

Panorama del uso del Hongo del maguey (*Pleurostus* sp.) para el aprovechamiento de residuos de agave

Overview of the use of the maguey fungus (*Pleurostus* sp.) for the use of agave waste

Socorro Morales-Flores¹, Arturo Angel Hernández¹, Jorge Erick Ruiz Nieto²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental la Posta, km. 34.5, Carretera Federal Veracruz - Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz. ²Universidad de Guanajuato, Departamento de Agronomía, km 9 carretera Irapuato-Silao, CP 36500, Irapuato.
soco.morales41@hotmail.com

Resumen

México cuenta con una gran diversidad fúngica, en el país existen recursos genéticos nativos para la producción comercial de hongos comestibles, el género *Pleurotus* es uno de los más representativos, algunas especies crecen de forma silvestre sobre plantas de Agave principalmente en el altiplano de la región central de México. Estos hongos comestibles son consumidos por las comunidades locales durante la época de lluvias, crecen en hojas secas en la base de plantas de agave los cuales denominan como "Hongo del Maguey". En la presente revisión se consideró el origen y distribución, así como las características y propiedades de este organismo. Además, se describe el potencial que tiene para degradar residuos agroindustriales derivados del agave y la composición, el valor nutricional y sus características organolépticas.

Palabras clave: palabras clave; palabras clave.

Introducción

En el mundo existen por lo menos 700,000 especies de hongos de los cuales aproximadamente el 20 % son hongos macroscópicos (Hawksworth, 1991). México es de los primeros cinco países megadiversos del mundo, la variedad de ecosistemas favorece el desarrollo de más de 200,000 especies de hongos de los cuales solamente se conocen alrededor del 4 % (Guzmán, 2008). En el país se consumen de manera tradicional 371 especies de hongos silvestres comestibles que se destinan principalmente para autoconsumo y venta en mercados regionales (Garibay y Ruan, 2014), que han sido recolectados y consumidos desde épocas prehispánicas (Alvarado y Benítez, 2009) y son considerados un recurso forestal no maderable en temporada de lluvias debido a su gran importancia cultural, alimenticia y económica.

Pleuroteaceae es una de las familias más representativas, a la cual pertenece el género *Pleurotus*. Este género es conocido por ser un eficiente degradador de una gran cantidad de desechos lignocelulósicos y por producir basidomas comestibles con altas cualidades organolépticas. Los hongos de este género son considerados un alimento funcional con propiedades nutricionales pues poseen un alto contenido de fibra y proteína (González, 2014). Además de vitaminas, minerales y algunos aminoácidos esenciales, también contienen moléculas bioactivas, que se ha demostrado que su consumo impacta de forma positiva a una o más funciones del organismo. La composición bioquímica y de las actividades biológicas de *Pleurotus* spp., son influenciadas por las condiciones de cultivo, así como el sustrato.

En México, la producción de *Pleurotus* a nivel industrial se realiza con cepas importadas de Europa, Norteamérica y el suroeste de Asia (Martínez-Carrera *et al.*, 2004). Sin embargo, existen recursos genéticos nativos que representan una amplia base genética (Huerta *et al.*, 2010), con potencial para la producción y obtención de metabolitos secundarios biológicamente activos con propiedades terapéuticas, tal es el caso de la especie conocida como “Hongo del Maguey” (*Pleurotus* sp.), que crece de forma silvestre sobre plantas de Agave en el altiplano de la región central de México, se ha registrado en los estados de Tlaxcala (Montoya *et al.*, 2003), Puebla (Barrales y Mata., 2016), Hidalgo, Morelos, (Huerta *et al.*, 2010), Estado de México (Lara-Vázquez *et al.*, 2013) y Guanajuato (Morales *et al.*, 2022). Actualmente se cuenta con información escasa de este recurso natural, por lo cual es de interés conocer el panorama del “Hongo del Maguey” (*Pleurotus* sp.) y su potencial para el cultivo y aprovechamiento de residuos lignocelulósicos derivados de la industria del agave, así como sus características y propiedades.

Antecedentes

Desde hace algunos años investigadores se han interesado en el estudio de especies silvestres del género *Pleurotus*. El hongo del maguey tiene sus primeras investigaciones en el año de 1997 donde se estudió de la fisiología y morfología del micelio (Pineda-Insuasti *et al.*, 2014). Posteriormente Romero (2002) aísla, caracteriza y evalúa el potencial de *Pleurotus opuntiae* y da a conocer los usos y aprovechamiento por diversos grupos humanos. Posteriormente, Camacho, (2010) realizó la clasificación taxonómica de la especie que crece de manera silvestre en México, en este estudio clasifica al hongo del maguey como *Pleurotus opuntiae*.

En el año 2012 se reporta que este hongo crece en las regiones templadas xerofíticas de México en los géneros *Agave* y *Opuntia* como parásito o saprobio; asimismo, se mencionan los usos tradicionales y la importancia como alimento (Camacho *et al.*, 2012). Barrales y Mata (2016) realizaron una selección de cepas nativas del hongo de maguey y proponen la posibilidad de cultivar esta especie a nivel piloto, como sustrato se utilizó paja de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y hoja de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.).

En años más recientes, se ha trabajado en la identificación molecular del hongo del maguey, González (2014) colectó y aisló e identificó molecularmente como *Pleurotus levis*. En el 2019, Zervakis *et al.* realizaron un estudio filogenético donde mencionan que *P. opuntiae* se usa indiscriminadamente para describir a los hongos con píleo blanco a blanquecino a gris blanco y estípites corto o ausente, que crecen en plantas de los géneros *Opuntia*, *Yucca*, *Agave*, *Phytolacca* (Figura 1).



Figura 1. Hongo del maguey colectado en Irapuato, Guanajuato
Fuente: Elaboración propia.

Género *Pleurotus*

El género *Pleurotus* representa un grupo de hongos grandes (basidiomicetos). La taxonomía del género es muy compleja debido a un alto grado de variabilidad morfológica de los basidiocarpos, lo cual es atribuido principalmente a diversos factores ambientales. Debido a esta situación, una misma especie puede ser identificada bajo diferentes nombres (Salmones y Mata, 2017).

Existen 23 especies y variedades de *Pleurotus* en México, de las cuales sólo han sido validadas 7 taxas: *P. bajocalifornicus*, *P. djamor* var. *djamor*, *P. hirtus*, *P. levis*, *P. opuntiae*, *P. ostreatus* y *P. smithii* (Guzmán, 2000). Actualmente *Pleurotus* es cultivado con fines comerciales o experimentales en 21 estados de México.

Origen y distribución

Los hongos *Opuntia*, *Phytolacca* y *Yucca* frecuentemente crecen sobre las plantas de agave, en México se encuentra casi siempre asociado a plantas vivas y se ha reportado en el Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. También se conoce en países como de Kenia y Venezuela (Camacho, 2010). Zervakis *et al.*, (2019), al realizar un estudio filogenético se determinó que en México crecen de forma natural *P. levis*, *P. agaves* y *P. Djamor*.

Características y propiedades

Los hongos de maguey son altamente apreciados en localidades rurales del centro del país y se consumen en platillos como sopas o asados, de manera directa ya sean frescos, secos o molidos. En comparación con el hongo comercial, son más aromáticos, su color es más atractivo y permanecen más tiempo turgentes después del corte (Romero, 2002; González, 2014).

Sin embargo, este hongo silvestre no representa un valor comercial significativo, sus basidiomas crecen sobre las hojas basales más cercanas al suelo y también dentro de la cavidad de algunas especies de agaves pulqueros, su recolección se da solo en temporada de lluvia (Romero, 2002). Existen algunos problemas con esta especie, uno de ellos es su identificación y la pérdida de su hábitat ya que cada vez se siembran menos magueyes pulqueros, debido a que la costumbre ancestral de beber pulque ha sido sustituida por la de la cerveza y aguardiente.

El hongo del maguey también tiene interés en el ámbito de la salud ya que se han identificado metabolitos secundarios como el ergosterol, peróxido de ergosterol, cerevisterol y 3 β , 5 α , 6 β , 9 α tetrahidroxi ergosta-7,22-dieno, todos ellos con propiedades medicinales (González, 2014). Krishnapriya y Geetha (2017), determinaron la constitución proximal y actividad antiproliferativa de *Pleurotus opuntiae* (Durieu y Lev.), contra el cáncer de colon frente a la línea celular HT-29 (adenocarcinoma de colon humano) con la dosis de 100 μ g mL⁻¹, el encogimiento de las células, la granulación y la vacuolización en el citoplasma de las líneas celulares de cáncer se observaron como indicadores de citotoxicidad.

Martínez-Carrera (2002) refiere que las especies silvestres del género *Pleurotus* poseen información genética que puede ser aprovechada para generar nuevas cepas comerciales, pero que hasta ahora ha sido poco estudiada. Muchas de ellas presentan alta competitividad por sustrato, contra bacterias, levaduras y otro tipo de hongos, se desarrollan y fructifican a altas temperaturas, algunas tienen alta productividad, fructificación temprana y otras características que podrían aumentar la vida de anaquel de este hongo.

Agroindustria y residuos

El cultivo de hongos comestibles es uno de los procesos más viables económicamente para la bioconversión de residuos lignocelulósicos. Las regiones de México con actividad agropecuaria generan grandes cantidades de residuos lignocelulósicos, los cuales están constituidos principalmente por los tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son utilizadas en los procesos de alimentación y/o industrialización entre los que podemos mencionar pajas (trigo, cebada, centeno, etc.), rastrojos (maíz, frijol, etc.), bagazo (caña, tequila, mezcal) y pulpas de café, entre otros.



Valdez-Vázquez *et al.* (2010) indican que en México se produjeron 75.73 millones de toneladas de materia seca provenientes de 20 cultivos, del volumen total de residuos 79% corresponden a residuos primarios, obtenidos al momento de la cosecha como hojas, tallos del maíz, tallos y vaina del sorgo, puntas y hojas de la caña de azúcar, paja de trigo, paja de cebada, rastrojo de frijol y cáscara de algodón; y 20% corresponde a residuos secundarios obtenidos del procesamiento poscosecha, entre los que están el bagazo de la caña de azúcar, mazorcas y olotes, bagazo de maguey y pulpa de café.

La generación de residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos representa una problemática si no se les da el manejo adecuado llegando a contribuir al proceso de contaminación ambiental (Vargas & Pérez, 2018). Estos residuos no son de utilidad para el proceso que los generó, pero son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico y están compuestos principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina.

La degradación de los sustratos por el género *Pleurotus* está condicionada por varios factores como la actividad enzimática del hongo, disponibilidad de O₂ del sustrato, composición y acondicionamiento del sustrato, interacción del micelio con el sustrato, genotipos de la cepa y condiciones ambientales (Delfín-Alcalá y Durán-Bazúa, 2003). González (2014) refiere que al comparar la composición inicial de los sustratos (T1) existe mayor proporción de celulosa y hemicelulosa en paja de cebada, mientras que la lignina estuvo en mayor proporción en la mezcla bagazo de maguey-paja de cebada. Se encontró que durante la etapa de incubación (T2), en ambos sustratos la degradación de la celulosa es mayor que durante la etapa de fructificación (Tabla 1).

Tabla 1. Celulosa, hemicelulosa y lignina de los sustratos fermentados por *Pleurotus drynus* (%).

Etapa	Paja de cebada			Bagazo de maguey-paja de cebada		
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
T1	30.0	39.8	4.1	17.7	23.9	6.8
T2	20.7	32.5	2.1	14.6	20.5	3.5
T3	15.2	17.1	2.7	13.3	21.5	3.3

T1, antes de la inoculación; T2, al final de la inoculación; T3, al final de la cosecha de hongos. Fuente: González (2014).

Residuos lignocelulósicos

El carpóforo del género *Pleurotus* crece de forma natural sobre troncos caídos en descomposición y de manera artificial, sobre residuos agroindustriales. Los nutrientes que se requieren en un sustrato artificial son: celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales funcionan como principales fuentes de carbono (Pokhrel *et al.*, 2013). La capacidad de los hongos para utilizar los diferentes sustratos lignocelulósicos depende de que puedan emplearlos como fuente de nutrientes. Por lo tanto, dicha capacidad está en función de la producción de enzimas hidrolíticas y oxidativas, las primeras producen enzimas hidrolasas responsables de la degradación de la celulosa y la hemicelulosa, mientras que las segundas despolimerizan la lignina (Pérez *et al.*, 2002), dichas enzimas le permiten al hongo degradar estas moléculas en compuestos de bajo peso molecular de fácil absorción para realizar sus funciones básicas de crecimiento y fructificación.

La adquisición de nutrientes de los hongos es un proceso regulado que involucra la digestión extracelular, el transporte de los nutrientes absorbidos y su metabolismo. La nutrición consiste en absorber los compuestos orgánicos solubles que requieren como fuente la energía a través de la pared y la membrana. Los hongos son organismos heterótrofos que se alimentan por absorción después de digerir extracelularmente los nutrientes por acción de enzimas secretadas al medio que los rodea (Cepero *et al.*, 2012). Para desarrollarse los hongos deben encontrar condiciones nutricionales y físicas específicas que permitan su desarrollo, requieren de carbono, este compuesto le proporciona energía para desarrollar sus actividades metabólicas, por otra parte, requieren de nitrógeno para convertirlo en proteínas, purinas y pirimidinas y para el componente de la pared celular.



A los hongos del género *Pleurotus* se les conoce con el nombre de “setas” y es una de las especies que más se cultiva, en México se reportan más de 35 sustratos para el cultivo de hongos de este género (Mora y Martínez-Carrera, 2007), entre ellos residuos agrícolas y agroforestales como caña de azúcar, rastrojo de maíz, paja de avena, rastrojo de tomate, cascarilla de arroz, bagazo de caña, vaina de frijol, pulpa de café, aserrín de encino, bagazo de agave, cáscaras de mango, piña y papaya, carrizo, viruta de pino, entre otros.

Hojas de agave

En un análisis de la composición química de las diferentes fracciones de *A. tequilana* Azul se encontró que estas poseen diferentes cantidades de proteína lípidos, cenizas, carbohidratos, fibra y humedad y que las bases de las hojas constituyen la segunda fracción con mayor aportación a la biomasa del cultivo con un contenido de carbohidratos que equivale al 68.6% de los que contiene la cabeza y están integrados principalmente por inulina. En *A. Salmiana* el contenido de carbohidratos en las bases de las hojas representa el 54.7 %, el segundo componente de mayor abundancia lo constituyó la fibra cruda integrado por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectinas (Vargas & Pérez, 2018); sin embargo, en la actualidad estos compuestos son desaprovechados al igual que en el agave tequilero. Jiménez-Muñoz *et al.*, (2016), reportan diferencias significativas en el análisis proximal de hojas de *Agave tequilana* y Weber, Var. Azul y *Agave salmiana* B. Otto ex Salm-Dick con valores de proteína 2.64%, grasas 0.97%, cenizas 10.08% y proteína 3.32%, grasas 1.85%, cenizas 12.93%, respectivamente.

Por otra parte, los extractos del género agaves contienen una gran variedad de compuestos químicos muchos de los cuales tienen aplicaciones potenciales, algunos de ellos están relacionados con funciones de absorción de minerales, prebióticos, diabetes, anticancerígenos, y mejoradores del sistema inmune. Algunas moléculas en la que se han realizado investigaciones son los fructanos, estos son los principales polisacáridos de almacenamiento encontrados en las especies de *Agave*; y a través de su hidrólisis ácida térmica controlada es posible producir una mezcla de prebióticos, oligosacáridos funcionales con poder edulcorante, son sintetizados a partir de sacarosa y se clasifican como inulinas o levanas. Sin embargo, se pueden presentar una variedad de estructuras complejas.

Mancilla-Margalli y López (2006), reportan dos diferentes familias de fructanos en varias especies de *Agave* y *Dasyliirion*. Los fructanos más estudiados y comercializados en el mundo son del tipo de la inulina, obtenidos principalmente de las raíces de achicoria (*Cichorium intybus*) y alcachofa (*Helianthus tuberosus*). Las bases de las hojas o pencas normalmente son utilizadas en la industria, sus fructanos pueden emplearse para la obtención de insumos de interés industrial como las inulinas, fructoligosacaridos y jarabes de alto contenido de fructosa (Vargas & Pérez, 2018).

Otras moléculas que dirigen una buena parte de las investigaciones consultadas son las saponinas y hecogeninas, éstas se reconocen como precursores de fármacos esteroides (Guevara y Vallejo, 2014), se han realizado estudios para reportar la actividad antimicrobiana de algunas especies de *Agave* (*A. americana*, *A. montana*, *A. marginata*, *A. ferox*, *A. scabra*, *A. lecheguilla*, *A. picta*, *A. lophanta*), las saponinas de agave pueden presentar actividad antitumoral, hipoglicémica, inmonoregulatoria en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares. En un estudio realizado en *Agaricus bisporus* se encontró que las saponinas no presentan una acción tóxica sobre los eritrocitos, es decir no tienen acción hemolítica tanto *in vitro* como *in vivo*.

Bagazo de agave

Con lo que respecta al bagazo según datos del consejo regulador del Tequila en 2016, se requirió de 941.8 mil toneladas de agave para la producción del sector, por lo que la generación del bagazo alcanzo una cifra estimada de 4,709,000 ton, para el año 2019 se registra un incremento a 1,342 mil toneladas de agave para la producción (CRT, 2021) (Figura 2).





Figura 2. Desechos de bagazo de *Agave* sp. en fábricas de mezcal en Santiago Matatlán, Oaxaca.
 Fuente: E laboración propia.

El bagazo está constituido por materiales lignocelulósicos, se ha reportado que el bagazo de *Agave salmiana* contiene 47, 13 y 10% de celulosa, hemicelulosa y lignina respectivamente (García-Reyes y Rangel-Méndez, 2009). Según la especie se han reportado diferente composición química como Proteína cruda 2.5%, fibra cruda 22.15%, grasa 2,14%, NFE 1.56%, NDF 45.45% además contenido de N 0.54%, P 0.03 %, K 0.43%, Ca 3.46%, Mg 0.12%, Zn 38.5 ppm, Mn 8.16 ppm y Cu 1.89 ppm (Delgadillo *et al.*, 2015), por su parte Rodríguez *et al.*, (2013), reportaron valores distintos (Tabla 2).

Tabla 2. Características químicas del bagazo de agave

Elemento	%	Elemento	Ppm
pH	4.8	Cu	4.85
Ceniza	11.40	Fe	371.00t
NTK	0.77	Zn	30.49
P	0.07	B	161.23
K	0.26	Cr	Nd
Na	0.05	Ni	Nd
Ca	3.68	Pb	Nd
Mg	4.85	Ar	Nd

Conclusión

El hongo del maguey (*Pleurotus* sp). representa un recurso forestal no maderable con potencial para ser aprovechado por las comunidades rurales de México y la industria debido a su adaptación a condiciones climáticas adversas y a su capacidad para degradar residuos lignocelulósicos derivados de la industria del agave. Además, posee características organolépticas, contenido nutricional importante, así como biomoléculas funcionales que pueden impactar de forma positiva a la salud humana.

Referencias

- Barrales, M & Mata, G. (2016). Selección de cepas nativas del hongo de maguey (*Pleurotus opuntiae*) y evaluación de su producción en sustratos fermentados. *Interciencia*, 41(5), 346-352. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/346-cMATA-41_57.pdf
- Camacho, M., Guzmán, G., & Guzmán-Dávalos, L. (2012). *Pleurotus opuntiae* (Durieu et Lév.) Sacc. (Higher Basidiomycetes) and other species related to Agave and Opuntia plants in Mexico- Taxonomy, distribution and applications. *Int. J. Medic. Mushr*, 14, 65-78. 10.1615/intjmedmushr.v14.i1.70
- Camacho, S. M. (2010). Estudio taxonómico del complejo de *Pleurotus*, *Lentinus* y *Panus* en México. [Trabajo para obtener el grado de Maestría]. Instituto de Ecología. A. C. pp 86-108
- Cepero de García, M. C., Restrepo, S., Franco-Molano, A. E., Cárdenas, M. & Vargas, N. (2012). *Biología de Hongos*. Ediciones Uniandes.
- Consejo regulador del tequila. (2021). Información estadística. <https://www.crt.org.mx/index.php/es/>
- Delfín-Alcalá, I. & Durán-De Bazua, C. (2003). Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por pleurotus. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19(1), 37-45. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/25180>
- Delgadillo, L., Bañuelos, R., Esparza, E. L., Gutiérrez, H., Cabral, F. J., & Muro, A. (2015). Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 2099-2103. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/778>
- García-Reyes, B. R. & Rangel-Mendez, J. R. (2009). Contribution of agrowaste material main components (hemicelluloses, cellulose, and lignin) to the removal of chromium (III) from aqueous solution. *Journal Chemical Technology and Biotechnology*, 84(10), 1533-1538. DOI 10.1002/jctb.2215
- Garibay, R. & Ruan, F. (2014). Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México, A. Moreno-Fuentes y R. Garibay-Orijel (eds.), La etnomicología en México: estado del arte, Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural. *Asociación Etnobiológica Mexicana*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Universidad Nacional Autónoma de México, México: 99-120.
- González, T. M. (2014). Metabolitos secundarios de *Pleurotus dryinus* cultivado sobre bagazo de maguey y paja de cebada. [Trabajo para obtener el grado de Doctorado]. Universidad Veracruzana.
- Guevara, A. C. S., & Vallejo, C. E. J. (2014). Medicinal potential of the genera *Furcraea* and *Agave*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(3), 248-263. <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v19n3/pla12314.pdf>
- Guzmán, G. (2008). Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International Journal Medicinal Mushrooms*, 10, 209-217. DOI: 10.1615/IntJMedMushr.v10.i3.20
- Hawksworth, D. L. (1991). Fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. *Mycological Research*, 95, 641-655. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80810-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80810-1)
- Huerta, G., Martínez-Carrera, D., Sánchez, J. E., Leal-Lara, H., & Vilgalys, R. (2010). Genetic relationship between Mexican species of *Pleurotus* analyzing the ITS-region from rDNA. *Micología Aplicada Internacional*, 22, 15-25. [https://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/MicologiaAplicadaInternacional/pdf/MAI%20cover%20&%20contents_22\(1\)_2010_January.pdf](https://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/MicologiaAplicadaInternacional/pdf/MAI%20cover%20&%20contents_22(1)_2010_January.pdf)
- Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O. A., & Rodríguez-Laguna, R. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *Dyna*, 83(197), 233-243.
- Krishnapriya, P. J., & Geetha, D. (2017). Constitución proximal y actividad antiproliferativa de *Pleurotus opuntiae* (Durieu y Lev.) Sacc. contra el cáncer de colon. *Revista Internacional de Microbiología Actual y Ciencias Aplicadas*, 6(5), 1406-1414. DOI:10.20546/ijcmas.2017.605.153
- Lara-Vázquez, F., Romero-Contreras A. T., & Burrola-Aguilar, C. (2013). Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoaya, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(3), 305-333. <https://revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/1196/531>



- Mancilla-Margalli, N. A., & López, M.G. (2006). Non-structural carbohydrates and fructan structure patterns from Agave and Dasyliro species. *Journal of the Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7832-7839. DOI: 10.1021/jf060354v
- Martínez-Carrera, D., (2002). Current development of mushroom biotechnology in Latin America. *Micología Aplicada Internacional*, 14, 61-74. https://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/MicologiaAplicadaInternacional/pdf/V14_2_06.pdf
- Martínez-Carrera, D., Sobal, M., Morales, P., Martínez, W., Martínez, M., & Mayett, Y. (2004). *Los hongos comestibles: propiedades nutricionales, medicinales, y su contribución a la alimentación mexicana*. El Shiitake. COLPOS-BUAP-UPAEP-IMINAP.
- Montoya, A., Hernández-Totomoch, O., Estrada-Torres, A., & Kong, A. (2003). Traditional knowledge about mushrooms in a Nahua community in the state of Tlaxcala, México. *Mycologia*, 95, 793-806. <https://doi.org/10.2307/3762007>
- Mora, V. M., & Martínez-Carrera, D. (2007). Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre el cultivo de setas *Pleurotus* spp. en México. En J. E. Sánchez Vázquez, D. Martínez Carrera, G. Mata, H. Leal Lara. (eds) *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*. El Colegio de la Frontera Sur. 7-26.
- Morales-Flores, S., Cepeda-Negrete, J., Mata-Montes de Oca, G., Ángel-Hernández, A., Hernández-Ruiz, J., & Ruiz-Nieto, J. E. (2022). In vitromolecular identification and characterization of *Pleurotus* spp. strains in Guanajuato, Mexico. *Agrociencia*, 56(2). <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i2.2780>
- Pérez, J., Muñoz-Dorado, J., De la Rubia, T., & Martínez, J. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int. Microbiol.*, 5, 53-63. DOI: 10.1007/s10123-002-0062-3
- Pokhrel, C. P., Kalyan, N., Budathoki, U., & Yadav R. K. P. (2013). Cultivation of *Pleurotus sajorcaju* using different agricultural residues. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 1(2), 19-23. <https://journalissues.org/wp-content/uploads/2014/07/Pokhrel-et-al.pdf>
- Rodríguez, R., Jiménez, F., del Real, J. I., Salcedo, E., Zamora, F. & Íñiguez, G. (2013). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 11. Compostaje de bagazo de agave crudo y biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(4), 303-313. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/issue/view/3289>
- Romero, L. (2002). Aislamiento, caracterización y evaluación del potencial de cultivo de *Pleurotus opuntiae* (Dur. ex Lévl.) Sacc. [Trabajo para obtener el grado de maestría]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Pineda-Insuasti, J. A., Ramos-Sánchez, L. B., & Soto-Arroyave, C. P. (2014). Producción de inóculo de células miceliales de *Pleurotus opuntiae* en soporte natural en fermentación en estado sólido: una revisión. *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(2), 13-23.
- Salmones, D., & Mata, G. (2017). Recursos genéticos del género *Pleurotus*. En J. E. Sánchez, & D. Royse (eds.) *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas Pleurotus spp.* El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula.
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A. & Hernández-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2147-2153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>
- Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.145>
- Zervakis, G. I., Venturella, G., Fryssouli, V., Inglese, P., Polemis, E., & Gargano, M. L. (2019). *Pleurotus opuntiae* revisited – An insight to the phylogeny of dimitic *Pleurotus* species with emphasis on the P. djamor complex. *Fungal Biology*, 123(3), 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.12.005>

