

# SELECCIÓN DE CEPAS NATIVAS DEL HONGO DE MAGUEY

## (*Pleurotus opuntiae*) Y EVALUACIÓN DE SU PRODUCCIÓN

### EN SUSTRATOS FERMENTADOS

Miguel Barrales y Gerardo Mata

#### RESUMEN

*Pleurotus opuntiae* es un hongo comestible que se comercializa silvestre en mercados de la zona centro de México y es muy apreciado por su buen sabor; lamentablemente, el cultivo se ha visto rezagado por la falta de conocimiento sobre la especie y sus requerimientos. El objetivo de este trabajo fue colectar, aislar y seleccionar cepas mexicanas de *P. opuntiae* para evaluar su producción en sustratos fermentados. Se colectaron y se aislaron nueve cepas de *P. opuntiae* y se realizó una selección midiendo el crecimiento micelial en sustratos pasteurizados con vapor. Se utilizaron tres sustratos fermentados: paja de cebada (PF), hoja de caña (CF) y una combinación 1:1 de paja-caña (PCF). Como control se utilizaron los

mismos sustratos sin fermentar: paja (P), caña (C) una mezcla de los mismos (PC). Se evaluó la eficiencia biológica (EB) y la tasa de producción (TP). Se seleccionaron dos cepas, IE 837 e IE 863, y dos sustratos fermentados, PF y PCF. La EB más alta la presentó la cepa IE 863 en PC con 105,21%, mientras que la cepa IE 837 mostró mejor EB en PC con 86,15%. La TP más alta se obtuvo en PC con 7,03% y la más baja en P con 4,43%. El cultivo de *P. opuntiae* es prometedor pues utilizando cepas silvestres se obtuvieron EBs arriba de 100%, por lo que se considera necesario realizar más aislamientos de cepas silvestres e implementar un programa de mejoramiento para la producción piloto de esta especie.

#### Introducción

En México, los esfuerzos científicos y tecnológicos por colectar, aislar y seleccionar cepas de hongos silvestres con potencial de cultivo y comercialización están en proceso de desarrollo. Se sabe que más de 400 cepas son mantenidas en instituciones, pero únicamente cinco especies se cultivan comercialmente, lo que contrasta notablemente con las ~130 especies que son cultivadas a nivel mundial (Garibay *et al.*, 2010; Sánchez y Mata, 2012). El germoplasma nativo tiene un enorme potencial para la diversificación de las especies de hongos comestibles que se ofrecen en el mercado nacional e internacional, y se puede adaptar mejor a condiciones locales, contribuyendo a la economía regional (Martínez-Carrera *et al.*, 1993).

El altiplano mexicano, ubicado en la zona centro del país, es un ecosistema semiárido y rico en hongos; sin embargo, ha sido poco explorado y se desconoce la diversidad de hongos existentes. *Pleurotus opuntiae* (Durieu & Léville) es una especie muy apreciada por su buen sabor y se comercializa en estado silvestre en los mercados de la zona centro de México. Sin embargo, no se le ha dado un enfoque de cultivo intensivo y solo es aprovechado en la temporada de lluvias, cuando familias enteras salen a su recolección.

*P. opuntiae* es conocido popularmente como 'hongo de maguey' en Puebla y Veracruz, 't'axjot'a' en la región ñaú de Hidalgo o 'mesonacatl' en Tlaxcala. Se le encuentra creciendo frecuentemente sobre especies de los géneros *Opuntia*, *Phytolacca*

y *Yucca* y, en México, se ha reportado casi siempre asociado a plantas vivas de *Agave* spp., emergiendo de entre las hojas secas por la base de la planta (Montoya *et al.*, 2003; Camacho *et al.*, 2012; Romero *et al.*, 2012). Se tienen registros del Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Veracruz, y también se conoce de países como Kenia y Venezuela. Esta especie se caracteriza por tener un píleo plano convexo, fibriloso con parches, color que va de crema a amarillo y a veces amarillo oscuro con un margen recto, pocas veces es enrollado, láminas decurrentes, blancas a color crema, estípites generalmente bien desarrollado excéntrico, cilíndrico y claviforme, piloso en la base, blanquecino a amarillento, velo y anillo ausentes, esporas de 8-12×3,5-5µm, lisas, hialinas

de pared delgada, basidios de 19-20×5-6µm tetraspóricos, claviformes a cilíndricos, hialinos, queilocistidios de 19-20×5-6µm claviformes a utrififormes. Presenta un sistema hifal dimitico con hifas de 4-6µm de diámetro con pared gruesa, una trama himenofora y del píleo completamente irregular (Camacho *et al.*, 2012). Es un hongo que pocas veces ha sido cultivado a nivel mundial y en los escasos trabajos publicados se resalta el método de cultivo, no así, el potencial productivo de la especie, por lo tanto el interés comercial es bajo (Bahukhandiet *al.*, 1989; García-Rollan, 2007). El objetivo del presente estudio fue colectar, aislar, evaluar y seleccionar cepas nativas de *P. opuntiae*, probando con sustratos crudos y fermentados, compuestos por hojas de caña de azúcar y paja de cebada.

**PALABRAS CLAVE /** *Agave* / Cultivo de Hongos Comestibles / Hongo de Maguey / *Pleurotus opuntiae* / Sustratos Fermentados /

Recibido: 03/03/2015. Modificado: 13/04/2016. Aceptado: 16/04/2016.

**Miguel Barrales.** Biólogo y estudiante de Ingeniería en Agronomía de la Universidad Veracruzana (UV), México. Productor y capacitador independiente en el cultivo de

hongos comestibles. Becario de asistente de investigación, CONACYT, México.

**Gerardo Mata.** Biólogo, UV, México. Maestro en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma

de México. Doctor en Ciencias, Institut National Polytechnique de Toulouse, Francia. Profesor e Investigador, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. Dirección: Instituto de Ecología

A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México. e-mail: gerardo.mata@inecol.mx

## SELECTION OF NATIVE STRAINS OF MEXICAN (*Pleurotus opuntiae*) AND EVALUATION OF ITS PRODUCTION ON FERMENTED SUBSTRATES

Miguel Barrales and Gerardo Mata

### SUMMARY

*Pleurotus opuntiae* is an edible mushroom sold wild in markets of central Mexico and highly prized for its good taste; unfortunately, its cultivation has been lagging due to lack of knowledge about the species and its requirements. The goal of this work was to collect, isolate and select strains of Mexican *P. opuntiae* to assess their production in fermented substrates. Nine strains of *P. opuntiae* were isolated and a selection was made by measuring mycelial growth on steam-pasteurized substrates. Three fermented substrates were used: barley straw (PF), sugar cane leaves (CF) and a combination 1:1 of them (PCF). Unfermented substrates were used as controls: barley straw (P) sugar

cane leaves (C) and a mixture 1:1 of both (PC). Biological efficiency (EB) and production rate (TP) of the selected strains and substrates were evaluated. Two strains, IE 837 and IE 863, and two fermented substrates, PF and PCF, were selected. The highest EB was obtained in PC for the strains IE 863 with 105.21% and IE 837 with 86.15%. The highest TP was obtained in PC with 7.03% and the lowest was showed in P with 4.43%. *P. opuntiae* culture is promising, as EBs above 100% were obtained using wild strains. It is necessary to obtain more isolates of wild strains and implement a breeding program for the pilot production of this species.

## SELEÇÃO DE CEPAS NATIVAS DO FUNGO DE MAGUEY (*Pleurotus opuntiae*) E AVALIAÇÃO DE SUA PRODUÇÃO EM SUBSTRATOS FERMENTADOS

Miguel Barrales e Gerardo Mata

### RESUMO

*Pleurotus opuntiae* é um fungo comestível que se comercializa silvestre em mercados da zona centro de México e é muito apreciado por seu bom sabor; lamentavelmente, o cultivo se encontra atrasado pela falta de conhecimento sobre a espécie e seus requerimentos. O objetivo deste trabalho foi colher, isolar e selecionar cepas mexicanas de *P. opuntiae* para avaliar sua produção em substratos fermentados. Recolheram-se e isolaram-se nove cepas de *P. opuntiae* e foi realizada uma seleção medindo o crescimento micelial em substratos pasteurizados com vapor. Utilizaram-se três substratos fermentados: palha de cevada (PF), folha de cana (CF) e uma combinação 1:1 de palha-cana (PCF). Como controle se utilizaram os mes-

mos substratos sem fermentar: palha (P), cana (C) uma mistura dos mesmos (PC). Avaliou-se a eficiência biológica (EB) e a taxa de produção (TP). Selecionaram-se duas cepas, IE 837 e IE 863, e dois substratos fermentados, PF e PCF. A EB mais alta a apresentou a cepa IE 863 em PC com 105,21%, enquanto que a cepa IE 837 mostrou melhor EB em PC com 86,15%. A TP mais alta se obteve em PC com 7,03% e a mais baixa em P com 4,43%. O cultivo de *P. opuntiae* é promissor já que utilizando cepas silvestres, se obtiveram EBs acima de 100%, pelo que se considera necessário realizar mais isolamentos de cepas silvestres e implementar um programa de melhoramento para a produção piloto desta espécie.

### Materiales y Métodos

#### Obtención de cepas

Se colectaron nueve ejemplares de *Pleurotus opuntiae* creciendo en plantas de maguey (*Agave salmiana* Otto) en la comunidad de San José Alchichica, Puebla, México. Las cepas se aislaron de forma vegetativa en medio de cultivo con agar papa y dextrosa PDA (Agar 15g·l<sup>-1</sup>, dextrosa 2g·l<sup>-1</sup>, 4g·l<sup>-1</sup> de papa) diluyendo 39g·l<sup>-1</sup> del mismo, de acuerdo a la metodología de Guzmán *et al.* (2013) y se depositaron para su resguardo en el Cepario del Instituto de Ecología, A.C. El número de registro y la procedencia de las cepas se muestran en la Tabla I.

#### Preparación de inóculo

Se preparó inóculo de las nueve cepas silvestres mexicanas y de una cepa comercial extranjera de *P. pulmonarius* que fue usada como referencia. Para la preparación del inóculo se utilizaron semillas de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) y se siguió la metodología convencional propuesta por Guzmán *et al.* (2013). El inóculo se incubó a 25°C en la oscuridad durante 21 días para permitir que el micelio de las cepas colonizara completamente los granos de sorgo.

#### Preparación y tratamiento de sustratos

Como sustrato se utilizaron paja de cebada (*Hordeum*

*vulgare* L.) y hoja de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Los materiales se cortaron con ayuda de una trozadora de forrajes con el fin de uniformizar el tamaño de partícula (~5cm). Los sustratos se remojaron durante 12h en agua fría y después de escurrir el exceso de humedad, se colocaron en un cajón fermentador de 1m<sup>3</sup> donde se apilaron por

separado para favorecer la fermentación de los mismos de acuerdo al método de Mata y Torres-Hernández (2008). La temperatura, pH y humedad de los sustratos se monitorearon todos los días y en ocasiones se agregó agua extra para alcanzar el 70% de humedad. Se realizaron volteos diarios del sustrato para mantener las condiciones adecuadas de aireación durante

TABLA I  
ESPECIE, PROCEDENCIA Y NÚMERO  
DE REGISTRO DE LAS CEPAS ESTUDIADAS

Especie	Procedencia	Registro
<i>Pleurotus opuntiae</i>	Puebla, México	IE 834, IE 836, IE 837, IE 838, IE 843, IE 861, IE 862, IE 863, IE 771
<i>Pleurotus pulmonarius</i>	EEUU	IE 115

los siete días que duró la fermentación (Muez y Pardo-Núñez, 2001). Se prepararon los siguientes tratamientos: paja de cebada fermentada (PF), hoja de caña de azúcar fermentada (CF) y una combinación 1:1 de los dos anteriores (PCF). También se prepararon sustratos control sin fermentar: paja (P), caña (C) y paja-caña 1:1 (PC).

Posteriormente los sustratos recibieron un tratamiento térmico con vapor a 65°C durante 2h para reducir la presencia de las poblaciones microbianas desarrolladas durante la fermentación. Se utilizó un contenedor cilíndrico de metal (90cm de altura × 58cm de diámetro) dentro del cual se colocó una base de 50cm de alto con la intención de separar el agua y simular un baño María. Se agregó agua suficiente para llegar hasta el nivel de la base. Los sustratos se colocaron en bolsas de lona dentro del contenedor el cual fue cubierto con una bolsa de plástico y sellado con un elástico formando una cámara. Se introdujo un tubo de policloruro de vinilo hasta el centro del sustrato para colocar un cable de un termómetro digital para monitorear y controlar la temperatura del sustrato. El calor se produjo con una hornilla de gas colocada por debajo del contenedor metálico (Figura 1).

#### Selección de cepas

Para seleccionar las cepas con mayor adaptación a los

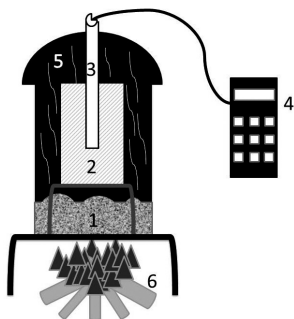


Figura 1. Tratamiento térmico del sustrato en condiciones rústicas. 1: agua, 2: sustrato, 3: tubo de plástico para desechar el exceso de vapor, 4: termómetro con cable, 5: bolsa de plástico para retener el vapor, 6: fuego.

sustratos, se colocaron 20g de cada uno de los sustratos empaquetados, ajustado a 75% de humedad, en cajas Petri de 90×15mm. Las muestras se inocularon colocando en la parte central de la misma un grano del inóculo preparado en semillas de sorgo invadido con el micelio de cada una de las cepas. Las cajas de Petri se sellaron e incubaron en oscuridad por cinco días a 25°C siguiendo la metodología de Mata *et al.* (2011). Se prepararon 10 réplicas por cepa en cada sustrato. Se determinó el crecimiento micelial con ayuda de un microscopio estereoscópico (Carl Zeiss modelo Stemi 2000) marcando con tinta indeleble, en la tapa de la caja Petri, el área que alcanzaron los micelios a los cinco días de incubación. El área de crecimiento micelial se digitalizó con un equipo de cómputo (hpscanjet) y se obtuvieron imágenes que fueron analizadas con el programa IMAG J el cual estimó el área total (cm<sup>2</sup>) de cada muestra.

Se seleccionaron las cepas de rápido crecimiento, las cuales no dan oportunidad a los competidores de instalarse en el sustrato. En el análisis estadístico se tomó en cuenta únicamente el área total de crecimiento cada cepa a los cinco días. Para la producción de basidiomas se seleccionaron los sustratos donde hubo un mejor desarrollo del micelio.

#### Evaluación de la producción de basidiomas

Se prepararon muestras de los sustratos seleccionados colocando 1,5kg de sustrato húmedo en bolsas de plástico. Las muestras se inocularon con las cepas seleccionadas, de acuerdo a la metodología propuesta por Guzmán *et al.* (2013) con 5% de inóculo preparado en semillas de sorgo. Se utilizó la cepa comercial IE 115 de *P. pulmonarius* como referencia para la comparación de la producción de basidiomas. Se realizaron 10 réplicas por cepa en cada sustrato. Un día después de la siembra se realizaron seis

perforaciones de 1cm de diámetro distribuidas homogéneamente en la bolsa para permitir la respiración del micelio.

Las muestras se incubaron en oscuridad a 25°C hasta que el micelio invadió completamente el sustrato. Posteriormente se colocaron en un cuarto de producción en condiciones ambientales controladas con riego dos veces por día (cada 12h), temperatura de 22°C y humedad ambiental de 70-80%. Se evaluó la producción de basidiomas en un período de 30 días. Los ejemplares se colectaron en su estado de madurez, cuando las láminas se encuentran extendidas. Se evaluó la eficiencia biológica (EB= peso fresco de los basidiomas / peso seco del sustrato utilizado × 100) y la tasa de producción (TP= eficiencia biológica / días transcurridos desde la inoculación) (Muez y Pardo-Núñez, 2001). Se depositaron ejemplares secos de los basidiomas obtenidos de las diferentes cepas en la Colección de Hongos del herbario XAL del Instituto de Ecología A.C.

#### Análisis del contenido de fibra del sustrato

Se determinaron las variaciones en el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en los sustratos PF y PCF. Para ello se tomaron muestras de los sustratos sin fermentar (T0) y después del proceso de fermentación de cinco días, una vez terminada la pasterización (T5). También se analizaron muestras del sustrato colonizado por el micelio de las cepas IE 863 e IE 115 al final del período de incubación (INC) y al final del ciclo de cultivo una vez realizadas todas las cosechas en el sustrato residual (RES). Se prepararon muestras de ~250g de sustrato húmedo (T0, T5, INC, RES) las cuales se secaron en un horno a 65°C durante 24h, luego se molieron con un molino eléctrico, hasta obtener un polvo fino. Las muestras fueron examinadas por triplicado con un analizador de fibra Ankom modelo 200/220 (Macedon, NY, EEUU), para la obtención de la concentración de celulosa,

hemicelulosa y lignina a través del análisis de fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y fibra cruda.

#### Análisis estadístico

Los datos de los experimentos de la selección de cepas y la producción de basidiomas, fueron analizados con el paquete estadístico SIGMASTAT y SIGMAPLOT 11.0 mediante un ANOVA y las diferencias significativas se obtuvieron con la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $\alpha=0,05\%$ ). El análisis se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar.

#### Resultados

Durante la fermentación de los sustratos se observó un aumento en el pH y la temperatura (Figura 2). El pH pasó de 6,0 al inicio del experimento a 7,5; 7,9 y 8,5 al final del mismo en los sustratos PCF, CF y PF, respectivamente. Por otra parte, la temperatura alcanzó su máximo nivel a los dos días de fermentación con 30, 34 y 37°C en los sustratos PF, PCF y CF, respectivamente. La estructura y el color del sustrato cambiaron ligeramente durante la fermentación del mismo, lo que produjo un sustrato con buena consistencia, de color oscuro y olor agradable. Las cepas mostraron un crecimiento micelial uniforme en los distintos sustratos, con micelios de color blanco y aspecto algodonoso. La selección de cepas se realizó considerando el promedio de todos los datos de crecimiento de cada cepa en todos los sustratos después de cinco días de incubación (Figura 3). De esta manera se seleccionaron las dos cepas con los promedios más altos de crecimiento: IE 837 e IE 863 con áreas promedio de 12,7 y 11,7cm<sup>2</sup>, respectivamente. La cepa IE 771 presentó el menor crecimiento con 1,7cm<sup>2</sup>.

En lo que respecta a los sustratos, las cepas mostraron mayor crecimiento en los sustratos fermentados, alcanzando promedios de ~14,5cm<sup>2</sup> en PF y de ~13,7cm<sup>2</sup> en PCF (Figura 4). Por tal motivo se seleccionaron

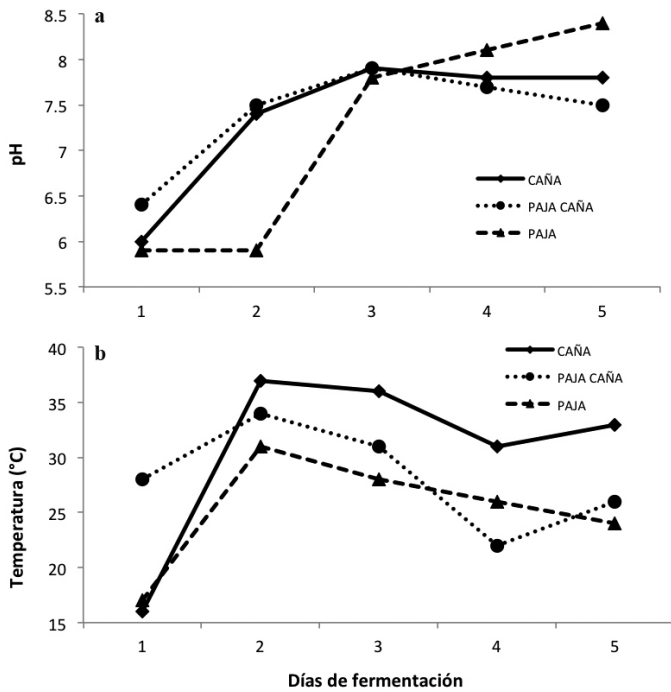


Figura 2. Registros de pH y de temperatura durante el proceso de fermentación de los sustratos estudiados. a: pH. b: temperatura.

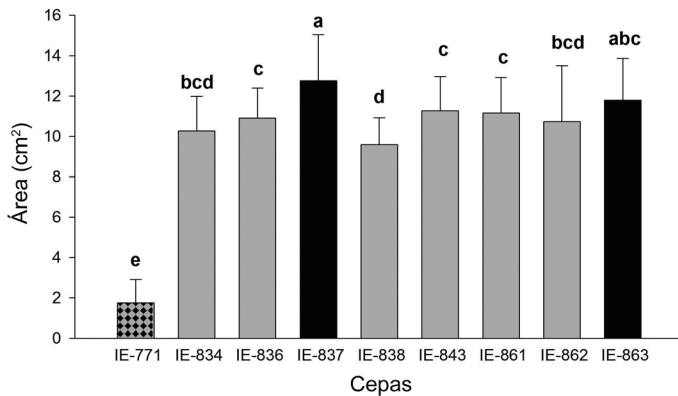


Figura 3. Área de crecimiento micelial promedio (cm<sup>2</sup>) de las cepas de *Pleurotus opuntiae* en todos los sustratos estudiados. En negro se muestran las cepas seleccionadas para la siguiente fase. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

los sustratos preparados a base de paja (P, PF, PC, PCF) para la siguiente etapa del estudio.

Durante el período de incubación todas las muestras presentaron un crecimiento micelial adecuado, invadiendo de manera homogénea el sustrato. No se observaron contaminaciones del sustrato con mohos ni con bacterias. Los primordios de los basidiomas en las cepas IE 837 produjo hongos silvestres e imbricados, mientras que la cepa IE 863 produjo basidiomas dispersos, grandes y correosos (Figura 5).

promedio de basidiomas por muestra fue similar en las cepas de *P. opuntiae* con valores de 78g para la cepa IE 837 y 108g en la cepa IE 863. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre estas cepas pero sí con la cepa comercial de *P. pulmonarius* (IE 115), la cual tuvo una producción de 217,44g en promedio por bolsa. La cepa IE 837 produjo hongos suaves e imbricados, mientras que la cepa IE 863 produjo basidiomas dispersos, grandes y correosos (Figura 5).

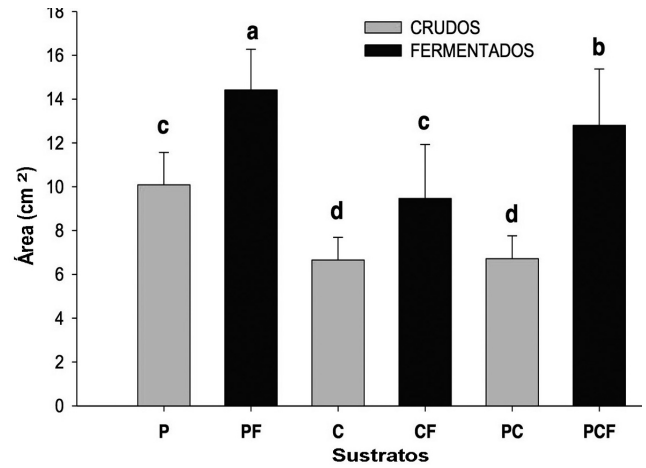


Figura 4. Área de crecimiento micelial promedio (cm<sup>2</sup>) de las cepas de *Pleurotus opuntiae* en los sustratos crudos o fermentados. En negro se muestran los sustratos seleccionados para la siguiente fase. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

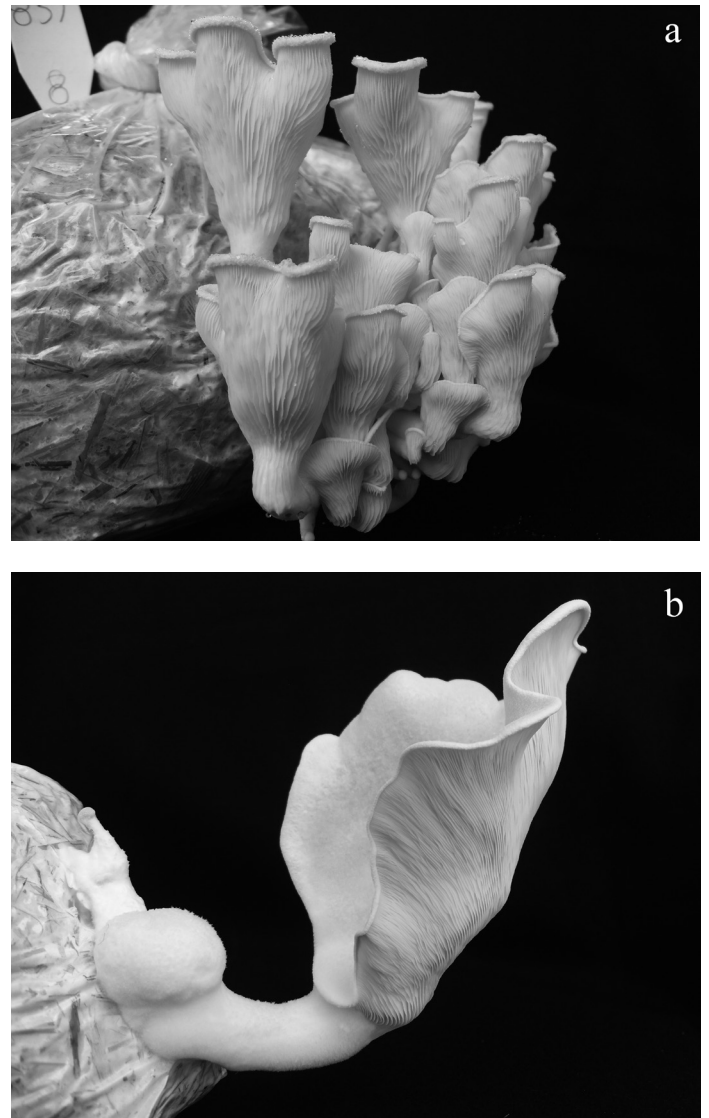


Figura 5. Basidiomas de *Pleurotus opuntiae* en estado de madurez. a: cepa IE 837, b: cepa IE 863.



En cuanto a la eficiencia biológica (EB), las cepas silvestres de *P. opuntiae*, IE 837 e IE 863, mostraron valores por debajo de los obtenidos con la cepa comercial de *P. pulmonarius* IE 115, que van por arriba del 230% (Figura 6). Las tres cepas evaluadas en esta parte del estudio mostraron preferencia por el sustrato adicionado con hojas de caña; sin embargo, la fermentación de dicho sustrato solo produjo un aumento de la EB en la cepa IE 115 de *P. Pulmonarius*, pero con valores que no permiten determinar diferencias significativas. Las EB de las cepas silvestres fueron similares entre si y no se detectaron diferencias significativas; únicamente la cepa IE 863 rebasó el 100% de EB en el sustrato PC (Figura 6).

De acuerdo al análisis de producción de hongos frescos por sustrato, PC y PCF fueron los mejores, obteniéndose las TP más altas. Los valores se muestran en la Tabla II.

La composición inicial (T0) de los sustratos analizados fue similar, con 30, 40 y 4% de celulosa, hemicelulosa y lignina respectivamente en P y 33, 38 y 4% en PC (Figuras 7a, b). Al final del período de fermentación (T5) la composición de los sustratos no mostró variaciones significativas, salvo en los niveles de hemicelulosa. Se observó

una disminución importante de los componentes del sustrato analizados durante el período de incubación (INC), así como al final del período de cosecha (RES). La cepa IE 863 mostró niveles mayores de degradación de la celulosa (49%) y la hemicelulosa (57%) que la cepa IE 115 en el sustrato PF. En el sustrato PF la cepa IE 115 alcanzó niveles de degradación de la lignina de hasta 75%. En el sustrato PCF ambas cepas mostraron niveles similares de degradación de hemicelulosa y lignina, pero la cepa IE 863 mostró nuevamente una mayor degradación de la celulosa (77%) que la cepa IE 115 (Figuras 7a, b).

### Discusión

El consumo de hongos comestibles silvestres juega un papel muy importante en el aprovechamiento de hongos comestibles silvestres a nivel mundial y en México forma parte de la cultura y de las tradiciones, pues según Garibay-Origel *et al.* (2010) los habitantes de diferentes zonas del país consumen 275 especies y, de estas, pocas se cultivan comercialmente y se espera diversificar las especies y técnicas de cultivo en un futuro muy cercano. Ante esta expectativa el ‘hongo del maguey’ puede ser una buena alternativa, ya que las

cepas silvestres estudiadas mostraron eficiencias biológicas entre 86,15 y 105,21%, similares a las reportadas por Romero *et al.* (2012), que van de 77 a 88% en paja de cebada utilizando la misma especie, y son más altas que las reportadas por Gaitán-Hernández *et al.* (2009) en paja de cebada fermentada, de 55,73% con una cepa de *P. pulmonarius*. En el presente trabajo se observó que las cepas de *P. opuntiae* se adaptan bien a la técnica de cultivo convencional que se utiliza para *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*. Dichas cepas mostraron resistencia a los hongos competidores del género *Trichoderma* (datos no presentados), pues se observó que en muestras contaminadas intencionalmente con mohos en cultivo puro se forma una barrera de micelio de *Pleurotus* que inhibe el crecimiento del moho antagonista, lo que también fue observado por Savoie *et al.* (2001). El micelio de las cepas silvestres se desarrolló bien a una temperatura de 25 ±1°C en incubación, aunque el inconveniente en esta etapa fue la aparición tardía de

TABLA II  
PRODUCCIÓN PROMEDIO Y TASA DE PRODUCCIÓN DE TODAS LAS CEPAS EN LOS DIFERENTES SUSTRATOS

Sustrato	Producción (g)	$\sigma$	TP
P	226,6	141,8	4,43
PF	260,5	157,8	4,82
PC	393,9	222,5	7,03
PCF	345,1	283,2	6,03

$\sigma$ : desviación estándar, TP: tasa de producción, P: paja cruda, PF: paja fermentada, PC: paja caña cruda, PCF: paja caña fermentada.

primordios, lo que se solucionó pasando las muestras a un cuarto de producción a 22 ±1°C, aplicando riegos por aspersión tres veces por día. Los primordios aparecieron a los 30 días, el doble de tiempo que la cepa comercial.

Los sustratos que permitieron obtener mejores rendimientos considerando los valores de EB y TP fueron las combinaciones PC y PCF; este último mostró rendimientos ligeramente menores, aunque no hubo diferencias

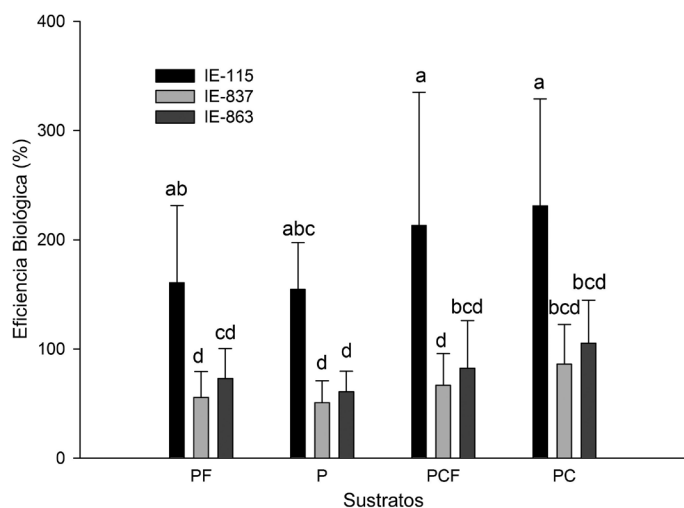


Figura 6. Eficiencia biológica de las cepas de *Pleurotus opuntiae* (IE 837 e IE 863) y *P. pulmonarius* (IE 115) en los diferentes sustratos estudiados crudos y fermentados. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). PF: paja fermentada. P: paja cruda. PCF: paja y hojas de caña fermentadas. PC: paja y hojas de caña crudas.

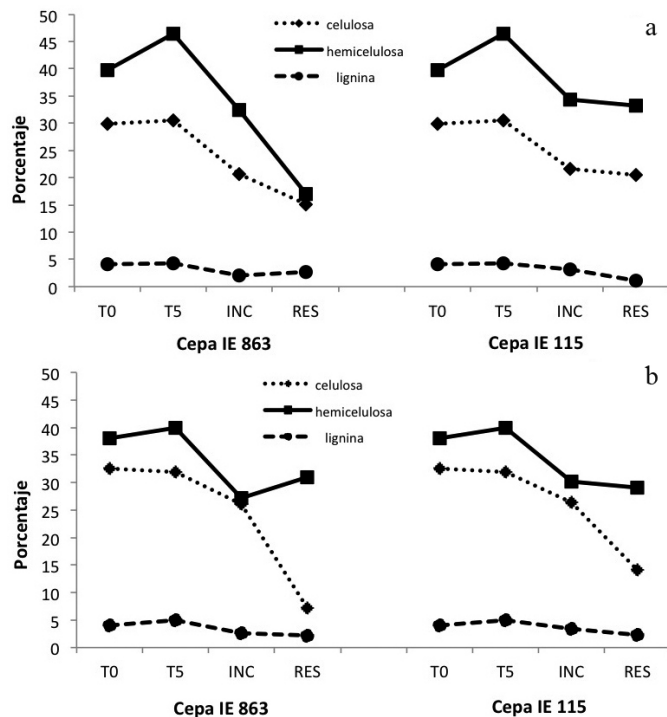


Figura 7. Análisis del contenido de fibra del sustrato a lo largo del ciclo de cultivo en dos cepas de *Pleurotus* (IE 863 *P. opuntiae*, IE 115 *P. pulmonarius*). a: paja. b: paja y hojas de caña, T0: tiempo inicial sin fermentación, T5: cinco días de fermentación, INC: fin del período de incubación, RES: sustrato residual al final del ciclo de cultivo.

estadísticamente significativas, y resultó muy conveniente, pues no se encontró índice alguno de contaminación. Esto probablemente se debe a la fermentación aerobia que promueve el desarrollo de microorganismos que actúan como bioprotectores del sustrato (Velázquez-Cedeño, *et al.*, 2006; Annenkov y Azarova, 2009; Balázs *et al.*, 2010). Los sustratos PC y PCF no solo fueron efectivos en el cultivo de *P. opuntiae*, sino que también dieron buenos rendimientos con la cepa comercial de *P. pulmonarius*, en la que se obtuvo EB de 230,96% en PC y 213,01% en PCF. En este trabajo, la adición de hojas de caña de azúcar a la paja de cebada dio muy buenos rendimientos lo que concuerda con lo reportado por Jaramillo y Albertó (2012), quienes obtuvieron EB de 230% en el cultivo de *P. ostreatus* utilizando hojas de caña de azúcar como sustrato puro. Por otro lado, Mata y Gaitán-Hernández (1995) reportaron EB de 89,4% en el mismo sustrato puro, cultivando la cepa comercial que se utilizó en este trabajo pero difiriendo en la pasteurización, la cual realizaron por inmersión en agua caliente, sistema que provoca un lavado de nutrientes que tiene como resultado una baja producción (Jaramillo y Albertó, 2013).

La obtención de un sustrato selectivo que limite la aparición de organismos antagonistas y que permita obtener niveles de producción adecuados está relacionada con la reducción de los niveles de celulosa y hemicelulosa, así como con el aumento en los valores del pH durante la fermentación del sustrato (Mata y Torres-Hernández, 2008). En este trabajo se observó un aumento considerable en los valores del pH durante los primeros días de fermentación; sin embargo, ninguno de los polisacáridos estudiados mostró una disminución considerable en dicho período (T0-T5). Durante la fase de incubación (INC) se observó una muy marcada disminución de los niveles de celulosa y hemicelulosa, lo

que podría atribuirse al desarrollo micelial y la colonización del sustrato. Por otra parte, la lignina se degradó básicamente durante la fase de producción de basidiomas, de tal manera que al final del ciclo de cultivo (RES) se alcanzaron niveles hasta 75% de degradación en el sustrato PF con la cepa IE 115. La degradación de la lignina parece estar relacionada con un estado fisiológico del hongo en el cual es necesaria la movilización de nutrientes para la formación de las estructuras reproductoras. Si bien en el sustrato residual los niveles de degradación de los polisacáridos estudiados fueron elevados (Figuras 7a, b), las diferencias encontradas en la producción de basidiomas de las cepas no se pueden explicar de manera directa con sólo el análisis de la degradación del sustrato. La cepa comercial de *P. pulmonarius* (IE 115) fue seleccionada por su alta capacidad de adaptación y producción en distintos sustratos, mientras que la cepa IE 863 es una cepa silvestre adaptada de manera natural a un sustrato de composición química muy diferente al utilizado en este trabajo. La adición de suplementos al sustrato puede incrementar la producción de basidiomas; sin embargo, la fermentación del sustrato por periodos cortos seguido de una pasteurización con vapor a 65°C durante al menos 2h facilita la obtención de un sustrato selectivo para el cultivo de *Pleurotus*.

Los resultados obtenidos con las cepas silvestres de *P. opuntiae* son prometedores y abren la posibilidad de cultivar esta especie a nivel piloto. La producción resultante podría ser aceptada en el mercado mexicano debido a que ya existe un consumo basado en el conocimiento tradicional de esta especie y en la producción comercial de otras especies del género *Pleurotus*. Por otra parte, el mercado internacional también se vería beneficiado al aprovechar cepas que le permitan diversificarse y ofrecer nuevos productos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades del Instituto de Ecología, A.C. por las facilidades para la realización de este trabajo, a Carlos Ortega Sánchez por el apoyo para la evaluación de las muestras, así como la revisión crítica del manuscrito realizada por Martín Mata y Elizabeth Hernández, Instituto de Ecología, A.C.

## REFERENCIAS

- Annenkov BG, Azarova VA (2009) Comparative evaluation of methods of increasing selectivity of straw substrates for successful growing of oyster mushrooms according to European technology. *Russ. Agric. Sci.* 35: 390-393.
- Bahukhandi D, Munjal RL, Kapoor JN (1989) Cultivation trials of *Pleurotus opuntiae*. *Curr. Sci.* 58: 856-857.
- Balázs V, Nagy A, Sajben E, Manczinger L, Szijártó N, Kádár Z, Bordás D, Márialigeti K (2010) Microbial community structure changes during oyster mushroom substrate preparation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86: 367-375.
- Camacho M, Guzmán G, Guzmán-Dávalos L (2012) *Pleurotus opuntiae* (DurieuetLév.) 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.
- Gaitán-Hernández R, Salmones D, Pérez-Merlo R, Mata G (2009) Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. *Rev. Mex. Micol.* 30: 63-71.
- Garibay-Origel R, Ruan-Soto F, Estrada-Martínez E (2010) El conocimiento micológico tradicional, motor para el aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales. En Martínez-Carrera D, Curvetto N, Sobal M, Morales P, Mora VM (Eds.) *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI*. Colegio de Posgraduados. Puebla, México. pp. 243-270.
- García-Rollan M (2007) *El Cultivo de Setas y Trufas*. 5a Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 256 pp.
- Guzmán G, Mata G, Salmones D, Soto-Velazco C, Guzmán-Dávalos

L (2013) *El Cultivo de los Hongos Comestibles con Especial Atención a Especies Tropicales y Subtropicales en Esquilmos y Residuos Agro-Industriales*. Instituto Politécnico Nacional. México. 245 pp.

- Jaramillo S, Albertó E (2012) El despunte de caña de azúcar, sustrato altamente eficiente para el cultivo de *Pleurotostreatus*. En Sánchez JE, Mata G (Eds.) *Hongos Comestibles y Medicinales. Investigación y Desarrollo en un Entorno Multicultural*. Colegio de la Frontera Sur-Instituto de Ecología. Tapachula, México. pp. 155-160.
- Jaramillo S, Albertó E (2013) Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. *Rev. Iberoam. Micol.* 30: 125-129.
- Martínez-Carrera D, Larque-Saavedra A, Morales P, Sobal M, Martínez W, Aguilar A (1993) Los hongos comestibles en México: Biotecnología de su producción. *Ciencia y Desarrollo* 108: 41-49.
- Mata G, Gaitán-Hernández R (1995) Cultivo de *Pleurotus* en hojas de caña de azúcar. *Rev. Mex. Micol.* 11: 17-22.
- Mata G, Torres-Hernández FE (2008) Effect of aerobic fermentation substrate in the production of *Pleurotus ostreatus* and its resistance to *Trichoderma viride*. En Lelley JI, Buswell JA (Eds.) *Mushroom Biology and Mushroom Products*. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Mushroom Biology and Mushroom Products. WSBMP-GAMU. Bonn, Alemania. pp. 74-82.
- Mata G, Ortega C, Pérez-Merlo R (2011) Inóculo suplementado: evaluación de un método para optimizar la producción de inóculo para el cultivo de *Pleurotus* en pulpa de café. *Rev. Mex. Micol.* 34: 53-61.
- 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.
- Muez MA, Pardo-Núñez J (2001) La preparación del sustrato. En Sánchez JE, Roysse D (Eds.) *La Biología y Cultivo de Pleurotus spp.* Colegio de la Frontera Sur - Limusa. San Cristobal de las Casas, México. pp. 159-184.
- Romero C, Romero R, Ayala-Sánchez N, Esparza E (2012) Biotecnología agroalimentaria: crecimiento y desarrollo de *Pleurotus* sobre diversos sustratos. En Martínez R, Martínez

- GE, Martínez MC (Eds.) *Recursos Naturales y Sistemas Productivos*. Universidad Autónoma Indígena de México-Universidad de Occidente. México. pp. 197-217.
- Sánchez JE, Mata G (2012) Cultivo y aprovechamiento de macromicetos. Una tendencia global en crecimiento. En Sánchez JE, Mata G (Eds.) *Hongos Comestibles y Medicinales. Investigación y Desarrollo en un Entorno Multicultural*. Colegio de la Frontera Sur - Instituto de Ecología. Tapachula, México. pp. 365-376.
- Savoie JM, Mata G, Mamoun M (2001) Variability in brown line formation and extracellular laccase production during interaction between white-root basidiomycetes and *Trichoderma harzianum* biotipe Th2. *Mycologia* 93: 243-248.
- Velázquez-Cedeño M, Mata G, Farnet AM, Savoie JM (2006) Estudio preliminar de la microflora bacteriana termotolerante de la pulpa de café y la paja de trigo con potencial de inhibición contra *Trichoderma viride* en el cultivo de *Pleurotus* spp. *Rev. Mex. Micol.* 22: 33-39.