>Huevo para plato</u>	Jalisco	7.33 (0.67)	9.01 (0.83)	11.32 (1.04)	65
<u>Robalo</u>	Tabasco	51.13 (4.73)	82.63 (7.65)	114.83 (10.64)	45

^a Rango de precio al consumidor de *T. magnivelare* exportado al mercado internacional (Japón). El margen de comercialización de esta especie, 49.3%, se estimó con base en un precio de venta de temporada alta de USD \$ 100.00.

En el caso de los hongos comestibles silvestres, los márgenes de comercialización son muy variables y elevados, con un rango de 15-91.7%, lo cual implica operaciones comerciales injustas para el recolector en la mayoría de los casos y falta de motivación para continuar

con la recolección, con la excepción de *Tricholoma magnivelare* que se recolecta para exportación.

El análisis integral del sistema de mercado indicó que la industria mexicana de hongos comestibles cultivados del sector privado, ha evolucionado de un sistema monopolístico (1949-1975) a un sistema oligopólico (1976-2005), caracterizado por: 1) Un número reducido de empresas que ofrecen los mismos productos o similares; 2) Empresas que tienen influencia importante en la generación de los precios; 3) La difícil entrada de nuevas empresas al sistema. Asimismo, las empresas se han involucrado directamente en la distribución de hongos frescos y procesados, añadiendo utilidades de lugar, tiempo y forma a los productos (enfriado, selección, empaçado, envasado, almacenaje, etiquetado, distribución, entrega). Existe la presencia de poder de mercado en el sistema, concentrado principalmente en: 1) La empresa Hongos de México, S.A., que genera el 45% de la producción comercial de champiñón; 2) La empresa Hongos Leben, S.A., que genera el 76% de la producción comercial de setas; y 3) La Central de Abastos, D.F., responsable de la comercialización de más o menos el 30% de la producción total de hongos comestibles cultivados.

En lo que respecta a la calidad y el precio de los hongos comestibles, estas variables son afectadas de manera significativa a lo largo del año por: 1) Fluctuaciones en la producción y suministro; 2) Transporte y manejo ineficientes; 3) El poder de mercado. Por ello, las variaciones anuales de precio (USD \$ [dólares]/kg) al consumidor se registran en el champiñón (USD \$ 1.04-5.17), las setas (USD \$ 2.07-6.68), y el *shii-take* (USD \$ 8.79-10.34), en función del lugar de compra, ciudad, región y época del año.

En general, el sistema de mercado de los hongos comestibles ha evolucionado hasta alcanzar una combinación de procesos centralizados y descentralizados de actividad limitada.

Lo anterior ha conducido a una distorsión del mercado, en la cual las grandes empresas privadas asimilaron varias funciones de mercado, apoyando el proceso de descentralización, pero que limitaron el desarrollo de nuevas empresas especializadas en comercialización, procesamiento y promoción del consumo. Estas empresas se caracterizan por tener infraestructura, organización y recursos financieros adecuados para desarrollar sus funciones (enfriado, selección, empaçado, envasado, almacenaje, etiquetado, distribución, entrega, mercadotecnia).

Por su parte, el sistema de mercado de los hongos comestibles silvestres es temporal y mucho más simple. Una porción de los hongos recolectados se destinan para autoconsumo, mientras que el resto se selecciona y prepara para su comercialización local y regional, la cual se

lleva a cabo directamente en comunidades aledañas o a través de intermediarios en las grandes ciudades. Además, especies seleccionadas son recolectadas por petición directa de compañías exportadoras, las cuales establecen condiciones de compra y pago.

El caso de los productos de hongos es bastante reciente y tiene gran potencial, tanto para las especies cultivadas como para las silvestres. Representa un ejemplo interesante de valor agregado, a través del procesamiento de los hongos comestibles (micelio, cuerpo fructífero), para la elaboración de cápsulas, extractos, suplementos alimenticios, jarabes, licores y cremas, cuyo valor en el mercado de venta directa al consumidor ya oscila entre MN \$60.00-360.00 pesos (USD \$ 5.56-33.36).

Consumo

Se cuenta con importante información sobre el mercado del centro de México. De acuerdo con las investigaciones llevadas a cabo por el COLPOS (Colegio de Posgraduados) y realizadas por primera vez en el país, el 49.4% de los consumidores urbanos compra hongos comestibles, independientemente de su nivel social y sólo el 3.2% manifestó comprar especies silvestres. Con estos datos, incluyendo la oferta total estimada de hongos comestibles (producción nacional disponible + importaciones) puede estimarse un consumo *per cápita* de 0.562 kg de hongos comestibles por año, en el 2004, considerando la población total del país. Pero si se toma en cuenta sólo a la población consumidora de hongos comestibles, el consumo *per cápita* anual se eleva a 1.138 kg para el mismo año.

En el 2001, los hogares mexicanos gastaron alrededor de USD \$ 58'553,378.4 millones de dólares trimestralmente en hongos comestibles, cifra elevada comparable al gasto que realizan en chile serrano (USD \$ 55'208,488 millones de dólares), aguacate (USD \$ 55'907,142 millones de dólares) e incluso el nopal (USD \$ 71'933,022 millones de dólares). Aunque el shiitake es el hongo comestible que proporcionalmente tiene todavía menor consumo en el país, su precio (USD/kg) promedio al consumidor es el más alto en el mercado (USD \$ 8.79-10.34). Esto debido a su reciente incorporación en el mercado nacional y escasa oferta en comparación con los champiñones (*Agaricus*, USD \$ 1.04-5.17) y las setas (*Pleurotus*, USD \$ 2.07-6.68).

Aunque predominan los hongos frescos dentro de las preferencias de los consumidores, es importante resaltar que existe una fuerte tendencia a la predilección de los mexicanos (40.3%) por nuevos productos, tales como hongos comestibles cocinados, congelados, y secos, entre otros (envasados, botanas, precocidos, rebanados, desinfectados).

Datos recientes del Consejo Nacional Agropecuario (CNA) indicaron que el consumo de alimentos procesados importados en nuestro país creció 12% en el período 2003-2004. En este contexto, es relevante que México desarrolle estrategias de mercado orientadas a satisfacer la creciente demanda interna. Este amplio potencial nacional puede aprovecharse con estrategias que desarrollen nuevos productos y segmentos del mercado e incorporen a consumidores potenciales, resaltando las propiedades nutricionales y medicinales de los hongos comestibles.

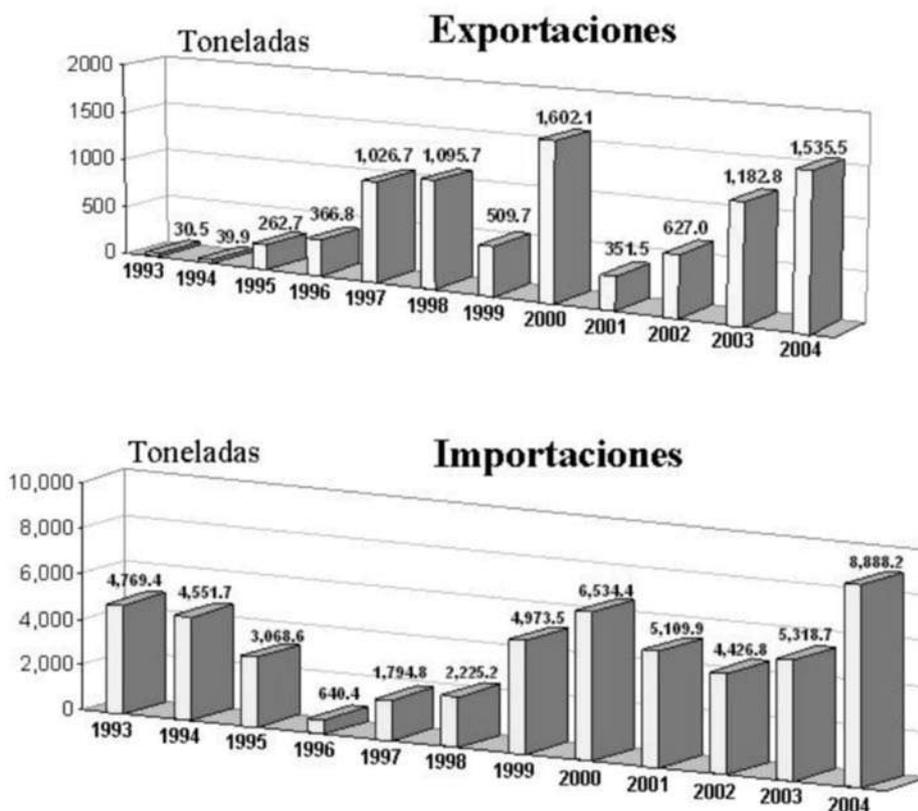
Así, por ejemplo, existe una creciente demanda de hongos comestibles en el mercado de los productos orgánicos y de consumidores vegetarianos, quienes los perciben como un excelente producto sustituto de la carne. Del mismo modo, es posible desencadenar el consumo en aquel sector de consumidores urbanos que actualmente no compra hongos comestibles y que representa el 50.6% de la población urbana del país.

Comercio exterior

Las fracciones arancelarias de exportaciones e importaciones que se registran no hacen la distinción entre hongos comestibles silvestres y cultivados, razón por la cual no puede hacerse un análisis específico de cada grupo. A pesar de esto, la globalización, a través de la apertura total del sector agropecuario dentro del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), a partir del 2003, así como el resto de los tratados comerciales establecidos por el país con otras regiones del mundo, ha beneficiado y brindado nuevas oportunidades de desarrollo para la producción comercial de hongos comestibles, por parte de los sectores social y privado; ello, sin embargo, también impone nuevos retos y desafíos, tales como el incremento substancial de las importaciones y prácticas desleales de comercio (*dumping*). Por ejemplo, a partir de 1994, se ha observado un incremento irregular de las exportaciones, ya que alcanzaron 1,602.1 t en el 2000, pero disminuyeron a sólo 351.5 t en el 2001 y 1,535.5 t en el 2004. Los volúmenes de exportación generan divisas por más de USD \$3.7 millones de dólares anuales.

En cambio, la dinámica de las importaciones, principalmente de hongos procesados (93.4%), ha sido constante, pasando de 640.4 t en 1996, a 8,888.2 t en el 2004 (Figuras 6 y 7) con un valor económico superior a los USD \$9 millones de dólares. Este nivel de importaciones, el más alto en la historia del país, obligó a la industria mexicana a solicitar (enero 19, 2005) una investigación antidumping respecto de las importaciones de champiñones originarias de Chile y de China, mercancía clasificada en la fracción arancelaria 2003.10.01-Hongos

del género *Agaricus*, de la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (TIGIE).



Figuras 5 y 6. Comercio exterior de hongos comestibles frescos y procesados en México durante el período 1993-2004. 5: Exportaciones; 6: Importaciones.

La resolución preliminar (noviembre 18, 2005) fue favorable y se impusieron cuotas compensatorias provisionales a las importaciones mencionadas, independientemente del país de procedencia, en los siguientes términos: 1) De USD \$1.20 dólares por kg neto a las importaciones originarias de Chile; y 2) De USD \$1.32 dólares por kg neto a las importaciones originarias de China.

Sin embargo, un hecho importante es que los costos de producción de hongos comestibles en México están empezando a ser poco competitivos en el contexto global, al mismo tiempo que su precio al consumidor tiene una notoria tendencia a la baja, lo cual representa una grave amenaza a largo plazo para la industria nacional.

En general, la balanza comercial mexicana ha sido deficitaria durante los últimos diez años (1993-2004). Por si esto fuera poco, los mercados globales demandan cada vez mayor competitividad en calidad del producto, precios, comercialización e, incluso, capacidad de la industria nacional para resistir factores económicos externos adversos.

De esta manera, y en el contexto de las cadenas de valor a nivel global, es pertinente que México desarrolle estrategias de mercado, orientadas a incursionar en los mercados internacionales con hongos comestibles, frescos y procesados, de altos estándares de calidad y certificados como productos orgánicos. El potencial de exportación a los Estados Unidos de América, Canadá, y Sudamérica en el corto plazo es considerable.

Los grandes retos en el siglo XXI

México cuenta con una posición geográfica estratégica, una cadena de valor en pleno desarrollo, un mercado doméstico en expansión desde 1950 y ventajas comparativas [materias primas abundantes, climas adecuados, mano de obra, Tratados de Libre Comercio con las principales regiones del mundo] que le permiten estar en posibilidades de mantener un sólido liderazgo regional en este sector a nivel latinoamericano.

Asimismo, nuestro país puede incursionar en el mercado internacional de hongos comestibles y sus productos metabólicos de importancia industrial, ocupando una posición central. Sin embargo, para consolidar este liderazgo con una cadena de valor tecnológicamente innovadora y competitiva, se requiere una mayor integración y vinculación de todos los sectores involucrados: Académico, público, privado, y social, pues ningún sector aislado está en posibilidades reales de enfrentar los grandes retos de la globalización.

De hecho, esta vinculación estratégica permitiría aprovechar y manejar la enorme diversidad biológica, ecológica y cultural del país, así como desarrollar investigaciones estratégicas con el apoyo que ofrecen la biotecnología aplicada y la biotecnología moderna de los hongos comestibles. Además, el reciente establecimiento de una Red Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico de la Producción de Hongos Comestibles constituye un esfuerzo inicial importante en este sentido.

³ Las cuotas compensatorias impuestas se aplicarán sobre el valor en aduana declarado en el pedimento de importación correspondiente.

Para el lector interesado:

Boa, E. (2004). Wild edible fungi: A global overview of their use and importance to people. Rome (Italy): FAO. 160 p. (Non-wood forest products no. 17.).

Chang, S.T., y Miles, P.G. (2004). Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. (2nd ed.). Boca Raton (USA): CRC Press. 480 p.

González, N. (2005). Molecular characterization of wild and commercial strains of shiitake (*Lentinula spp.*) cultivated in Mexico, and their potential for genetic improvement. Tesis Profesional. Universidad de las Américas, Escuela de Ciencias, Puebla.

Kues, U., y Liu, Y. (2000). Fruiting body production in basidiomycetes. Applied Microbiology and Biotechnology, *54*, 141-152.

Martínez-Carrera, D. (1998). Oyster mushrooms. En: D. Licker (Ed.) Consumption trends of edible mushrooms in developing countries: The case of Mexico (pp. 242-245). New York (USA): McGraw-Hill.

Martínez-Carrera, D. (2002). Current development of mushroom biotechnology in Latin America. Micología Aplicada Internacional, *14*, 61-74.

Martínez-Carrera, D. (2000). Mushroom biotechnology in tropical America. International Journal of Mushroom Sciences, *3*, 9-20.

Martínez-Carrera, D. (2002a). Current development of mushroom biotechnology in Latin America. Micología Aplicada Internacional, *14*, 61-74.

Martínez-Carrera, D. y Larqué-Saavedra, A. (1990). Biotecnología en la producción de hongos comestibles. Ciencia y Desarrollo, *95*, 53-64.

Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Chang, S.T. y Larqué-Saavedra, A. (1991a). Edible mushroom cultivation for rural development in tropical America. Mushroom Science, 13, 805-811.

Martínez-Carrera, D., Leben, R., Morales, P., Sobal, M. y Larqué-Saavedra, A. (1991b). Historia del cultivo comercial de los hongos comestibles en México. Ciencia y Desarrollo, 96, 33-43.

Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Morales, P., Sobal, M., Martínez, W. y Aguilar, A. (1993). Los hongos comestibles en México: Biotecnología de su reproducción. Ciencia y Desarrollo, 108, 41-49.

Martínez-Carrera, D., Vergara, F., Juárez, S., Aguilar, A., Sobal, M., y Martínez, W. (1996). Simple technology for canning cultivated edible mushrooms in rural conditions in Mexico. Micología Neotropical Aplicada, 9, 15-27.

Martínez-Carrera, D., Aguilar, A., Martínez, W., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., y Larqué-Saavedra, A. (1998a). A sustainable model for rural production of edible mushrooms in Mexico. Micología Neotropical Aplicada, 11, 77-96.

Martínez-Carrera, D., Sobal, M., Aguilar, A., Navarro, M., Bonilla, M., y Larqué-Saavedra, A. (1998b). Canning technology as an alternative for management and conservation of wild edible mushrooms in Mexico. Micología Neotropical Aplicada, 11, 35-51.

Martínez-Carrera, D., Bonilla, M., Sobal, M., Aguilar, A., Martínez, W., y Larqué-Saavedra, A. (1999). A culture collection of edible mushrooms and its significance for germplasm preservation, breeding, and the development of mushroom cultivation in Mexico. Micología Neotropical Aplicada, 12, 23-40.

Martínez-Carrera, D., Morales, P., Pellicer-González, E., León, H., Aguilar, A., Ramírez, P., Ortega, P., Largo, A., Bonilla, M., y Gómez, M. (2002). Studies on the traditional management, and processing of matsutake mushrooms in Oaxaca, Mexico. Micología Aplicada International, 14, 25-42.

Martínez-Carrera, D., Nava, D., Sobal, M., Bonilla, M., y Mayett, Y. (2005). Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: The case of Mexico. *Micología Aplicada Internacional*, *17*, 9-20.

Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., y Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: El sistema de producción consumo de los hongos comestibles. En: *El cultivo de Pleurotus en México*. México: ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS (en prensa).

Morales, P., y Thurston, C.F. (2003). Efficient isolation of genes differentially expressed on cellulose by suppression subtractive hybridization in *Agaricus bisporus*. *Mycological Research*, *107*, 401-407.

Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., Martínez, W., y Martínez-Carrera, D. (2007). El centro de vinculación con el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles (CVINHCO) del Colegio de Postgraduados. En: *El cultivo de Pleurotus en México*. México: ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS (en prensa).

Sobal, M., Morales, P., Bonilla, M., Huerta, G., y Martínez-Carrera, D. (2007). El centro de recursos genéticos de hongos comestibles (CREGENHC) del Colegio de Postgraduados. En: *El cultivo de Pleurotus en México*. México: ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS (en prensa).

Sturgeon, T.J. (2001). How do we define value chains and production networks? *IDS Bulletin*, *32* (3), 1-10.

