



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**

División Académica de Ciencias Biológicas

**“Caracterización de la especie silvestre comestible  
*Schizophyllum commune* (Fungi: Basidiomycota):  
taxonomía y protocolo para su cultivo”**

**TESIS**

**Doctorado en Ciencias en Ecología  
y Manejo de Sistemas Tropicales**

Presenta:

**SANTA DOLORES CARREÑO RUIZ**

**ASESORES**

Dra. Silvia Cappello García

Dr. Rigoberto Gaitán Hernández



Villahermosa, Tabasco

Enero de 2020



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 08 de Noviembre de 2019

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a al **C. SANTA DOLORES CARREÑO RUIZ** egresada del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE SILVESTRE COMESTIBLE *Schizophyllum commune* (FUNGI: BASIDIOMYCOTA): TAXONOMÍA Y PROTOCOLO PARA SU CULTIVO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**UJAT  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado





**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

NOVIEMBRE 08 DE 2019

**C. SANTA DOLORES CARREÑO RUIZ  
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y  
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE SILVESTRE COMESTIBLE *Schizophyllum commune* (FUNGI: BASIDIOMYCOTA): TAXONOMÍA Y PROTOCOLO PARA SU CULTIVO"**, asesorado por la Dra. Silvia Cappello García y Dr. Rigoberto Gaitán Hernández, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por la Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Dr. Magdiel Torres de la Cruz, Dr. José Ángel Gaspar Génico, Dra. Silvia Cappello García, Dr. Rigoberto Gaitán Hernández, Dr. José Edmundo Rosique Gil y Dr. Eduardo Salvador López Hernández.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

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

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**



C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **“CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE SILVESTRE COMESTIBLE *Schizophyllum commune* (FUNGI: BASIDIOMYCOTA): TAXONOMÍA Y PROTOCOLO PARA SU CULTIVO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 08 Días del mes de Noviembre de 2019.

AUTORIZO



---

SANTA DOLORES CARREÑO RUIZ

## ÍNDICE

CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1. 2. ANTECEDENTES.....	3
1. 2.1. Generalidades de la especie .....	3
1. 2.1.1. Morfología.....	3
1. 2.1.2. Ciclo de vida.....	4
1. 2.1.3. Hábitat y distribución.....	5
1. 2.1.4. Valor de uso.....	6
1. 2.1.4.1. Comestibilidad.....	6
1. 2.1.4.2. Venta tradicional en México.....	7
1. 2.1.4.3. Importancia medicinal.....	8
1. 2.1.4.4. Importancia biotecnológica.....	8
1. 2.2. Estado del arte.....	9
1. 2.2.1. Taxonomía del género <i>Schizophyllum</i> .....	9
1. 2.2.2. Identidad genética de <i>S. commune</i> .....	11
1.2.2.3. Antecedentes sobre la evaluación de cepas y sustratos para el cultivo de <i>S. commune</i> .....	13
1. 2.2.4. Antecedentes sobre la producción de basidiomas de <i>S. commune</i> .....	14
1. 2.2.5. Estudios sobre la composición química de <i>S. commune</i> .....	15
1. 3. JUSTIFICACIÓN.....	16
1. 4. OBJETIVOS.....	17
1. 4.1. Objetivo General.....	18
1. 4.2. Objetivos específicos.....	18
1. 5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1. 6. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	18
1. 7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
1. 7.1. Revisión taxonómica del género <i>Schizophyllum</i> .....	19
1. 7.2. Evaluación de la identidad genética de las especies de <i>Schizophyllum</i> .....	19

1. 7.2.1. Obtención de las cepas de <i>Schizophyllum</i> .....	19
1. 7.2.2. Identificación molecular.....	21
1. 7.2.3 Análisis filogenético.....	21
1. 7.3 Preselección de cepas y sustratos <i>in vitro</i> .....	22
1. 7.3.1. Elaboración de inóculo primario.....	22
1. 7.3.2. Inoculación de los sustratos.....	23
1. 7.3.3 Evaluación del crecimiento micelial <i>in vitro</i> .....	23
1. 7.4. Evaluación de la fructificación de <i>S. commune</i> en invernadero.....	24
1. 7.4.1. Revitalización de las cepas.....	24
1. 7.4.2. Preparación de sustratos.....	24
1. 7.4.3. Siembra en invernadero.....	25
1. 7.4.4. Estimación de los índices de producción.....	26
1. 7.5. Evaluación de la composición química de los carpóforos y los sustratos residuales del cultivo de <i>S. commune</i> .....	26
1. 7.6. Análisis estadísticos.....	27
1. 7.6.1 Evaluación del crecimiento micelial de las cepas.....	27
1. 7.6.2. Evaluación de la producción de <i>S. commune</i> .....	27
1. 7.6.3. Evaluación de las características químicas de los basidiomas y los sustratos. ....	28
1. 8. LITERATURA CITADA.....	28
CAPITULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO: New record of <i>Schizophyllum</i> (schizophyllaceae) from México and the confirmation of its edibility in the humid tropics.....	39
CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO: Producción de basidiomas de <i>Schizophyllum commune</i> (Fungi: Basidiomycota) en subproductos agrícolas de Tabasco, México.....	54
CAPÍTULO IV.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BASIDIOMAS DE <i>S. commune</i> Y DE LOS SUSTRATOS DE CULTIVO	70
4.1. Análisis proximal de los basidiomas .....	70
4.2. Análisis químico y de fibra de los sustratos residuales .....	72
Anexo 1. Fotografías representativas del trabajo de la investigación.....	76

## **DEDICATORÍA**

Este logro lo dedico con mucho amor:

A mis padres, **Aureliano Carreño Franco** y **Juana Ruiz García**.

A mis hermanos, **Magdalena** y **Carlos**.

A mis sobrinas **Alba Luz**, **Alejandra** y **Liliana**.

A mi pequeño **Mael**.

A la memoria de mis abuelos y de todas las personas especiales en mi vida, a quienes desafortunadamente no tuve la oportunidad de platicarles o mostrarles este trabajo †.

**“Espero que esta tesis motive a todos los que la lean,  
a realizar algo diferente,  
siempre con la consigna de hacer el bien  
y por siempre servir a la madre tierra y al prójimo”**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la División Académica de Ciencias Biológicas (UJAT) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-443982) por la beca otorgada.

A la **Dra. Silvia Cappello García**

¡Doc Silvita, lo logramos!... ¡Muchas gracias por sus enseñanzas! Por compartir conmigo su pasión por los hongos, por motivarme a pulir mi aprendizaje durante estos últimos cinco años, por aguantar mis llantos y necesidades, por esas mañanas y tardes enteras de trabajo intenso, en las que nunca me faltó una sonrisa suya, una comida muy rica con el calor de hogar, un abrazo, la lectura de algún poema, una canción y todo aquello tangible e intangible que hizo posible levantar nuestros ánimos. Han sido tantas experiencias a su lado y deseo que sigamos haciendo historia con los hongos muchos años más, juntas. La quiero mucho.

**Dr. Eduardo Salvador López Hernández**

¡Muchas gracias por brindarme su amistad, su cariño y su apoyo incondicional en todo momento! Admiro y respeto su trabajo invaluable con la educación ambiental y especialmente con las comunidades indígenas, sus logros son una inspiración para mí.

Al **Dr. Rigoberto Gaitán Hernández**

Muchas gracias por asesorarme siempre y colaborar en todo el proceso de la investigación. Por los apoyos que me ha otorgado en las estancias académicas que he realizado en el Instituto de Ecología A. C... ¡Valoro enormemente su amplia experiencia, sus consejos sabios y su amistad! Espero que sigamos trabajando juntos, muchos años más.

Al comité revisor de este trabajo: **Dra. Nelly Del Carmen Jiménez Pérez, Dr. Magdiel Torres De la Cruz, Dr. José Ángel Gaspar Génico y Dr. José Edmundo Rosique Gil...** ¡Muchas gracias por su dedicación y las aportaciones realizadas a este trabajo!

Agradezco de manera muy especial a mi colega y mejor amigo... **Mario Eduardo Sosa...** ¡Nunca olvidare todo lo que hiciste por mí en esta etapa de mi vida! Estoy y estaré eternamente agradecida contigo hermanito. Este logro también es tuyo.

A **Silvia Arias García...** La persona que siempre me brinda su amistad, su cariño y confianza y en la que siempre puedo contar para lo que sea. ¡Muchas gracias amiguita linda!

A **Jesús Eduardo Guzmán Domínguez...** ¡Muchas gracias Lalo, por tu tiempo, tus consejos, abrazos y risas! Realmente son un apreciado regalo en mi vida.

A mis **excelentes amigos:**

Carlos Ernesto, Marcela, Abi, Esmeralda, Alina, Mara, José Padilla, Pedro Díaz, Manuel J. Lara, Luis Miguel García Ríos.

A todo el personal de la División Académica de Ciencias Biológicas que de una forma u otra hicieron posible este trabajo. A mis alumnos y a los vendedores de hongos del mercado local de Teapa, Tabasco.

**Indudablemente y por cuestiones de espacio seguramente no pude colocar otros nombres de personas maravillosas que conocí en este recorrido realizado durante cinco años de trabajo, por ello, una disculpa.**



## RESUMEN

**Introducción.** *Schizophyllum commune* Fr. 1815 es un hongo comestible que se ha estudiado escasamente en México en el contexto taxonómico y con fines de su producción. **Objetivo.** El presente estudio, tuvo por objetivo, identificar adecuadamente a *S. commune* a fin de obtener cepas auténticas de la especie y seleccionar sustratos agrícolas regionales disponibles para su producción en condiciones tropicales. **Método.** En la primera etapa de la investigación, se realizó una revisión macro y micromorfológica detallada de especímenes de *Schizophyllum* del Herbario UJAT, también se revisaron ejemplares frescos y basidiomas comercializados en el mercado de Teapa, Tabasco. La identificación taxonómica se realizó con ayuda de claves dicotómicas, se complementó con la identificación molecular de la especie y el desarrollo de un análisis filogenético. Para la segunda fase de investigación, se evaluó la velocidad de crecimiento micelial *in vitro* de cuatro cepas de *S. commune* en cuatro sustratos lignocelulósicos: cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753), hojas de plátano (*Musa x paradisiaca* L., 1753), hojas de maíz (*Zea mays* L. 1753) y madela de palo mulato como testigo (*Bursera simaruba* L. Sarg. 1890). A partir de ello, se seleccionaron dos cepas y tres sustratos para evaluar la producción de basidiomas en dos sistemas de producción, bolsas y bandejas, mediante los índices: Eficiencia Biológica (EB), Rendimiento (R) y Tasa de producción (TP). Adicionalmente, se realizaron análisis proximales de los basidiomas cultivados y de los sustratos residuales del cultivo. **Resultados.** Se constató que *S. commune* es altamente similar a la especie *S. radiatum* por lo que es de suma importancia identificarla con base en sus características micromorfológicas. Además, se identificó que *S. radiatum* es una especie abundante en el Estado, un nuevo registro para México y un nuevo registro comestible. La mayor velocidad de crecimiento micelial se registró en la cáscara de cacao por la cepa CCG003 ( $51.6 \pm 22.1$  mmd<sup>-1</sup>), así mismo, en dicho sustrato se registró una velocidad de  $64.4 \pm 18.1$  mmd<sup>-1</sup> por la cepa CCG013, no así para la cepa CCG009 cuya velocidad fue de  $86.9 \pm 17.8$  mmd<sup>-1</sup> en la hoja de maíz, y para la cepa CCG010 fue de  $58 \pm 7.8$  mmd<sup>-1</sup> en la hoja de plátano, en comparación con el sustrato testigo ( $117.2 \pm 7.4 - 120 \pm 0$  mmd<sup>-1</sup>). En cuanto a la producción de basidiomas, los valores de EB ( $12.8 \pm 2.6$ ), R ( $4.1 \pm 0.8$  a) y TP ( $0.7 \pm 0.1$ ) más altos se registraron en la cáscara de cacao por la cepa CCG009 cultivada en bolsa, en un ciclo de cultivo de 28 días. Los basidiomas cultivados en la hoja de plátano y en la cáscara de cacao muestran un alto contenido nutricional de proteína de  $22.67 \pm 0.73$  y  $19.58 \pm 0.69$ , respectivamente, fibra cruda y minerales entre otros. **Conclusión.** Se concluye que la producción de *S. commune* es mejor en bolsa, considerándose una opción viable de producción de alimento en condiciones tropicales.

## **CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**

### **1. 1. INTRODUCCIÓN**

En general los hongos comestibles se consideran organismos con un gran potencial alimenticio, medicinal y biotecnológico, lo cual se ha constatado mediante el estudio y el aprovechamiento intensivo de especies como el champiñón [*Agaricus bisporus* (J. E. Lange) Imbach], el hongo seta [*Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm] y el shiitake [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler]. Estas especies se encuentran ampliamente documentadas en cuanto a su valor nutricional, propiedades medicinales y en los aspectos de su cultivo, además de reconocerles como los principales hongos producidos a escala comercial (Andrade-Gallegos *et al.*, 2013).

La mayor producción de los hongos comestibles se realiza en China y en Estados Unidos y para la región Iberoamericana, México y Brasil se consideran los principales productores. En los sitios de cultivo, la infraestructura implementada y las condiciones climáticas representan factores sumamente importantes para el éxito de la producción, lo que propicia que algunas especies sean más factibles de cultivar que otras (Andrade-Gallegos *et al.*, 2013).

En los últimos años, se ha señalado que a nivel mundial la producción comercial de los hongos comestibles continuará en crecimiento. Para este sector, en el periodo 2019-2023 se estima un incremento del 7.9% de ganancias en dólares (Market Report, 2019). Así mismo, se prevé impulsar innovaciones para mejorar su aplicabilidad y generar continuamente las tecnologías para aumentar su vida útil (Markets and Markets, 2014). De manera similar, en Iberoamérica se ha constatado un crecimiento constante con la misma tendencia a nivel mundial, dado que para este cultivo se emplean recursos poco aprovechados, con beneficios ecológicos, económicos y sociales (Andrade-Gallegos *et al.*, 2013).

Por otra parte, existe un interés por producir nuevas opciones de hongos comestibles, debido a sus cualidades nutritivas y medicinales constatadas por

especialistas en esta materia, lo que incrementa su demanda (Royse, 2018). Gracias a la biología saprobia y facultativa de estas especies, es posible desarrollar su cultivo sobre sustratos o subproductos lignocelulósicos generados a partir de actividades agrícolas como aserrines, rastrojos, pajas y esquilmos, entre otros (Thawthong et al., 2014).

En este sentido, es importante investigar los procesos biotecnológicos que permitan impulsar el cultivo de las especies comestibles que en términos de producción comercial han sido escasamente estudiadas y principalmente los hongos comestibles que se distribuyen de manera natural en las regiones tropicales, al formar parte de un área geográfica que en el terreno micológico se considera poco explorada tanto en términos de diversidad como de su potencial biotecnológico y en donde el cultivo de los mismos resulta un tema novedoso (Mata y Savoie, 2012; Moreno-Fuentes, 2014; Royse, 2018).

En México, los hongos silvestres comestibles forman parte del patrimonio biocultural, constituido por aproximadamente 371 especies que se consumen tradicionalmente desde épocas prehispánicas (Garibay y Ruan, 2014; Moreno-Fuentes, 2014). De esta cifra, se ha mencionado que al menos 150 especies podrían ser sujetas de aprovechamiento para su cultivo (Garibay-Origel et al., 2010), por lo que, dada la gran diversidad biológica y cultural del país, resultaría conveniente la diversificación de especies de interés comercial, como aquellas incluidas en los géneros *Auricularia*, *Ganoderma*, *Pleurotus*, *Oudemansiella*, *Polyporus*, *Pycnoporus* y *Schizophyllum*, entre otros (Moreno-Fuentes, 2014).

Un hongo comestible y medicinal apreciado en México, particularmente en la región sureste, es *Schizophyllum commune* Fr. 1815, al cual se le atribuye un valor cultural y gastronómico importante en seis Estados del país, incluyendo a Tabasco, donde se ha señalado su venta a escala local. Gracias a su capacidad para desarrollarse en una gran cantidad de sustratos lignocelulósicos, esta especie se ha referido como uno de los candidatos ideales para experimentar y emprender su producción

a mediana escala, con la finalidad de obtener este tipo de alimento en la cantidad deseada durante cualquier época del año, especialmente en sitios con elevada pobreza y marginación social, en donde se ha constatado su aceptación y consumo (Moreno-Fuentes, 2014).

En contraposición, a pesar de la importancia que se atribuye a este recurso, ha recibido poca atención en cuanto a la generación de información taxonómica para su adecuada identificación, por lo que es posible que *S. commune* se confunda morfológicamente con otras especies pertenecientes al mismo género, aunado a ello, en México se carece de información relativa a su ciclo de cultivo, principalmente en las regiones tropicales, donde su consumo y su venta tradicional dependen totalmente de la recolecta de carpóforos silvestres por temporadas.

La falta de investigaciones al respecto, ha incidido en el desconocimiento de la información básica para poder identificar adecuadamente a la especie en el medio silvestre y en consecuencia se carece de información sobre el aislamiento, mantenimiento y preservación de las cepas para desarrollar su cultivo.

Por lo anterior, la presente investigación se realizó con el propósito de identificar adecuadamente a *S. commune* en el contexto taxonómico y generar un protocolo para desarrollar su cultivo en condiciones tropicales.

## **1. 2. ANTECEDENTES**

### **1. 2.1. Generalidades de la especie**

#### **1. 2.1.1. Morfología**

*Schizophyllum commune* se caracteriza por basidiomas flabeliformes, en forma de abanico o connados, de 5 a 60 mm de diámetro x 10 a 40 mm de la base hacia el borde, sésil a subestipitado, con bordes irregulares. La superficie del píleo es color blanca grisácea (N<sub>10</sub>M<sub>00</sub>C<sub>00</sub>-Kuppers, 1996), velluda, lanosa y de consistencia correosa. El himenio presenta láminas bífidas o divididas en dos a todo lo largo del

borde, de color pardusco claro (N<sub>00</sub>A<sub>10</sub>M<sub>00</sub>-Kuppers, 1996) (Figura 1), con basidiosporas de 4.1-5.4 × 1.67-2.9 μm, cilíndricas, apiculadas, lisas, hialinas, gutuladas, no amiloides, basidios tetraspóricos, alargados, claviformes y fibulados (Carreño- Ruiz *et al.*, 2014).



Figura 1. Vista del himenio laminar del basidioma de *S. commune* sobre un tronco en descomposición (Fotografía: Víctor Herman Gómez García).

#### 1. 2.1.2. Ciclo de vida

Su ciclo de vida es común al de los basidiomicetes; inicia cuando una basidiospora (meiospora) germina para producir un micelio monocariótico haploide. Dos complejos sexuales de compatibilidad opuesta controlan la compatibilidad sexual en los monocariones y regulan el mantenimiento del estado dicariótico. La fusión del micelio haploide monocariótico sexualmente compatible, resulta en la formación del micelio dicariótico. Las hifas de los dicariones, desarrollan fíbulas en cada septo, mientras que las hifas monocarióticas no lo hacen. El dicarion es la estructura vegetativa predominante en *S. commune* y en la mayoría de los basidiomicetes. Bajo condiciones apropiadas el dicarion produce los basidiomas, en los cuales ocurre la meiosis. Ambos tipos de micelio (monocariótico y dicariótico) son capaces de crecer indefinidamente, permitiendo el mantenimiento y duplicación del genotipo (Clark y Anderson, 2004) (Figura 2).



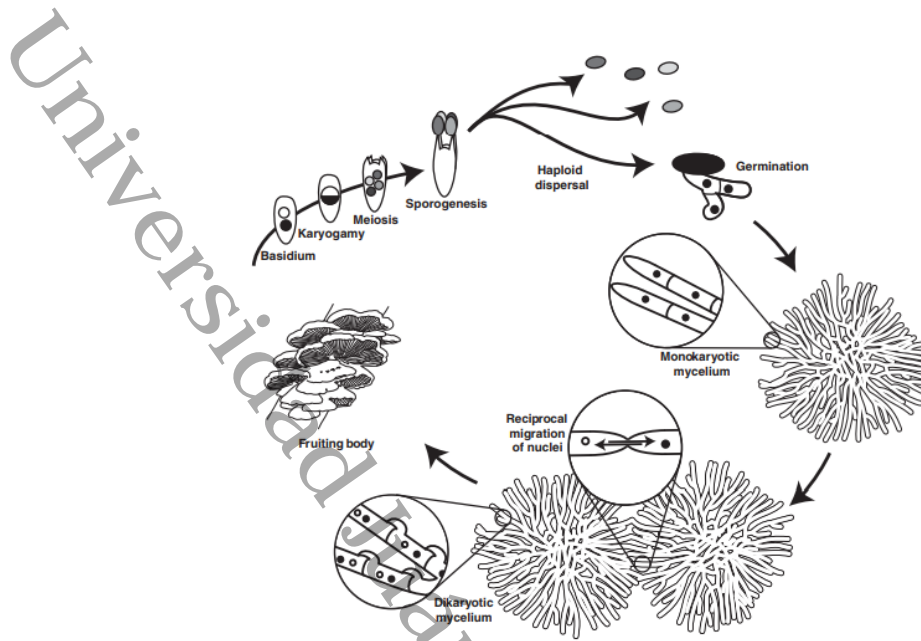


Figura 2.- Esquema del ciclo de vida de *S. commune* (Fuente: Nieuwenhuis *et al.*, 2013)

### 1. 2.1.3. Hábitat y distribución

*Schizophyllum commune* crece principalmente sobre troncos de árboles caídos o en ramas recién cortadas, generalmente en grupos numerosos, en madera muerta o en plantas vivas en más de 500 hospederos (Vázquez-Mendoza, 2013; Farr y Rossman, 2017). Sobrevive en época seca, en madera expuesta al sol (Mata, 1999), causa pudrición blanca y se presenta en diferentes tipos de vegetación como: bosques tropicales y subtropicales, bosques mesófilos de montaña, bosques de *Quercus*, *Pinus* y *Abies*, bosques espinosos, matorrales xerófilos, praderas, vegetación costera y urbana, y en cultivos frutales (Olivo-Aranda y Herrera, 1994).

Se le considera una especie con distribución mundial, excepto para la Antártida (Chang y Lui, 1969; Adejaye *et al.*, 2007; Ohm *et al.*, 2010) y se encuentra a lo largo de todo el año (Degreef *et al.*, 1997).

La distribución de esta especie, se ha atribuido a la capacidad de dispersión que presentan las esporas a largas distancias, inclusive entre poblaciones

intercontinentales (James *et al.*, 2001). Sin embargo, se han revelado diferencias genéticas basadas en análisis moleculares de la frecuencia de alelos para un mismo locus, presente en micelios obtenidos a partir de esporas muestreadas en el aire de diversas regiones geográficas, mediante las cuales se ha reconocido un grupo de América del Norte, un grupo de América del Sur y un grupo del Hemisferio Oriental a los que pertenecen especímenes de Europa, Asia y África (James *et al.*, 2001; Vellinga, 2013).

#### **1. 2.1.4. Valor de uso**

##### **1. 2.1.4.1. Comestibilidad**

En el contexto mundial, *S. commune* es popular entre los hongos comestibles de las zonas tropicales. Existen registros de su consumo en México (Olivo-Aranda y Herrera, 1994), India (Longvah y Deosthale, 1998), Japón (Paulí, 2000), Benin, China, Etiopía, Ghana, Hong Kong, Madagascar, Malawi, Perú, República Centroafricana, República Democrática Popular Lao y Zambia (Boa, 2005), Nigeria (Adejoye *et al.*, 2007), Guatemala (Bran-González *et al.*, 2009), Filipinas (Reyes *et al.*, 2013), Malasia, Tailandia (Mirfat, 2014), Argentina (Figlas *et al.*, 2014) y Ucrania (Ivanova *et al.*, 2014), entre otros.

En México los registros de su consumo se atribuyen principalmente a los grupos indígenas de las zonas rurales de diferentes Estados de la región sureste, como Veracruz (donde es conocido como “chiquite” u “hongo de chaca”), Puebla (se le conoce como “oreja de ratón”), Oaxaca (conocido como “hongo blanco”), Chiapas (mencionado como “xikin che”, “afumaditos”, “cascarilla de madera”, “pajarito”, “sulte”, “tehuizhanacame”), Tabasco (se conoce como “oreja de palo”, “cusucho”, “muca”, “orejita criolla”) y Quintana Roo (mencionado como “oreja de palo”) (Guzmán, 1977; Guzmán 2003; Ruan-Soto *et al.* 2004; Ruán-Soto *et al.*, 2006.; Ruán-Soto *et al.*, 2009; Ruán-Soto y Cifuentes-Blanco, 2011; Vázquez-Mendoza, 2012 y Gaitán-Hernández *comp. pers.*).

#### 1. 2.1.4.2. Venta tradicional en México

Es de señalarse que en México, *S. commune* es un hongo de gran importancia cultural y económica, particularmente para la región de la planicie costera del Golfo, en donde se ha registrado su venta abundante en cuatro mercados de Oaxaca (Tuxtepec, Ojitlán, Valle Nacional y Chiltepec) y dos mercados de Tabasco (Teapa y Macuspana), observándose que los vendedores, en su mayoría mujeres indígenas, comercializan desde bolsas pequeñas hasta sacos enteros de 70 x 120 cm aproximadamente, demostrando su amplia presencia dentro de las especies de hongos que se consumen en la región sur del País (Ruán-Soto *et al.*, 2006) (Figura 2).



Figura 2.- Imagen de la venta de *S. commune* en junto con otros productos de venta tradicional en el mercado "Diana Córdova de Balboa" en Teapa, Tabasco (Fotografía: Santa D. Carreño Ruiz).

En Teapa, Tabasco esta especie se emplea en la elaboración de guisos tradicionales como el denominado "mone" (Ruán-Soto *et al.*, 2006; Ruán-Soto y Cifuentes Blanco, 2011) y para la Sierra Norte de Puebla, se ha registrado su consumo preparado en sopa y como estimulante ligero (Vázquez-Mendoza, 2012).

#### **1. 2.1.4.3. Importancia medicinal**

Por lo que respecta a su valor medicinal, se ha señalado que *S. commune* posee propiedades antibióticas, antitumorales, antioxidantes, y anticancerígenas, por lo que farmacológicamente es muy importante. Produce el polisacárido inmunoestimulante schizophylano o sonifilano ((1→3)-β-D-glucano con ramificaciones (1→6)-β-D-glucosil), el cual se utiliza ampliamente para el tratamiento de cáncer cervical en los países asiáticos, principalmente (Ooi y Liu, 2000; Chang y Miles, 2004).

Así mismo, en la medicina tradicional china, se utiliza en forma de infusiones contra la leucorrea (Ying *et al.*, 1987; Chang y Miles, 2004; Hobbs, 2005; Adejaye *et al.*, 2007; Calongue, 2011; Vázquez-Mendoza, 2012) y se ha empleado para regular la presión sanguínea (Boa, 2005).

#### **1. 2.1.4.4. Importancia biotecnológica**

*Schizophyllum commune* se ha catalogado como una especie de importancia genética y biotecnológica. Se ha utilizado como un modelo para comprender la biología de los hongos y las interacciones de apareamiento en los hongos basidiomicetes principalmente (Raper y Fowler, 2004), así mismo se ha utilizado como productor de etanol, productor de algunos compuestos orgánicos volátiles que tienen efectos nematocidas, así como su potencial insecticida (Kaur *et al.*, 2018).

Por otra parte, esta especie se ha caracterizado por generar pudrición blanca a pesar de habersele identificado una capacidad limitada para degradar lignina, lo cual se atribuye a que dentro de su genoma carece de genes que codifican peroxidasas de clase II de la familia AA 2. Recientes comparaciones genómicas de 33 basidiomicetos sugieren que *S. commune* es un intermediario entre la podredumbre blanca y la podredumbre café en términos de familias de genes que codifican enzimas que degradan lignocelulosa, sin embargo, sigue siendo objeto de estudio debido a los informes limitados que caracterizan sus enzimas lignocelulolíticas (Hirai *et al.*, 2008).

## 1. 2.2. Estado del arte

### 1. 2.2.1. Taxonomía del género *Schizophyllum*

En cuanto a su identificación taxonómica, *S. commune* al igual que otras especies adscritas al mismo género han sido escasamente estudiadas a nivel mundial. En el contexto histórico, los estudios más representativos se atribuyen a Linder (1933), quien realizó una revisión detallada sobre los caracteres microscópicos distintivos de las especies procedentes del hemisferio occidental (ejemplares de Canadá, Estados Unidos y algunos sitios de México) con lo cual reconoció dos grupos principales, el primero constituido por *S. commune*, *S. radiatum* Fries 1855, *S. brevilamellatum* Linder 1933 y *S. fasciatum* Patouillard 1887, con píleos mayores a 1.5 cm de diámetro y el segundo grupo constituido por *S. leprieurii* Linder 1933 y *S. umbrinum* Berkeley 1851, con píleos menores a 1.5 cm de diámetro. Adicionalmente Linder ubicó este género dentro de la familia Agaricaceae.

Posteriormente Cooke (1961) realizó una revisión de las estructuras microscópicas de especímenes provenientes de diversas partes del mundo y separó a *S. leprieurii* en un género aparte con el nombre de *Phaeoschizophyllum leprieurii*, así mismo, sugirió la ubicación de los géneros *Schizophyllum* y *Phaeoschizophyllum* dentro de la familia Schizophyllaceae en el suborden Porotheleineae del orden Polyporales.

En México, los primeros registros del género se atribuyen a Guzmán (1977), quien señaló la presencia de las especies *S. commune*, *S. fasciatum* y *S. umbrinum* y propuso una clave taxonómica para su identificación, la cual fue elaborada con base en la observación de características macroscópicas, tales como el tamaño y la coloración tanto del píleo como del himenio.

De manera similar, Olivo-Aranda y Herrera (1994) realizaron una revisión de los especímenes de *Schizophyllum* existentes en todos los herbarios de México y confirmaron los registros de las especies inicialmente reportadas por Guzmán (1977). Así mismo, propusieron una clave taxonómica para identificar a los taxa, en



la cual, incluyeron otros aspectos macromorfológicos como la consistencia de las láminas y algunos criterios ecológicos asociados con el tipo de crecimiento y la vegetación hospedera.

Por lo que respecta a Tabasco, Cappello y Hernández-Trejo (1990) reportaron a *S. commune* dentro del primer listado preliminar de los hongos macromicetos y myxomycetes de la región y posteriormente, Cappello (2001) presentó descripciones detalladas de *S. commune* y de *S. umbrinum*, como parte de los resultados generados a partir de una investigación relacionada con el conocimiento de los Aphylophorales de la madera en la región. Así mismo, integró descripciones taxonómicas de *S. commune* en la “Guía de los hongos del Yumka” y en la “Guía de los hongos macroscópicos del Parque Estatal Agua Blanca” (Cappello, 2006 y Cappello *et al.*, 2013).

Por otra parte, de acuerdo con Kirk *et al.*, (2008) en la actualidad sólo seis especies son válidas para este género y entre dichas especies, *S. commune* sobresale en cuanto al número de registros que se le han atribuido a nivel mundial (Linder, 1933; Cooke, 1961; Chang y Lui, 1969; Degreef *et al.*, 1997; Adejoye *et al.*, 2007; Ohm *et al.*, 2010).

En México y principalmente en la región sur, *S. commune* se reporta como una de las especies más frecuentes del género (Ruán-Soto *et al.*, 2004; Ruán-Soto *et al.*, 2006; Sánchez-Hernández *et al.*, 2010; Moreno-Fuentes, 2014), sin embargo, el número de registros que se le han atribuido en esta área geográfica, pudiera ser producto de una confusión que se propicia al momento de delimitar a los taxa, debido a que se ha observado que por una parte existe una gran similitud macromorfológica entre esta especie y las diferentes especies adscritas al género y por otra parte, en el medio silvestre es posible encontrar una gran variación morfológica para un mismo espécimen (desde las formas más pequeñas asociadas con *S. leprieurii* y *S. umbrinum*, hasta las formas de mayor tamaño como *S. radiatum* y otros miembros similares).

Además, esta confusión también puede atribuirse a los resultados que se han generado al seguir las claves taxonómicas existentes para el género en México, debido a que dichas claves se basan principalmente en la observación de los caracteres macromorfológicos que presentan los especímenes, mientras que carecen de la inclusión de los criterios micromorfológicos que fueron señalados en los estudios de Linder (1933) y Cooke (1961) y por lo tanto, es posible que a las diferentes especies se les pueda confundir con *S. commune*. Además de lo anterior, existe la probabilidad de que algunas personas asignen el nombre de *S. commune* a los basidiomas que se recolectan del medio silvestre, sin realizar las revisiones microscópicas correspondientes.

#### **1. 2.2.2. Identidad genética de *S. commune***

La identidad genética de las especies de *Schizophyllum* es un tema que se ha abordado escasamente para complementar la taxonomía clásica del género, sin embargo, en la micología médica este tema ha propiciado un gran interés debido a que especies como *S. commune* y *S. radiatum*, se han vuelto clínicamente relevantes como agentes etiológicos de infecciones en humanos y animales (Chan *et al.*, 2014; Siqueira *et al.*, 2016).

Los especialistas en esta materia, han indicado que la identificación de *S. commune* y otros basidiomicetes filamentosos a partir de muestras clínicas constituye una problemática debido a que las características morfológicas clave necesarias para el reconocimiento de estos hongos son la presencia de fíbulas y el desarrollo de los cuerpos fructíferos, sin embargo, muchos aislamientos provenientes de muestras clínicas de *S. commune* no forman tales estructuras y por lo tanto, en los medios de cultivo solo muestran colonias con superficies algodonosas blancas no condensadas, una tasa de crecimiento rápida y gotitas de exudado que claramente no son distintivas para ninguna especie o género y adicionalmente, estas características son similares a las que presenta *S. radiatum*, (Siqueira *et al.*, 2016).

Al respecto, Siqueira *et al.*, (2016) estudiaron la diversidad de especies de *Schizophyllum* en 23 muestras miceliales procedentes de aislamientos de origen clínico de los Estados Unidos y mediante el desarrollo de un análisis filogenético multilocus, revelaron que 22 de los aislados se posicionaron dentro del clado *S. radiatum* con altos valores de soporte y sólo un aislado se posicionó dentro del clado *S. commune*, por lo que este resultado indica que el clado *S. radiatum* se constituye como un linaje monofilético con suficientes diferencias genéticas para considerarse una especie distinta de *S. commune*, la cual se posicionó en un clado hermano.

En este sentido, es importante señalar que los estudios de Siqueira *et al.*, (2016) constituyen un referente muy importante en cuanto a la identidad y separación genética de las especies, tomando en consideración que las secuencias moleculares procedentes de las muestras de origen clínico empleadas en dicho estudio antes señalado fueron comparadas con secuencias moleculares procedentes de cepas adscritas a colecciones y se analizaron con cuatro marcadores moleculares: la región espaciadora transcrita interna (ITS), el gen de la subunidad mayor ribosómica (LSU), la subunidad  $\beta$  de la enzima RNA polimerasa II (RPB2) y el gen para el factor de elongación  $1\alpha$  del proceso de traducción (EF-1  $\alpha$ ), lo cual en este sentido, ofrece datos contundentes.

Por otra parte, existe la necesidad de continuar con el desarrollo de investigaciones al respecto, debido a que la mayor parte de las secuencias moleculares hasta ahora analizadas proceden del origen clínico y sólo algunas secuencias provenientes de basidiomas silvestres de *S. commune* y de *S. radiatum* se han incluido en este tipo de análisis. Así mismo, las secuencias que se han empleado en los estudios filogenéticos no ofrecen el soporte taxonómico correspondiente en cuanto al análisis de los caracteres macro y micromorfológicos que presentan las especies y por lo tanto, una gran cantidad de secuencias moleculares que existen en la base de datos de GenBank con las que habitualmente se realizan estos estudios de comparación no ofrecen datos fidedignos en cuanto a la procedencia de las cepas de las cuales se obtuvieron.

### 1. 2.2.3. Antecedentes sobre la evaluación de cepas y sustratos para el cultivo de *S. commune*

Particularmente, la selección de cepas y sustratos de *S. commune* con fines de su cultivo constituye un tema escasamente estudiado a nivel mundial, sin embargo, en los últimos años ya se han propiciado esfuerzos para desarrollar investigaciones básicas sobre el crecimiento micelial de diferentes cepas en sustratos lignocelulósicos *in vitro* a fin de conocer las condiciones idóneas para su reproducción y su mantenimiento en laboratorio.

Carreño-Ruiz et al., (2014) evaluaron el crecimiento micelial de una cepa nativa de Tabasco, México en cuatro sustratos agrícolas de la región: fibra de coco (*Cocos nucifera*), cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), hoja de plátano (*Musa paradisiaca*) y aserrín de cedro (*Cedrela odorata*), como sustratos únicos y combinados en una proporción 1:1. Los resultados revelaron que *S. commune* se ve favorecido principalmente en cáscara de cacao y hoja de plátano, cuyos valores de crecimiento micelial promedio se registraron entre de 8.54 y 9.99 mm d-1.

Figlas *et al.*, (2014) en Argentina, formularon medios de cultivo en tubos de 200 x 16 mm, con residuos de la industria oleica de las semillas de girasol y evaluaron el crecimiento micelial sobre un sustrato control formulado con 37.5% de semillas de girasol, 0.5% carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 2% sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) y 60% de agua y tratamientos donde se reemplazó una cantidad de la proporción de las semillas de girasol con 3.75 y 7.5% de salvado de trigo (tratamientos 1 y 2), 3.75 y 7.5% de cebada (tratamientos 3 y 4), 1% de semillas de girasol y 1% de aceite de oliva (tratamientos 5 y 6). A los siete días de evaluación, el sustrato control presentó un crecimiento micelial de 3.8 cm, encontrándose valores superiores de 4.2, 4.0, 4.3. y 4.2 cm en los sustratos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

En Ucrania, Krupodorova y Barshteyn (2015) emplearon medios de cultivo líquido elaborados a base de diferentes semillas como lino, calabaza, cardo, trigo, avena,

nuez, soja, camelina, colza, mostaza y girasol a  $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ , observando el mayor crecimiento del micelio en los medios de cultivo elaborados a partir de las semillas de soya y de colza, con un promedio de 14 g/L. Estos resultados confirman la capacidad de la especie para reproducirse en sustratos alternativos, en este caso residuos provenientes de la industria oleica de dicha región.

#### **1. 2.2.4. Antecedentes sobre la producción de basidiomas de *S. commune***

*Schizophyllum commune* ha sido poco estudiado a nivel mundial para la producción de carpóforos con fines comestibles (Chang y Miles, 2004).

Bran-González *et al.*, (2009), evaluaron cinco cepas nativas de Guatemala, en sustratos compuestos de viruta de pino, pulpa de café seca, olote y caña de maíz, harina de avena, trigo y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), en cuatro diferentes combinaciones. Los mayores valores de eficiencia biológica y tasa de producción, de 5.50% y 0.19 respectivamente, se reportaron en el sustrato compuesto por caña y olote de maíz, con tamaños de basidiomas desde 2.0 hasta más de 4.0 cm de diámetro en píleos flabeliformes, los cuales se desarrollaron en una temperatura máxima de  $24^{\circ}\text{C}$ .

De manera similar, en Argentina Figlas *et al.*, (2014) evaluaron la fructificación de *S. commune* en condiciones de temperatura ambiental de  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 80-90%, en dos sustratos, el primero formulado con 37.5% de semillas de girasol, 0.5% carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 2% sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) y 60% de agua y el segundo bajo la misma formulación, pero con un sustituto en la cantidad de la proporción de las semillas de girasol con 7.5% de salvado de trigo. Los autores reportaron una eficiencia biológica de 48.3% y un valor de 1.6 para la tasa de producción en el segundo sustrato, señalado como el mejor.



### 1. 2.2.5. Estudios sobre la composición química de *S. commune*

El estado nutricional de los hongos comestibles se ha evaluado con base en su composición química, de este modo se ha constatado que los hongos comestibles contienen cantidades razonables de proteínas, carbohidratos, minerales, fibras y vitaminas, aunado a su bajo contenido en calorías, sodio, grasas y colesterol. Así mismo durante mucho tiempo se ha considerado que carecen de efectos indeseables (Teklit, 2015).

Para el caso de *S. commune*, Aletor (1995) en Nigeria, reportó un valor proteico de 27%, mientras que en un estudio realizado en la India, Longvah y Deosthale (1998) reportaron un valor de 16% (160-230 g/kg en peso seco).

De manera similar, se ha referido un contenido bajo en grasa, de 2% (20 g/kg en peso seco), ácidos grasos oleico y linoleicos abundantes (72 y 77% respectivamente) y un valor de 34% de aminoácidos esenciales (Longvah y Deosthale, 1998).

En los últimos años no se han desarrollado otros estudios al respecto, sin embargo, este tema constituye un aspecto importante por diversas razones, por una parte, para el caso de los basidiomas cultivados de *S. commune* a partir del empleo de cepas locales o nativas, se requiere conocer su potencial nutritivo a fin de conocer la relación que existe con respecto los nutrientes provenientes de los sustratos empleados para su producción, por otra parte, esta información es necesaria con la finalidad de promover los beneficios de su consumo y desde el punto de vista comercial constituye un marco de referencia para su aceptación.

### 1. 3. JUSTIFICACIÓN

En México, la producción de los hongos comestibles actualmente conforma una industria agroalimentaria emergente, sostenida mayoritariamente por la comercialización de especies originarias de climas templados.

En las regiones tropicales, gran parte del cultivo de dichos hongos se ha realizado con cepas procedentes de climas templados y aunque se ha referido que dichas especies han tenido éxito, su producción se considera limitada y dependiente del acondicionamiento de instalaciones para propiciar los factores ambientales adecuados para su desarrollo, en contraste con al menos una docena de hongos comestibles que tienen el potencial de ser cultivados bajo condiciones cálidas de temperatura y que aún no se han explorado para su aprovechamiento. En este sentido *S. commune*, representa un recurso genético importante.

Debido a que esta especie ha recibido poca atención dentro del contexto taxonómico, es necesario identificarla adecuadamente para facilitar su reconocimiento a nivel de campo y de laboratorio, con respecto a especies similares como *S. radiatum*, *S. fasciatum* y *S. brevillamelatum* (las dos últimas especies reportadas como comestibles para México y Perú, respectivamente) (Boa (2005), con las cuales suele confundirse y de esta manera asegurar que se trabajará con la cepa proveniente del organismo de interés.

Por otra parte, se requiere valorar las preferencias nutricionales de las cepas de *S. commune* nativas de Tabasco, con respecto a los sustratos derivados de diferentes actividades agrícolas regionales, mediante los cuales podría ser posible su producción. De esta manera, es importante mencionar que el Estado se caracteriza por ser uno de los principales productores de cacao, plátano, coco, maíz y caña de azúcar, entre otros cultivos que generan una gran cantidad de materiales lignocelulósicos que a la fecha han sido poco valorados para su reciclaje.

Aunado a lo anterior, en los estudios que versan sobre la fructificación de *S. commune* se han reportado eficiencias biológicas en base húmeda, inferiores al 15% empleando sustratos solos y valores de hasta 40% en sustratos compuestos o suplementados bajo condiciones controladas de temperatura, no mayores a 26°C, por lo que la aportación de datos sobre la productividad de las cepas en el contexto local, contribuiría significativamente para encontrar aquellos sustratos que permitan obtener los valores deseados en los índices de producción.

La importancia práctica esta investigación, radica en la generación de un protocolo de cultivo que además de ofrecer la orientación para la correcta identificación de las cepas de interés, permite valorar los datos sobre los recursos, tiempos y mecanismos requeridos para su producción; información que términos comerciales a la fecha es desconocida, entre otros aspectos del cultivo que permiten visualizar sus beneficios. Además, se propicia la obtención de cepas locales disponibles para emprender su producción y se promueve el uso de los recursos genéticos locales.

La importancia aplicada de la investigación se dirige hacia el desarrollo de una alternativa sustentable que puede ser adoptada en distintos sectores de la población, mediante el desarrollo de proyectos productivos, y por otra parte, a futuro el ciclo del cultivo de esta especie pudiera ser optimizado en diversas fases de su desarrollo, desde la obtención y manipulación adecuada de las cepas a fin de obtener un máximo rendimiento en términos de producción hasta la generación de productos transformados elaborados a base del hongo comestible y medicinal *S. commune* cultivado en la región.

## **1. 4. OBJETIVOS**

### **1. 4.1. Objetivo General**

Elaborar un protocolo para la obtención de cepas de *Schizophyllum commune* y su cultivo en condiciones tropicales.

### **1. 4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Revisar los ejemplares de *Schizophyllum* pertenecientes al Herbario UJAT, Tabasco, México.
- ✓ Corroborar morfológicamente y genéticamente la identidad de las especies *S. commune* y *S. radiatum*.
- ✓ Preseleccionar cepas y sustratos lignocelulósicos *in vitro* para el cultivo de *S. commune*
- ✓ Evaluar la fructificación de *S. commune* en invernadero
- ✓ Evaluar la composición química de los carpóforos cultivados de *S. commune*
- ✓ Evaluar la composición química del sustrato residual empleado en el cultivo de *S. commune*

## **1. 5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las características macro y micromorfológicas que facilitan el reconocimiento de los basidiomas de *S. commune* y los sustratos lignocelulósicos idóneos para su cultivo bajo condiciones tropicales?

## **1. 6. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

El conocimiento de las características morfológicas y moleculares permitirá la correcta identificación de *S. commune*. La adecuada selección de las cepas y los sustratos lignocelulósicos favorecerá la fructificación de los carpóforos en condiciones tropicales.

## **1. 7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. 7.1. Revisión taxonómica del género *Schizophyllum***

Se realizó una revisión detallada de las características macro y micromorfológicas de los especímenes de *Schizophyllum*, adscritos a la Colección de Hongos del Herbario UJAT, así mismo, se revisaron basidiomas frescos provenientes del medio silvestre y se incluyeron muestras de los basidiomas comercializados en mercado local de Teapa, Tabasco. Todos los ejemplares se describieron macroscópicamente mediante técnicas básicas de micología y posteriormente se herborizaron (Cifuentes *et al.*, 1986; Cappello, 2006). En el caso de los ejemplares herborizados, se consultaron los datos procedentes de las etiquetas de cada ejemplar.

Para determinar el color de los basidiomas en fresco se utilizó la guía de colores de Küppers (1996). Las estructuras microscópicas se observaron a partir de preparaciones con alcohol, KOH al 5% y el colorante Rojo Congo en un microscopio Axiostar Plus Carl Zeiss. La identificación de los taxa se realizó con ayuda de literatura especializada (Linder, 1933; Cooke, 1961; Robledo *et al.*, 2014). Todos los ejemplares se registraron en una base de datos y se incorporaron a la colección de hongos del Herbario UJAT.

### **1. 7.2. Evaluación de la identidad genética de las especies de *Schizophyllum***

La identificación taxonómica clásica se complementó con la identificación de secuencias moleculares obtenidas a partir del aislamiento de las cepas de algunos de los basidiomas estudiados, como se describe.

#### **1. 7.2.1. Obtención de las cepas de *Schizophyllum***

El aislamiento de las cepas se realizó por medio de la obtención de esporadas a partir de los basidiomas frescos de *Schizophyllum*, recolectados en el medio silvestre. Se colocó un pedazo de papel aluminio en forma de disco, dentro de una

caja de Petri (ambos materiales esterilizados), sobre dicho disco de papel se colocaron los basidiomas, vigilando que la parte del himenio coincidiera con el papel, posteriormente la caja se cerró y se mantuvo bajo condiciones de obscuridad en un periodo de aproximadamente ocho horas, con la finalidad de obtener las esporas que se desprenden del basidioma.

Transcurridas 12 horas, las cajas se abrieron y se les retiró el basidioma, vigilando la impresión de las esporas en el papel, a la caja se le colocó nuevamente la tapa y ésta se colocó en una incubadora Novatech (EI35-ED-ESP) durante 12 horas en un rango de temperatura de  $28\pm^{\circ}\text{C}$ . Una vez obtenida la esporada, dentro de una campana de flujo laminar, con ayuda de unas tijeras estériles se cortó un pequeño fragmento de aproximadamente  $1\text{ cm}^2$  del papel, el cual se sumergió en 100 ml de agua destilada estéril fría, agitándose para que las esporas se suspendieran en el líquido. De esta suspensión, se tomaron 0.5 ml con ayuda de una pipeta y se colocaron en cajas de Petri con el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (BIOXON, EUA). Las cajas de Petri se movieron ligeramente para distribuir homogéneamente el agua con las esporas en todo el medio (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006).

Las cajas inoculadas se colocaron en la incubadora a  $28\pm 2^{\circ}\text{C}$  y se revisaron diariamente a fin de verificar el desarrollo del micelio del hongo sin que se presentaran problemas de contaminación. Una vez obtenidas las cepas se mantuvieron en refrigeración a  $5^{\circ}\text{C}$  y se resembraron cada mes para su conservación. Posteriormente, las cepas se depositaron en el Cepario de Hongos Comestibles y Medicinales “Cappello García” de la División Académica de Ciencias Biológicas (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), asignándoles un número de reconocimiento.

### 1. 7.2.2. Identificación molecular

La identificación molecular de las cepas se inició con la extracción de los ácidos nucleicos totales, se empleó el método de extracción con CTAB+ PVP (2%) Allen *et al.*, (2006). Los ácidos nucleicos totales extraídos, se visualizaron por medio de electroforesis en geles de agarosa al 1%, para verificar la calidad del extracto. La mezcla de reacción contuvo buffer de PCR 1 X, 0.2 mM dNTP's, primers (0.2 pM), 1.5 mM MgCL2 y U Taq polimerasa, y 1 µl de una dilución (1:20 o 1:50) de DNA como templado, se utilizaron los primers ITS4 e ITS5 (White *et al.*, 1990) con las siguientes condiciones: desnaturalización inicial 94°C/5min, desnaturalización 95°C/1min, alineamiento 55°C/1min, extensión 72°C/1min, extensión final 72°C/5 min (40 ciclos). El producto de PCR se purificó utilizando columnas Quantum Prep PCR Klenn Spin columns Bio-Rad, No. Cat 732-6300). Cada ampliación se secuenció en ambas direcciones con el método de Sanger capilar (Macrogen Inc., Corea). Una vez editadas, las secuencias obtenidas se analizaron por medio de algoritmos tipo BLAST en la base de datos: National Center of Biotechnology Information (NCBI BLAST). [http:// blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi](http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi).

Las secuencias resultantes se registraron en la base de datos GenBank con la finalidad de obtener un número de reconocimiento y de acceso a la información.

### 1. 7.2.3 Análisis filogenético

El conjunto de datos comprendió nueve secuencias de muestras recolectadas en el presente estudio, además de 11 secuencias derivadas de Genbank (Nakasone, 1996; James *et al.*, 2001; Siqueira *et al.* 2016). Las secuencias se alinearon en MAFFT (Kato & Standley 2013), luego se ajustaron manualmente en BioEdit v. 7.0.4 (Hall 2007). La alineación final se envió a TreeBase (ID 242002) (Secuencias obtenidas en este estudio: MK585511, MF554594, MF554593, MK578042, MF554592, MF554591, MF554590.1, MK578041, MK578040. Secuencias obtenidas del Genbank: LT217541, LT217537, LT217539, LT217531, LT217533, LT217535, LT217532, LT217560, AF249391, LT217559, L43382). El análisis de

máxima verosimilitud (ML) se realizó en RAxMLHPC2 v. 8.2.4 (Stamatakis 2014) tal como se implementó en el portal Cipres (Miller et al.2010), bajo un modelo GTRGAMMA con mil repeticiones de arranque rápido (BS). El análisis de Inferencia Bayesiana (BI) se realizó con MrBayes v. 3.1.2 (Ronquist y Huelsenbeck 2003). Se ejecutaron seis cadenas de Markov durante un millón de generaciones y se tomaron muestras cada 100 generaciones. El resultado se determinó verificando los trazados de probabilidad en Tracer v. 1.6 (Rambaut et al. 2014) y posteriormente se descartaron. Las salidas se mostraron en FigTree v1.4.0 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

### **1. 7.3 Preselección de cepas y sustratos *in vitro***

Se emplearon cuatro cepas de *S. commune* nativas de Tabasco (CCG003, CCG009, CCG010 y CCG013), adscritas al Cepario de Hongos Comestibles y Medicinales “Cappello García” de la División Académica de Ciencias Biológicas (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco).

Así mismo, se emplearon tres sustratos agrícolas: cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L. 1753), hojas de la planta de plátano (*Musa x paradisiaca* L., 1753) y hojas de maíz (*Zea mays* L. 1753) y se incluyó la madera de palo mulato [*Bursera simaruba* (L.) Sarg. (1890)] como sustrato testigo.

#### **1. 7.3.1. Elaboración de inóculo primario**

El inóculo primario se elaboró con la metodología de Gaitán-Hernández *et al.*, (2006). Se emplearon semillas de maíz palomero (*Zea mays* L. var. *everta*), éstas se lavaron e hidrataron durante 12 horas, se enjuagaron y se escurrieron con un cernidor, se les eliminó el exceso de humedad y se les agregó una proporción de cal [Ca(OH)<sub>2</sub>] y yeso (CaSO<sub>4</sub>) al 0.1% (con base en el peso seco de las semillas).



Posteriormente, se colocaron 100 gramos de las semillas en frascos de vidrio y se esterilizaron a 121°C durante 90 minutos. Los frascos se enfriaron en una campana de flujo laminar y se destaparon para colocarles implantes de aproximadamente 1cm<sup>2</sup> con el micelio de las cepas, luego se incubaron en condiciones de completa obscuridad a 28±2 °C, hasta que el micelio cubra totalmente las semillas y en un periodo de 15 a 20 días el inóculo se revisó diariamente para observar su adecuado desarrollo.

### **1. 7.3.2. Inoculación de los sustratos**

Los sustratos se recolectaron en fresco en diferentes terrenos de cultivo, cada sustrato se secó al sol de tres a cinco días, se fragmentaron en tamaños de partícula de 0.5 a 1cm<sup>2</sup> aproximadamente, se hidrataron durante 12 horas, se sumergieron en agua caliente a 65°C durante 20 minutos y se escurrieron hasta contar con una humedad relativa del 70%. Posteriormente se les agregó una proporción de cal [Ca(OH)<sub>2</sub>] y yeso (CaSO<sub>4</sub>) al 0.1% con base en el peso seco del sustrato.

### **1. 7.3.3 Evaluación del crecimiento micelial *in vitro***

Se colocó una porción del sustrato húmedo dentro de tubos de ensaye de 22 x 150 mm, a 120 mm del volumen de los tubos a partir de la base. En total se prepararon siete tubos por cada tratamiento a evaluar (4 cepas x 4 sustratos x 7 tubos).

Los tubos se esterilizaron durante 90 min a 121°C, se enfriaron y en condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar, a cada tubo se le agregó 1.5 g de inóculo primario. Posteriormente se les colocó un tapón de algodón estéril para permitir el intercambio gaseoso y se incubaron en condiciones de obscuridad a una temperatura de 28±2°C.

La tasa de crecimiento (*Kr*) del micelio se calculó con la función de crecimiento lineal  $y = Kr x + c$  (donde *y* es la distancia, *x* es el tiempo y *c* el factor constante) y se

expresa en milímetros por día ( $\text{mm d}^{-1}$ ). A cada tubo se le rotularon dos líneas longitudinales opuestas "A" y "B" y sobre éstas se midió el crecimiento del micelio cada cuarto día, hasta que el micelio cubrió el sustrato por completo. Los datos obtenidos se concentraron en una matriz para su posterior procesamiento (Gaitán-Hernández y Salmones, 2015).

#### **1. 7.4. Evaluación de la fructificación de *S. commune* en invernadero**

Con base en los resultados de la etapa anterior, la fructificación de la especie se evaluó con dos cepas (CCG003 y CCG013) y tres sustratos (cáscara de cacao, hojas de plátano y madera de palo mulato en un invernadero rustico bajo condiciones semicontroladas, siguiendo la metodología de Gaitán-Hernández *et al.*, (2006).

##### **1. 7.4.1. Revitalización de las cepas**

Se sembró un implante de aproximadamente  $1\text{cm}^2$  de cada una de las cepas en cajas de Petri de 90 mm de diámetro x 15 mm de profundidad, con el medio de cultivo PDA, posteriormente se incubaron a  $28\pm 2^\circ\text{C}$  y con dichas cepas, nuevamente se elaboró el inóculo con semillas de maíz palomero, requerido para realizar la siembra de las cepas en los sustratos seleccionados (Gaitán-Hernández *et al.*, (2006).

##### **1. 7.4.2. Preparación de sustratos**

Los sustratos lignocelulósicos se recolectaron en fresco, se limpiaron, se secaron y se fragmentaron en tamaños de partícula de entre 2 y  $3\text{cm}^2$  por separado. Posteriormente se hidrataron durante 12 horas, se escurrieron hasta contar con una humedad aproximada del 70% y se les agregó una proporción de cal  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  (0.1%) y yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) al 0.1% (con base en el peso seco del sustrato). Se pasteurizaron por inmersión en agua caliente dentro de un recipiente metálico con

capacidad de 200 litros, con ayuda de un mechero industrial durante una hora a 80°C, posteriormente se escurrieron y se dejaron enfriar en condiciones asépticas.

### **1. 7.4.3. Siembra en invernadero**

Se emplearon dos sistemas de siembra, el primero, en bolsas. Por cada tratamiento a evaluar, se inocularon cinco bolsas de plástico de 35 x 45 cm con un kilogramo del sustrato pasteurizado y 60 gr de inóculo intercalados. Posteriormente las bolsas se cerraron y se incubaron en condiciones de obscuridad a temperatura ambiente dentro del invernadero. Al día siguiente de la siembra, a las bolsas se les hicieron pequeñas perforaciones en forma de “x” con un objeto punzocortante limpio, para favorecer la oxigenación del hongo. Las bolsas se incubaron en obscuridad hasta que el micelio cubrió por completo el sustrato y durante este tiempo se hicieron revisiones periódicas a fin de evitar problemas de contaminación.

Una vez que el micelio cubrió los sustratos, las bolsas incubadas se expusieron a ciclos de luz natural y humedad con ayuda de un sistema de riego a fin de favorecer la fructificación de la especie. Así mismo, se realizó la limpieza periódica del invernadero.

El segundo sistema de siembra, consistió en bloques rectangulares o bandejas soportadas con un forro plástico obscuro de 30x20x5 cm (largo x ancho x profundidad). Por cada tratamiento se sembraron 5 bandejas con un kg de sustrato y 60 gr de las semillas colocadas en el fondo. Las bandejas se sellaron y se incubaron en completa obscuridad a temperatura ambiente y humedad relativa de 80%. Al día siguiente, se les hicieron orificios lineales en la superficie del bloque en condiciones asépticas. Una vez que el micelio cubrió el sustrato, se descubrieron exponiéndolas a ciclos de luz natural y riego sistematizado.

Se registraron datos como la *duración del periodo de incubación, fecha de aparición de primordios, número y tamaño de los basidiomas*, cantidad de cortes, así como datos sobre la temperatura ambiental promedio diaria y la humedad relativa.

#### **1. 7.4.4. Estimación de los índices de producción**

La producción de *S. commune* evaluó con los índices de *Eficiencia Biológica* [EB=Peso fresco de los hongos cosechados (g)/Peso seco del substrato (g)]x100], *Rendimiento* [R=Peso fresco de los hongos cosechados (g)/Peso húmedo del substrato (g)]x100] y la *Tasa de Producción* (TP=EB/tiempo transcurrido desde la inoculación hasta la última cosecha) (Salmones et al., 1997; Gaitán-Hernández et al., 2006).

#### **1. 7.5. Evaluación de la composición química de los carpóforos y los sustratos residuales del cultivo de *S. commune***

Para evaluar la composición química de los carpóforos cultivados de *S. commune*, se realizaron análisis proximales de humedad (AOAC 925.10,1990), minerales totales (AOAC No. 7,0009; AOAC 1990), proteína cruda (N x 6.25, AOAC, 990.03, 2005), cenizas (AOAC 923.03,) y fibra cruda (Goering y Van Soest 1970). Todos los análisis se realizaron por triplicado, con muestras de 1g de la biomasa seca (50°C) triturada cuidadosamente en un molino.

Para el caso de la humedad se empleó la norma AOAC 925.10,1990, en equipos, horno de convección marca Felisa, Balanza analítica Sartorius modelo CP124S. La solubilización de los minerales, se realizó por digestiones ácidas HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>. El fósforo total se cuantificó por colorimetría con reactivo metavanadato (APHA Standard Method 4500-P C). El sodio y el potasio se cuantificaron por fotoflamómetro marca Corning, modelo 410. El calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc fueron cuantificados con el espectrofotómetro de absorción atómica modelo FS240, marca Varían.

Así mismo, para los sustratos empleados en el cultivo de *S. commune*, se desarrollaron análisis proximales por triplicado, de fibras (hemicelulosa, celulosa y lignina) y de la relación carbono-nitrógeno (C-N). Los análisis se desarrollaron en muestras de sustratos en condiciones naturales y en muestras de sustratos residuales.

Para el caso de las fibras se siguió la metodología anteriormente mencionada para los carpóforos, en el equipo analizador de fibras Ankom 200 y para la relación C-N, se empleó analizador de CHN, modelo 2400, marca PERKIN ELMER.

### **1. 7.6. Análisis estadísticos**

#### **1. 7.6.1 Evaluación del crecimiento micelial de las cepas**

La preselección de las cepas y de los sustratos se realizó con base en la velocidad del crecimiento micelial promedio de las cepas. En total se evaluaron 16 tratamientos (4 cepas x 4 sustratos x 7 réplicas = 112 muestras). Los valores resultantes inicialmente se evaluaron para saber si presentan una distribución Normal, mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente se analizaron estadísticamente con un ANOVA multifactorial y una comparación de medias, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey, con un 95% de confianza ( $p < 0.05$ ), en el programa Statistica 7.0.

#### **1. 7.6.2. Evaluación de la producción de *S. commune***

Con la finalidad de determinar el mejor tratamiento para la producción de los carpóforos de *S. commune*, los valores promedios obtenidos a partir de los índices de producción EB, R y TP resultantes en cada tratamiento, se valoraron para saber si presentan una distribución Normal, mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov y de manera similar, se analizaron estadísticamente con un ANOVA multifactorial y

una comparación de medias, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey, con un 95% de confianza ( $p < 0.05$ ), en el programa Statistica 7.0.

### **1. 7.6.3. Evaluación de las características químicas de los basidiomas de *S. commune* cultivados y los sustratos residuales**

Similarmente, los datos resultantes de los parámetros químicos que se evaluaron se trataron estadísticamente para saber si presentan una distribución Normal, mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov y de manera similar, se analizaron estadísticamente con un ANOVA factorial y la prueba a posteriori de Tukey, con un 95% de confianza ( $p < 0.05$ ), en el programa Statistica 7.0.

## **1. 8. LITERATURA CITADA**

Adejoye, O. D., Adebayo-Tayo, B. C., Ogunjobi, A. A. y Afolabi, O. O. (2007). Physicochemical studies in *Schizophyllum commune* (Fries) a Nigerian edible fungus. *World Applied Sciences Journal*, 2: 73-76.

Andrade-Gallegos, R. H., Mata, G., Sánchez, J. E. (2013). La producción Iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional. In Sánchez-Vázquez, J. E. y Mata G. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. México: ECOSUR-INECOL.

Aletor, V. A. (1995). Compositional studies on edible tropical species of mushrooms. *Food Chemistry*, 54: 264-268.

Allen, G. C., Flores-Vergara, M. A., Krasynanski, S., Kumar, S., y Thompson, W. F. (2006). A modified protocol for rapid DNA isolation from plant tissues using cetyltrimethylammonium bromide. *Nature Protocols*, 2320-2325.

Boa, E. 2005. Los hongos comestibles silvestres. Italia: Food and Agriculture Organization.

Bran-González, M. C., Morales-Esquivel, O. I., Flores-Arzú, R. E. y Cáceres-Staackmann, R. A. (2009). Caracterización y producción de cuerpos fructíferos de cepas nativas del hongo comestible Asam (*Schizophyllum commune* Fr.). Universidad de San Carlos, Guatemala.

Calongue, F. D. (2011). Hongos medicinales. 1ª ed. España: Mundi-Prensa.

Cappello, G. S. y Hernández-Trejo, H. (1990). Lista preliminar de los hongos macromicetos y micromicetes de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 7: 15-21.

Cappello, G. S. (2001). Contribución al conocimiento de los Aphylophorales de la madera en el Estado de Tabasco, México. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba España. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología Vegetal (Botánica). 311 p.

Cappello, G. S. (2006). Hongos del Yumká. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Colección José N. Rovirosa).

Cappello, G. S., Rosique-Gil, E. y Cifuentes- Blanco, J. (2013). Guía de los Hongos del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana-Tabasco. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Colección José N. Rovirosa).

Carreño-Ruiz, S. D., Cappello-García, S., Gaitán-Hernández, R., Cifuentes-Blanco, J. E. y Rosique-Gil, E. 2014. Crecimiento de tres hongos comestibles tropicales en medios de cultivo y residuos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 8, 1447-1458.

Chang, S. T. y Miles, G. P. (2004). Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. Inglaterra: CRS Press.

Chang, S. y Lui, W. (1969). Analysis of the mating types of *Schizophyllum commune* in the natural population of Hong Kong. *Botanical Bulletin of the Academia Sinica*, 10:74-88.

Chan, J. F. W., Teng, J. L. L., Li, I. W. S., Wong, S. C. Y., Leung, S. S. M., Ho, P., To, K. K. W., Lau, S. K. P., Woo, P. C. Y. y Yuena, K. (2014). Fatal empyema thoracis caused by *Schizophyllum commune* with cross-reactive cryptococcal antigenemia. *Journal of Clinic Microbiology* 52: 2, 683–687.

Cifuentes, J., M., Villegas, L. y Pérez-Ramírez (1986). Hongos. In: Lot A. y Chiang, F. (Comps) Manual del Herbario. Consejo Nacional de la Flora de México. A. C. México.

Clark T. y Anderson J. (2000). Dikaryons of the basidiomycete fungus *Schizophyllum commune*: Evolution in long-term culture. *Genetics*, 167: 1663-1675.

Cooke, B. (1961). The genus *Schizophyllum*. *Mycologia*, 53: 6, 575-599.

Degreef, J., Malaisse, F., Rammeloo J. y Baudart, E. (1997). Edible mushrooms of the Zambezian woodland area. A nutritional and ecological approach. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environmental*, 1:221-231.

Farr, D.F. y Rossman, A.Y. Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. [En línea]. Disponible en: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/> (consultado: 23 Julio 2017).

Figlas, D., González-Matute, R., Delmastro, S. y Curvetto, N. (2014). Sunflower seed hulls for log system cultivation of *Schizophyllum commune*. *Micología Aplicada International*, 26: 2, 19-25.



Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez Merlo, R., y Mata, G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. 1era. ed., 1a. reimp. México: Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz.

Gaitán-Hernández, R., Esqueda, M., Gutiérrez, A., Sánchez, A., Beltrán-García, M. y Mata, G. (2006). Bioconversion of agrowastes by *Lentinula edodes* the high potential of viticulture residues. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 432-439.

Gaitán-Hernández, R. y Salmones, D. (2015). Uso de residuos lignocelulósicos para optimizar la producción de inóculo y la formación de carpóforos del hongo comestible *Lentinula Boryana*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6:7, 1639-1652.

Garivay-Origel, R., Ruán-Soto, F. y Estrada-Martínez, E. (2010). El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles en México. *In* Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. y Mora, V. M. (Eds). *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en Siglo XXI*. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales. COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla.

Garibay, R. y Ruán, F. (2014). Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México, *In* Moreno-Fuentes, A. y Garibay-Orijel, R. (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.

Guzmán, G. (1977). Identificación de los hongos. Comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera. 2ª ed. México: Limusa.

Guzmán, G. 2003. Los hongos del El Edén Quintana Roo: Introducción a la microbiota tropical de México. INECOL y CONABIO, Xalapa.

Hirai, H., Kashima, Y., Hayashi, K., Sugiura, T., Yamagishi, K., Kawagishi, H. y Nishida, T. (2008). Efficient expression of laccase gene from white-rot fungus *Schizophyllum commune* in a transgenic tobacco plant. Research letter. FEMS Microbiol Lett, 286: 130–135.

Hobbs, C. (2005). The chemistry, nutritional value, immunopharmacology, and safety on the traditional food of medicinal split-gill fungus *Schizophyllum commune* Fr.:Fr. (Shizophyllaceae). A literature review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 7:127-140.

Ivanova, T. S., Bisko, N. A., Krupodorova, T. A. y Barshteyn, V. Y. (2014). Breadcrumb as a New Substrate for *Trametes versicolor* and *Schizophyllum commune* Submerged Cultivation. *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology*, 42:1, 67-72.

James, T. Y., Moncalvo, J., Li, S. y Vilgalys, R. (2001). Polymorphism at the Ribosomal DNA Spacers and Its Relation to Breeding Structure of the Widespread Mushroom *Schizophyllum commune*. *Genetics*, 157: 149-161.

Kaur, M., Chadha, P., Kaur, S., Kaur, A., Kaur, R., Kumar-Yadav, A. y Kaur, R. (2018). *Schizophyllum commune* induced genotoxic and cytotoxic effects in *Spodoptera litura*. *Nature*, 8: 4693.

Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W. y Stalpers, J. A. (2008). Dictionary of the fungi. 10 ed. Europa: CABI.

Krupodorova, T. A. y Barshteyn, V. Y. (2015). Alternative substrates for higher mushrooms mycelia cultivation. *Journal of Bioscience and Biotechnology*, 4:3, 339-347.

Küppers, H. (1996). *Atlas de los colores*. España. Editorial Blume.

Lemmon, P.E. (1956). A spherical densitometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*, 2: 314-320.

Linder, D. H. (1933). The genus *Schizophyllum*. I. Species of the Western Hemisphere. *American Journal of Botany*, 20: 552-568.

Longvah, T. y Deosthale, Y. G. (1998). Compositional and nutritional studies on edible wild mushrooms from northeast India. *Food Chemistry*, 63:3, 331-334.

Markets and Markets (2014). Mushroom Market by Type (Button, Shiitake, and Oyster), by Application (Fresh Mushrooms and Processed Mushrooms (Dried, Frozen, and Canned)), & by Region - Global Trends & Forecast to 2019 [En línea]. Disponible en: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mushroom-market-733.html>

Market Report (2019). Global Mushroom Industry. [En línea]. Disponible en: <https://www.reportlinker.com/p05799200/Global-Mushroom-Industry.html>

Mata, M. (1999). Macrohongos de Costa Rica. Costa Rica: Editorial INBio. Vols.2, Vol. 1.

Mata, G. y Savoie, J. M. (2012). *Agaricus subprofescens* un hongo comestible y medicinal de gran potencial en México. In: Sánchez- Vázquez, J. E., G. Mata, Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. México: ECOSUR-INECOL.

Mirfat, A. H. Noorlidah, S., A. y Vikineswary, S. (2014). Antimicrobial activities of split gill mushroom *Schizophyllum commune* Fr. *American Journal of Research Communication*, 2 (7): 113-124.

Moncalvo, J.M., Vilgalys, R., Redhead, S. A., Johnson, J. E., James, T. Y., Aime, M. C., Hofstetter, V., Verduin, S. J. W., Larsson, E., Baroni, T. J., Thorm, R. G., Jaconsson, S., Clemencon, H. y Miller, O. K. (2002). One hundred and seventeen clades of euagarics. *Molecular phylogenetics and evolution*. 23: 357-400.

Moreno-Fuentes, A. (2014). Un recurso alimentario de los grupos originarios y mestizos de México: los hongos silvestres. *Anales de Antropología*, 48: 1, 241-272.

Nakasone, K. K. (1996). Morphological and molecular studies on *Auriculariopsis albomellea* and *Phlebia albida* and a reassessment of *A. ampla*. *Mycología*, 88:5, 762-775.

Nieuwenhuis, B. P. S., Billiard, S., Vuilleumier, S., Petit, S., Hood, M. E. y Giraud, T. (2013). Evolution of Uni- and bifactorial sexual compatibility systems in fungi. *Nature*, 111: 445-455.

Olivo-Aranda, F. y Herrera, T. (1994). Las especies de *Schizophyllum* en México, su distribución ecológica e importancia etnomicológica. *Revista Mexicana de Micología*, 10: 21-32.

Ohm, R. A., De Jong, J. F., Lugones, L. G., Aerts, A., Kothe, E., Stajich, J. E., De Vries, R. P., Record, E., Levasseur, A., Baker, S. E., Bartholomew, K. A., Coutinho, P. M., Erdmann, S., Fowler, T. J., Gathman, A. C., Lombard, V., Henrissat, B., Knabe, N., Kues, U., Lilly, W. W. Lindquist, E., Lucas, S., Magnuson, J. K., Piumi, F., Raudaskoski, M., Salamov, A. Schmutz, J., Schwarze, F. W. M. R., A VanKuyk, P., Horton, J. S., Grigoriev, I. V. y Wosten, H. A. B. (2010). Genome sequence of

the model mushroom *Schizophyllum commune*. *Nature Biotechnology*, 28:9, 957-965.

Ooi, V. E. C. y Liu, F. (2000). Immunomodulation and anticancer activity of polysaccharide-protein complexes. *Current Medicinal Chemistry*, 7, 715-728.

Pauli, G. (2000). Un estudio de caso hongos tropicales. *Fundacion Zeri*. 16 p.

Raper, C. A. y Fowler, T. (2004). Why Study *Schizophyllum*?. *Fungal Genetics Newsletter*, 51: 30- 36.

Reyes, R. G., Sofronio, P. K., Dulay, R. M. R., Yoshimoto, H., Miyazawa, N., Seyama, T. y Eguchi, F. (2013). Philippine Native and Exotic Species of Edible Mushrooms Grown on Rice-Straw-Based Formulation Exhibit Nutraceutical Properties. *The Philippine Agricultural Scientist*, 96: 2, 198-204.

Robledo, G. L., Popoff, O. F., Amarilla, L. D., Moncalvo, J. M. y Urcelay, C. (2014). *Schizophyllum leprieurii* and the *Schizophyllum umbrinum* lineage (Agaricales, Basidiomycota) in Argentina, *Lilloa*, 51:1, 87-96.

Royse, D. J. (2018). Importance and potential of tropical mushrooms. In Sánchez, J. E., Mata, G. y Royse, D. J. Ed. *Updates on Tropical Mushrooms. Basic and applied research*. Mexico: El Colegio de la Frontera Sur, 17-24.

Ruán-Soto, F. y Cifuentes-Blanco, J. (2011). Notas etnomicológicas del poblado de Teapa, Tabasco, In: *Educación Ambiental para la conservación de la biodiversidad*. E. S., López-Hernández (ed). El Colegio de Investigadores de Tabasco, A. C.-UJAT, México, 249-256.

Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. y Cifuentes, J. (2006). Process and dynamics of traditional selling wild edible mushrooms in tropical Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2: 3.

Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. y Cifuentes-Blanco J. (2004). Conocimiento micológico tradicional en la planicie costera del Golfo de México. *Revista Mexicana de Micología*, 19: 57-70.

Ruán-Soto, F., Mariaca-Méndez, R., Cifuentes, J., Limón-Aguirre, F., Pérez-Ramírez, L. y Sierra-Galván S. (2009). Nomenclatura, clasificación y percepciones locales acerca de los hongos en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Etnobiología*, 5: 1-20.

Salmones, D., Gaytán-Hernández, R. Pérez, R. y Guzmán, G. (1997). Estudios sobre el género *Pleurotus* VIII, Interacción entre crecimiento micelial y productividad. *Revista Iberoamericana de Micología*. 14: 173-176.

Sánchez-Gómez, M.C., Barba-Chávez, J. M. A., López-Cruz, J. I. y Marquez-Ortega, A. E. (2012). Comparación filogenética de dos cepas de *Calvatia pachyderma* (Licoperdaceae) In: Sánchez- Vázquez, J. E., G., Mata, Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. México: ECOSUR-INECOL.

Sánchez-Hernández, J. E., Andrade-Gallegos, R. H. y Coelo, M. (2010). Los hongos comestibles en el sureste de México. In: Martínez-Carrera, D., Curvetto, M., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V. M. (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*. México: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP.

Siqueira, J.P.Z., Sutton, D., Gene, D., García, M., Guevara-Suarez, M., Decock, C., Wiederhold, N. y Guarro, J. (2016). *Schizophyllum radiatum*, an emerging fungus from human respiratory tract. *Journal of Clinical Microbiology* 54: 10, 2491–2497.

Thawthong, A., Karunarathna, S. C., Thongklang, N. Chukeatirote, E., Kakumyan, P., Chamyuang, S., Maya Rizal, S., Mortimer, P. E., Xu, J. Callac, P. y Hyde, K. (2014). Discovering and Domesticating Wild Tropical Cultivable Mushrooms. *Chiang Mai Journal of Science – CMU* 41(4): 731-764.

Teoh, Y. P. y Don, M. M. (2012). Optimization of Parameters for Mycelia Growth by *Schizophyllum commune* and Kinetic Model Study of its Growth Morphology. *Journal of Applied Sciences*, 12:11, 1100-1105.

Teklit, G. A. (2015). Chemical Composition and Nutritional Value of the Most Widely Used Mushrooms Cultivated In Mekelle Tigray Ethiopia. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5:5, 1-3.

Vázquez-Mendoza, S. (2012). Macromicetos medicinales provenientes de la sierra norte de Puebla, México; depositados en el Herbario “Gastón Guzmán”, ENCB-IPN, *Etnobiología*, 10 (2): 34-37.

Vázquez-Mendoza, S. (2013). Nuevo hospedero del hongo *Schizophyllum commune* en América. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 661-663.

Vellinga, E. (2013). Split Gill – *Schizophyllum commune*. *Mycena News*, 64:09, 1-3.

White, T. J., Bruns, T. D. S. B., Lee y Taylor, J. W. (1990). Amplification and direct sequencing of ribosomal RNA genes for phylogenetic. In M. A. Innis, D. H., Gelfand, J. J., Sninsky, T. J., White, (Eds.) *PCR Protocols: A guide to methods and applications*, London: Academic Press.

Ying, J. X., Mao, Q., Zong, Ma, Y. y Wen, T. (1987). Icons of medicinal Fungi from China. Traducido al inglés por Y. Xu, Science Press, Beijing.

Zhu, L. W., Zhong, J. J. y Tang, Y. J. (2008). Significance of fungal elicitors on the production of ganoderic acid and *Ganoderma* polysaccharides by the submerged culture of medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. *Process Biochem* 43(12): 1359-70.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**CAPITULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO: NEW RECORD OF *Schizophyllum* (Schizophyllaceae) FROM MEXICO AND THE CONFIRMATION OF ITS EDIBILITY IN THE HUMID TROPICS**

Santa D. Carreño-Ruiz, Abisag A. Ávalos Lázaro, Silvia Cappello García, Rigoberto Gaitán Hernández, Jie Chen, Griselda K. Guillén Navarro, Luz V. García Fajardo, Nelly del C. Jiménez Pérez, Magdiel Torres De La Cruz, Joaquín Cifuentes Blanco & Renato E. Cappello. *Phytotaxa* 413 (2): 137–148.



<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.413.2.3>

## New record of *Schizophyllum* (Schizophyllaceae) from Mexico and the confirmation of its edibility in the humid tropics

SANTA D. CARREÑO-RUIZ<sup>1</sup>, ABISAG A. ÁVALOS LÁZARO<sup>1</sup>, SILVIA CAPPELLO GARCÍA<sup>1\*</sup>, RIGOBERTO GAITÁN HERNÁNDEZ<sup>2</sup>, JIE CHEN<sup>2</sup>, GRISELDA K. GUILLÉN NAVARRO<sup>3</sup>, LUZ V. GARCÍA FAJARDO<sup>3</sup>, NELLY DEL C. JIMÉNEZ PÉREZ<sup>1</sup>, MAGDIEL TORRES DE LA CRUZ<sup>1</sup>, JOAQUÍN CIFUENTES BLANCO<sup>4</sup> & RENATO E. CAPPELLO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa-Cárdenas road km 0.5, deviaton to Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, Mexico, C.P. 86150

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, A. C. Old road to Coatepec 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, Mexico, C.P. 91070

<sup>3</sup>El Colegio de la Frontera Sur. Old Airport Road Km. 2.5, Centro, Tapachula de Córdova y Ordoñez, Chiapas, Mexico C.P. 30700

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de Mexico. University City, Coyoacán, CDMX, Mexico, C.P. 04510.

<sup>5</sup>Departament of Pediatrics. University of Virginia. 409 Lane Rd, Charlottesville, VA 22903, Virginia, United States of America.

\*Corresponding autor: Silvia Cappello García-cappellogs@hotmail.com

### Abstract

The genus *Schizophyllum* is easily recognized within the order Agaricales. However, at the species level, taxonomic information for identification purposes is limited. The objective of the present study was to confirm the identity of the *Schizophyllum* species present in Tabasco, Mexico, by means of a detailed taxonomic revision of the macro- and micromorphological characters in more than 90 specimens, as well as phylogenetic analyses inferred from ITS sequence data. In total, three *Schizophyllum* species are described, of which one constitute a new record for Mexico. Finally, the edibility of *S. radiatum* is reported for the first time in the humid tropical region.

**Keywords:** Agaricales, split gills, microscopy, Internal Transcribed Spacer (ITS)

### Introduction

The genus *Schizophyllum* E.M.Fr. in *Observationes mycologicae* (1815: 103) is taxonomically located in the family Schizophyllaceae, order Agaricales, and phylum Basidiomycota (Kirk *et al.* 2008). At the macroscopic level, this genus is characterized by the following features: basidiomes with pileus flabelliform, conchate, dimidiate or spatulate; margins lobed or dentate; surface villous and grayish white ( $N_{30}M_{00}C_{00}$ - Kueppers 1996); and a dry and leathery consistency (Figure 1A). The hymenium is located on split gills that are longitudinally divided into two parts (Figure 1B) (Linder 1933, Cooke 1961, Guzmán 2003) that can fold into the hymenophoral trama during long periods of drought to protect spores or that can open during periods of adequate moisture to liberate spores (Vellinga 2013, Piepenbring 2015).

At the microscopical level, the surfaces of the pileus have a villous layer, also called a “pellicle,” composed of interwoven hyphae that vary with species in length and density. On the opposite side, a group of hyphae or “abhymenial hairs” is observed on the gills (Figure 1C). The spores are generally hyaline, elliptical, or cylindrical (Linder 1933).

Initially, Fries described the genus *Schizophyllum* in 1815 (Siqueira *et al.* 2016) and placed it within the family Agaricaceae (Cooke 1961). The name of this genus comes from the Latin words *schizo*, which means split, and *phyllum*, which means lamella. Therefore, its name appropriately describes its unique characteristics and distinctive morphology within the order Agaricales (Cooke 1961, Guzmán 2003).

For a long time, the taxonomy of the genus was uncertain and changed considerably because of the presence and observation of distinct morphological characters. These observations prompted researchers to place species of this genus within the order Polyporales or in the families Tricholomataceae and Thelephoraceae (Cooke 1961).

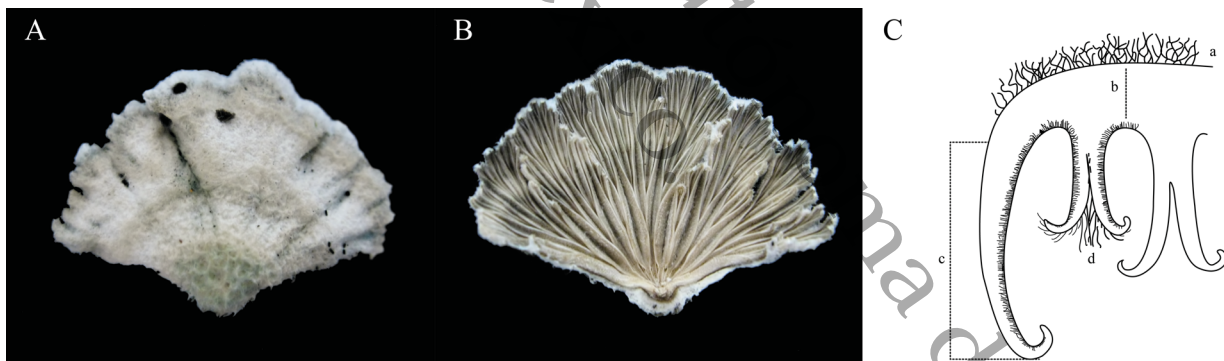
Afterwards, Linder (1933) and Cooke (1961) significantly contributed to the taxonomy of *Schizophyllum* at the species level through a detailed revision of the distinctive macro- and micromorphological characters of numerous specimens from worldwide. These researchers formed the basis for identifying the different taxa and for establishing the affinities or frequencies of the species in temperate and tropical geographical regions. After these studies, taxonomic contributions on this genus have been scarce worldwide.

In Mexico, the *Schizophyllum* studies are attributed to Guzmán (1977) and Olivo-Aranda and Herrera (1994) who reported the species *Schizophyllum commune* E.M.Fr. in *Observationes mycologicae* (1815: 103), *Schizophyllum fasciatum* N.T.Pat. in *Journal de Botanique* (1887:169) and *Schizophyllum umbrinum* M.J.Berk. *Journal of Botany* (1851: 15) and generated the first taxonomic keys for the identification of the macromycetes in the country, in which they integrated to the genus, based mainly on the observation of macroscopic characters. After these contributions, there have been no taxonomic updates of this genus in Mexico and no molecular sequences have been generated from environmental samples (samples of wild origin) to verify their identity.

On the other hand, in the humid tropics of Mexico, numerous reports of the species *S. commune* and *S. umbrinum* can be highlighted (Cappello & Hernández-Trejo 1990, Cappello 2001, Cappello 2006, Cappello *et al.* 2013). However, the fungal diversity of the humid tropics has not been extensively explored (Guzmán 2008, Acosta-Aguirre *et al.* 2014), therefore an increase in the *Schizophyllum* records for this region is to be expected, as this region contains the highest biological richness within the country (Espinoza-Organista *et al.* 2008) and experiences annual rainfall levels that surpass 2 500 mm (Olvera-Salgado 2010). Furthermore, in the humid tropics and in other regions, at least 50% of *Schizophyllum* species are edible or have medicinal properties (Ying & Mao 1987, Chang & Miles 2004, Ruán-Soto *et al.* 2004, Boa 2005, Hobbs 2005, Ruán-Soto *et al.* 2006, Adejoye *et al.* 2007, Calonge 2011, Vázquez-Mendoza 2012, Moreno-Fuentes 2014). As a result, biotechnological interest has also been focused on species of this genus and their potential applications (Kumar *et al.* 2014, Turlo 2014, Horisawa *et al.* 2015, Siqueira *et al.* 2016).

Therefore, the generation of additional taxonomic information for *Schizophyllum* species is important for understanding, conserving, and using these species.

The objective of the present study was to confirm the identity of *Schizophyllum* species in Tabasco, Mexico by means of a detailed analysis of the macro- and micromorphological characteristics of wild specimens and from herbarium as well as the molecular analyses inferred from ITS sequence data.



**FIGURE 1.** General appearance of A) the pileus and B) the hymenial gills of *Schizophyllum commune*. C) Illustration of the cross section of a basidiome (a = pellicle, b = context, c = gill length, d = abhymenial hairs). Photography by S. D. Carreño-Ruiz. Illustration taken and modified from Linder (1933).

## Materials and methods

### Macro- and micromorphological study

The *Schizophyllum* specimens in the Fungal Collection of the Herbarium of the Biological Sciences Academic Division of the Juárez Autonomous University of Tabasco [Universidad Juárez Autónoma de Tabasco UJAT] were examined. Also, fresh basidiomes of the genus were examined; these specimens were obtained from 15 field trips to the municipalities of Centro, Tabasco, Macuspana, Tacotalpa, and Teapa and from one trip to the Diana Córdova de Balboa market in the municipal capital of Teapa, where the consumption and commercialization of *S. commune* had been previously reported (Ruán-Soto *et al.* 2006).

The macroscopic characteristics of the herbarium specimens were obtained from the labels of each reviewed specimen. The freshly collected basidiomes were macroscopically described and subsequently dried (Cifuentes *et al.* 1986, Cappello 2006). The color guide of Kueppers (1996) was used to determine the color of the fresh basidiomes. In addition, the microscopic structures of all fresh specimens were studied in preparations containing alcohol, 5% KOH, and Congo red dye under an Axiostar Plus Carl Zeiss microscope.

The taxa were identified by consulting several taxonomic keys proposed for the genus and the specialized literature (Linder 1933, Cooke 1961, Guzmán 1977, Olivo-Aranda & Herrera 1994, Robledo *et al.* 2014). The characteristics of the examined material were recorded in a database, and the examined materials were then incorporated into the Fungal Collection of the UJAT Herbarium.

Different strains of the specimens collected in the field and in the market were obtained and selected for their subsequent inclusion in the molecular study. These strains are deposited in the Cappello-García mushroom collection (CCG) UJAT.

## Molecular study

### DNA extraction, PCR and sequencing

DNA was extracted from isolated specimens, using CTAB + PVP (2%) methods described in Allen *et al.* (2006). The total extracted nucleic acids were visualized by electrophoresis in 1% agarose gel to verify the quality of the extracts. Subsequently, the ITS region of the 18S ribosomal gene was amplified by PCR, using the ITS4-ITS5 primers. The reaction mix contained 1X PCR buffer, 0.2 mM dNTPs, primers (0.2 pM), 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 1 U *Taq* polymerase, and 1 µl of a DNA dilution (1:20 or 1:50) prepared as a template using the primers ITS4 and ITS5 (White *et al.* 1990). The reaction was carried out under the following conditions: initial denaturation at 94 °C for 5 min, denaturation at 95 °C for 1 min, annealing at 55 °C for 1 min, extension at 72 °C for 1 min, and final extension at 72 °C for 5 min (40 cycles). The PCR product was purified using Quantum Prep PCR Klenn Spin Columns (Bio-Rad, no. cat 732 r6300). Each amplicon was sequenced in both directions according to the Sanger capillary method (Macrogen Inc., Korea).

### Phylogenetic analysis

The dataset comprises nine sequences from specimens collected in the present study, in addition to 11 sequences derived from Genbank (Nakasone 1996, James *et al.* 2001, Siqueira *et al.* 2016). Sequences were aligned in MAFFT (Katoh & Standley 2013), then manually adjusted in BioEdit v. 7.0.4 (Hall 2007). The final alignment has been submitted to TreeBase (ID submission 242002) (obtained sequences in this study: MK585511, MF554594, MF554593, MK578042, MF554592, MF554591, MF554590.1, MK578041, MK578040). Sequences retrieved from Genbank: LT217541, LT217537, LT217539, LT217531, LT217533, LT217535, LT217532, LT217560, AF249391, LT217559, L43382). The maximum likelihood (ML) analysis was performed in RAxMLHPC2 v. 8.2.4 (Stamatakis 2014) as implemented on the Cipres portal (Miller *et al.* 2010), under a GTRGAMMA model with one thousand rapid bootstrap (BS) replicates. Bayesian Inference (BI) analysis was performed with MrBayes v. 3.1.2 (Ronquist & Huelsenbeck 2003). Six Markov chains were run for one million generations and sampled every 100th generation. Burn-in was determined by checking the likelihood trace plots in Tracer v. 1.6 (Rambaut *et al.* 2014) and subsequently discarded. The outputs were displayed in FigTree v1.4.0 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

## Results

### Morphological identifications

Ninety-three specimens of the genus *Schizophyllum* were examined, of which 61 were from the herbarium, 30 from the field, and 2 from the local market of Teapa, Tabasco. The following species were identified by their morphological characteristics: *S. commune*, *S. radiatum* E.M.Fr. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis (1851: 41), and *S. umbrinum*.

*Schizophyllum radiatum* was the most abundant with 62 specimens, in contrast with *S. commune* and *S. umbrinum* with 28 and 3 specimens, respectively.



*Schizophyllum radiatum* constitute a new record for Tabasco and for Mexico. The specimens obtained from this species at the local market of Teapa, Tabasco, were further confirmed by molecular identification and thereby allowing the edibility of this species in the humid tropics to be inferred.

## Taxonomy

*Schizophyllum commune* Fr. in *Observationes mycologicae* (1815: 103)

Description:—Pileus 4–64 mm wide × 4–44 mm long, flabelliform, semicircular to spatulate, sessile or semistipitate; margin lobed, irregular, crenate, ragged, slightly rolled toward the hymenium. Villous surface soft to the touch; hairs frequently matted; pellicle 151–213 μm thickness; white ( $N_{00}M_{00}C_{00}$ ), light gray ( $N_{30}A_{00}M_{00}$ ), dark gray ( $N_{80}A_{00}M_{00}$ ), light yellow ( $N_{20}A_{50}M_{20}$ ), or light brown ( $N_{20}A_{30}M_{20}$ ); zonate or azonate appearance that varies in color; context 359–447 μm thick (Figure 2A). Hymenium with split gills, 399–1256 μm in length; white ( $N_{00}M_{00}C_{00}$ ), dark gray ( $N_{80}A_{00}M_{00}$ ), light brown ( $N_{30}A_{60}M_{30}$ ), light yellow ( $N_{20}A_{50}M_{20}$ ), or beige ( $N_{00}A_{10}M_{00}$ ); abhymenial hairs simple, hyaline, clinging to the surface opposite to the gills, 4.4–4.5 μm diam., with granules frequently incrustated along the outer third of their length near the apex (Figure 2B); basidia 18–22 × 3.2–3.3 μm, narrow claviform; spores 4.5–7.2 × 1.5–3 μm, hyaline, cylindrical, obliquely apiculate.

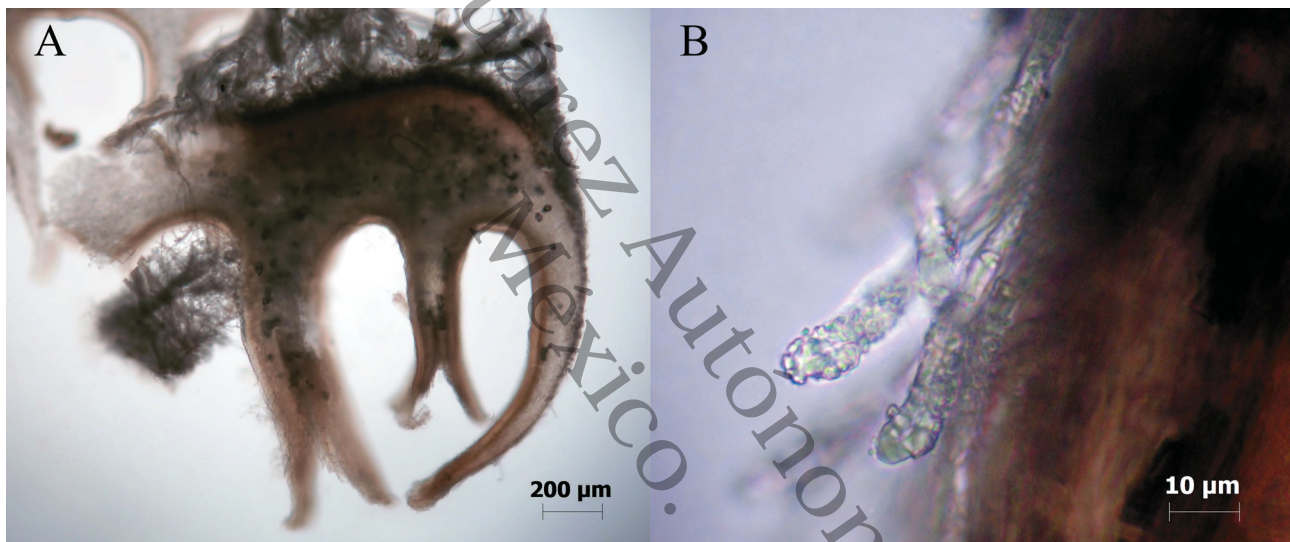


FIGURE 2. A) Cross section of the context and B) abhymenial hairs of *Schizophyllum commune*. Photography by A. A. Ávalos-Lázaro.

Habitat and Distribution:—Solitary or gregarious in large groups, saprotrophic or parasitic. This species has been reported on more than 500 hosts (Linder 1933, Cooke 1961, Olivo-Aranda & Herrera 1994, Vázquez-Mendoza 2013, Farr & Rossman 2017) and on fallen wood of *Ficus benjamina*. This species has a wide distribution and can be found throughout the year (Degreef *et al.* 1997). In Tabasco, it is distributed in the municipalities of Centro, Huimanguillo, Tacotalpa, Teapa, Tenosique, and Macuspana. In Mexico, it has been recorded in all states (Díaz-Moreno 2004, Olivo-Aranda & Herrera 1994). Worldwide, it is distributed on all continents except for Antarctica (Chang & Lui 1969, Adejoye *et al.* 2007, Ohm *et al.* 2010).

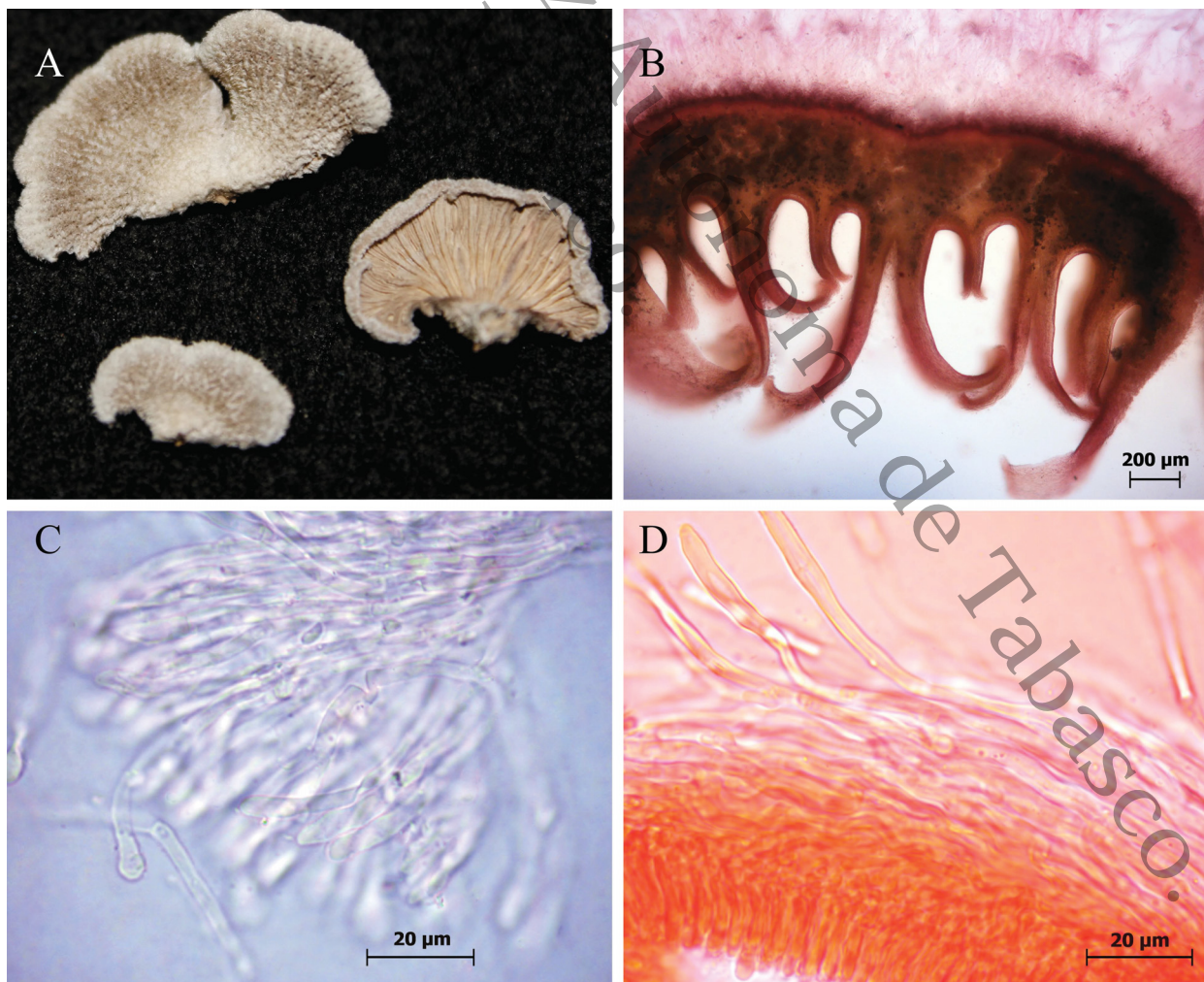
Examined material:—Mexico. Tabasco: Cárdenas, Poblado C29, elev. 10m, GPS 18° 03' N, 96° 27' W, 31 June 2009, Olmedo-López 1; Centro, Yumka', elev. 10 m, GPS 18° 00' W, 92° 50' N, 06 September 2002, González 15; Villahermosa, elev. 15 m, GPS 18° 00' N, 92° 50' W, 04 September 2000, Sosa-Martínez 4; Jardín Botánico José Narciso Roviroso, elev. 10 m, GPS 17° 59' N, 92°58' W, 04 December 2015, Carreño-Ruiz 800; 31 May 2016, Ovando 02; 25 November 2015, Carreño-Ruiz 711; Medellín y Pigua 3ª Sección, elev. 10 m, GPS 17° 74' N, 93°18' W, 14 February 2010, Pérez Hernández 02; 14 February 2010, Orduña-Rodas 1; Villa Las Fuentes Periférico, elev. 9 m, GPS 17° 58' N, 92° 57' W, 26 June 2001, Cappello 2142; Huimanguillo, Agua Selva, elev. 1000 m, GPS 17° 34' N, 93° 59' W, 18 November 2002, Domínguez 1; Estación Chontalpa, elev. 40 m GPS 17° 66' N, 93° 48' W, González 16, 16 October 2004; Tacotalpa, Sierra Tapijulapa, elev. 325 m, GPS 17°30' N, 92° 49' W, 14 March 2003, Díaz-Contreras 57; Poblado Pomoquita, elev. 9 m, GPS 17°22' N 92°43' W, 22 October 2016, Carreño-Ruiz 658, 661; Parque Natural Villa Luz, elev. 120 m, 17° 26' N, GPS 92° 45' W, 23 November 2016, Carreño-Ruiz 710; Tapijulapa, elev. 900 m,

GPS 17°27' N, 92°41' W, 23 August 2015, Carreño-Ruiz 646; Macuspana, Parque Estatal Agua Blanca, elev. 100 m, GPS 17°, 52' N, 92° 29' W, 06 July 2011, Mondragón-Sánchez 17; 05 April 2005, Díaz-Contreras 578; 11 July 2012, Carreño-Ruiz 118, Carreño-Ruiz 119, Carreño-Ruiz 707; Teapa, Ejido Vicente-Guerrero, elev. 100 m, GPS 17° 51' N, 92° 92' W, 12 June 2005, Cappello 2206; Grutas del Coconá, elev. 150 m, 17° 34' N, 93° 56' W, 07 May 2015, Carreño-Ruiz 635; Sierra Madrigal, elev. 325 m, GPS 17° 30' N, 92° 49' W, 05 April 2003, Díaz-Contreras 55; 02 March 2016, Carreño-Ruiz 617; Mercado Diana Córdova de Balboa, elev. 100 m, GPS 17° 33' N, 93° 57' W, 08 May 2016, Carreño-Ruiz 634; Tenosique, Ranchería Santo Tomas, Vázquez 1, elev. 20 m, GPS 17° 17' N, 91° 20' W, 4 December 1987 (UJAT Herbarium).

Notes:—This species is distinguished by its very dense pellicle and by the slightly split radial lines that are occasionally observed on the surface of the pileus. Margins are rolled toward the hymenium. Spores are generally light yellow in color and basidiomes have a characteristic odor of dead wood. At the micromorphological level, the abhymenial hairs cling near the surface opposite to the gills and have crystalline granules along the outer third of their length.

*Schizophyllum radiatum* Fr. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis (1851: 41)

Description:—Pileus 3–45 mm wide and 5–48 mm long, flabelliform, semicircular or spatulate, sessile or semistipitate; margin smooth, digitate or ragged, slightly rolled toward the hymenium (Figure 3A); pellicle 70 µm thickness; white ( $N_{00}M_{00}C_{00}$ ), grayish white ( $N_{20}A_{00}M_{00}$ ), or white with zones of light gray ( $A_{20}M_{20}C_{30}$ ), dark gray ( $N_{70}C_{00}A_{00}$ ), or brown ( $N_{50}A_{80}M_{50}$ ); context of 113 to 384 µm thick (Figure 3B). Hymenium of split gills, 449 to 780 µm in length; yellow ( $N_{10}A_{30}M_{30}$ ), light brown ( $N_{50}A_{99}M_{50}$ ), grayish white ( $A_{30}M_{10}C_{20}$ ), or golden brown ( $N_{30}A_{50}M_{20}$ ); abhymenial hairs simple, 3.2–4 µm diam., either a) hyaline with crystalline granules at the apex (Figure 3C) or b) hyaline, smooth, and wavy near the apex (Figure 3D), separated from the surface opposite to the gills; basidia 19–20 × 3–3.6 µm, claviform or narrow claviform; spores 4.3–6 × 2–3 µm, hyaline, cylindrical, obliquely apiculate.



**FIGURE 3.** A) Pileus with a zonate appearance, B) context, C) abhymenial hairs with crystalline granules at the apex, and D) smooth abhymenial hairs of *Schizophyllum radiatum*. Photography by A. A. Ávalos-Lázaro.



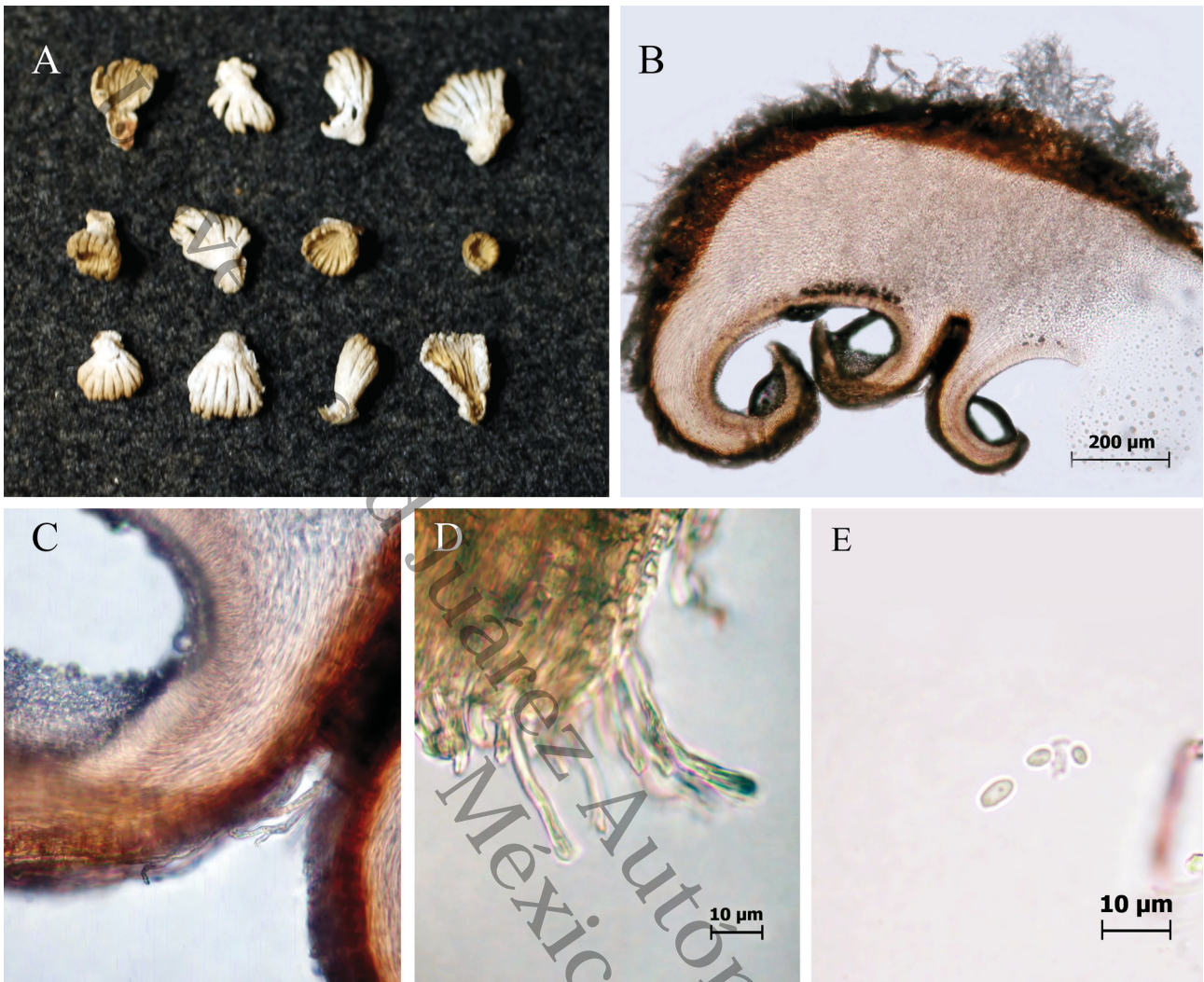
Habitat and distribution:—Solitary or gregarious in large groups, saprotrophic. This species has been reported on wood of *Magnolia mexicana*, *Persea americana* (Linder 1933), and *Gossypium arboreum* (Farr & Rossman 2017). In the present study, it was also found on fallen wood of *Ficus benjamina*, *Ormosia macrocalix*, and *Gliricidia sepium*. In Tabasco, it is distributed in the municipalities of Centro, Cárdenas, Huimanguillo, Jalpa, Macuspana, Paraíso, Tacotalpa, and Tenosique. In Mexico, it is a new record. Worldwide, it has been reported in the United States (Farr & Rossman 2017) and in tropical regions of the American continent, including Bolivia, Cuba, Ecuador, Guatemala, French Guiana, Honduras, Jamaica, Panama, Puerto Rico, Venezuela, and Suriname (Linder 1933).

Examined material:—Mexico. Tabasco: Cárdenas, Heroica Cárdenas, elev. 15 m, GPS 17° 59' N 93° 20' W, 09 September 2008, Mondragón-Sánchez 1; Centro, Jardín Botánico José Narciso Rovirosa, elev. 10 m, GPS 17° 59' N, 92°58' W, 27 October 2000, García-Arellano 1; 20 May 2004, Cappello-García 3127; 30 September 2005, Juárez 1; 21 October 2015, Carreño-Ruiz 501; 29 September 2016, Carreño-Ruiz 643; 01 July 2016, Carreño-Ruiz 635, 637; 22 September 2016, García 3; 03 September 2016, Carreño-Ruiz 639; 17 November 2016, Carreño-Ruiz 663, 664; Paseo Tabasco Villahermosa, elev. 10 m, GPS 18° 00' N, 92° 50' W, 13 September 2016, Carreño-Ruiz 638; Villa Luis Gil Pérez, elev. 10 m, GPS 17° 52' N, 93° 04' W, 29 September 2010, Montecinos 2; Ranchería Medellín y Madero 1a Secc., elev. 10 m, GPS 18.1176 N, 92.8347 W, 08 February 2005, Contreras-Godoy 1; Tamulte de las sabanas, elev. 10 m, GPS 18° 16' N, 92° 78' W, 21 September 2009, Gerónimo-Valencia 4; Parque Museo La venta, elev. 15 m, GPS 18° 00' N, 92° 50', 11 November 1997, López-Bonilla 32; 07 October 2018, Carreño-Ruiz 709; Comalcalco, Rancheria Centro Tular 2a secc., elev. 10 m, GPS 18° 19' N, 93° 23, 07 March 1999, Izquierdo-Pérez 1; Huimanguillo, Agua Selva, elev. 1000 m, GPS 17° 34' N, 93° 59' W, 5 September 1999, Cappello 915; Malpasito, elev. 411 m, GPS 17.345833 N, 93.591389 W, 23 September 2005, López-González 01; Jalapa, Ranchería Víctor Fernández Manero 1 secc, elev. 10 m, GPS 17° 85' N, 92° 81' W, 17 September 2005, Lucio 3; 19 May 2004, Camacho 19; Macuspana, Parque Estatal Agua Blanca, elev. 100 m, GPS 17°, 52' N, 92° 29' W, 28 October 2011, Gómez-García 82; 28 February 2012; Morales-López 173; 27 September 2016, Carreño-Ruiz 644; 09 August 2006, Bautista-Lorenzo 3; 28 February 2012, Mondragón-Sánchez 49; 11 July 2016, Carreño-Ruiz 117, 120; 11 March 2011, Fajardo 75; 28 February 2012, Mondragón 99; 23 March 2007, Bolívar 3; 44 March 2005, Díaz-Contreras 556; Carretera Apasco-Chivalito, elev. 100 m, GPS 17° 37' N, 92° 26' W, 04 July 2011, Ruiz-Villareal 16; Paraíso, Puerto Ceiba, elev. 10 m, GPS 18° 41' N, 93° 18' W, 04 November 2004, López-Pérez 1; Tacotalpa, Poblado Pomoquita, elev. 9 m, GPS 17°22' N 92°43' 44 W, 22 October 2016, Carreño-Ruiz 557, 660, 659, 665, 656, 653, 654; Ejido Agua Blanca Sierra Tapijulapa, elev. 20 m, GPS 17° 48' N, 92° 62' W, 29 March 2003, Díaz-Contreras 280; 15 March 2003, Díaz-Contreras 283; 30 August 2003, Díaz-Contreras 186; 14 March 2003, Díaz-Contreras 57; Ejido Yajaloh Rio Seco Sierra Tapijulapa, elev. 50 m, GPS 17° 27' N, 92°43' W, 28 July 2003, Díaz-Contreras 130; 31 August 2003, Díaz-Contreras 180; Lomas Alegres Sierra Poana, elev. 54 m, GPS 17° 35' N, 92° 47' W, 31 August 2003, Díaz-Contreras 197; Villa Luz, elev. 120 m, GPS 17° 26' N, 92° 45' W, 23 August 2015, Carreño-Ruiz 507, 508, 509; Teapa, Mercado Diana Córdova de Balboa, elev. 100 m, GPS 17° 33' N, 93° 57' W, 02 March 2016, Carreño-Ruiz 619; Sierra Madrigal, elev. 325 m, GPS 17° 30' N, 92° 49' W, 24 August 2003, Díaz-Contreras 60; 7 June 2003, Díaz-Contreras 268; Puyacatengo Cruce Chapingo, elev. 800 m, GPS 17° 37' N, 92° 52' W, 04 March 2015, Díaz-Contreras 532; 02 March 2016, Carreño-Ruiz 618; Tenosique, Rancho Tigre, elev. 50 m, GPS 17° 26' N, 91° 08 W, 27 May 1988, Hernández-Trejo 30; Estapilla, elev. 20 m, GPS 17° 54' N, 91° 40' W, 29 June 2006, Hernández-Sánchez 1; 21 June 2006, Hernández-Sánchez 5; Ranchería Santo Tomas Arroyo, elev. 20 m, GPS 17° 17' N, 91° 20' W, 04 December 1987, Aguilar-Cruz 1 (UJAT Herbarium).

Notes:—At the macroscopic level, this species can be distinguished by the surface of the pileus, which has concentric color patterns of white to dark gray and mainly white spores. In addition, it has a typical fruity aroma that contrasts with the aroma of other species in this genus. It can be confused with *S. commune*. However, *S. radiatum* has two types of abhymenial hairs: The first, which are very similar to *S. commune*, are incrustated with crystalline granules yet are located at the apex. The second are simple and wavy or wavy at the apex. Both types separated from the surface opposite to the gills.

*Schizophyllum umbrinum* Berk. Journal of Botany (1851: 15)

Description:—Pileus 6–11 mm wide × 4–7 mm long, conchate, digitate; sessile or laterally stipitate (Figure 4A); when stipe is present, a strigose zone is observed near the basal area; rigid consistency; pellicle 170 to 174 µm thickness; grayish white ( $A_{30}M_{10}C_{20}$ ) to light brown ( $N_{30}A_{20}M_{00}$ ); context 315 to 320 µm thick (Figure 4B). Hymenium with gills 231 to 299 µm in length, tightly rolled; abhymenial hairs 4 µm diam., hyaline and smooth, apexes slightly wavy or spiraled (Figure 4C, D); spores 4.7–5.4 × 2–2.6 µm, hyaline, ellipticals (Figure 4E).



**FIGURE 4.** A) Digitate pileus, B) cross section of the context, C) general view of the location of the abhymenial hairs, D) abhymenial hairs with smooth apices and E) hyaline spores of *Schizophyllum umbrinum*. Photography by A. A. Ávalos-Lázaro.

**Habitat and distribution:**—Gregarious in small groups, saprotrophic. This species has been reported on wood of *Acacia sp.*, *Persea americana*, *Eucalyptus sp.* (Olivo-Aranda & Herrera 1994), *Hevea brasiliensis*, and *Mangifera indica* (Farr & Rossman 2017). In the present study, it was mainly found in medium-height rainforest in Macuspana, Tabasco. In Mexico, it has been reported in the northern and central regions of the country in the states of Colima, Durango, Michoacán, Jalisco, Nuevo León, Nayarit, Morelos, and the State of Mexico and in the southeastern states of Veracruz, Guerrero, Chiapas, Yucatán, and Quintana Roo (Olivo-Aranda & Herrera 1994). Worldwide, it is distributed throughout the northern United States, Nicaragua, Cuba, Paris (Linder 1933), and Argentina (Robledo *et al.* 2014).

**Examined material:**—Mexico. Tabasco: Macuspana, Parque Estatal Agua Blanca, elev. 100 m, GPS 17°, 52' N, 92° 29' W, 25 March 2012, Gómez-García 250; 26 March 2012, Mondragón-Sánchez 106; 05 November 2018, Carreño-Ruiz 708 (UJAT Herbarium).

**Notes:**—This species can be confused with *S. leprieurii* D.H.L. *American Journal of Botany* (1933: 561). However, at the macroscopic level, *S. umbrinum* has a pileus of light brown to light gray color. At the micromorphological level, it has elliptical hyaline spores and smooth abhymenial hairs with wavy endings. In contrast, *S. leprieurii* has a pileus of dark brown to bright golden brown color, cylindrical yellowish brown or light brown spores and abhymenial hairs light brown with granules or crystals along the apical portion (Linder 1933, Robledo *et al.* 2014).

#### Dichotomous key for *Schizophyllum* species in the Mexican humid tropics

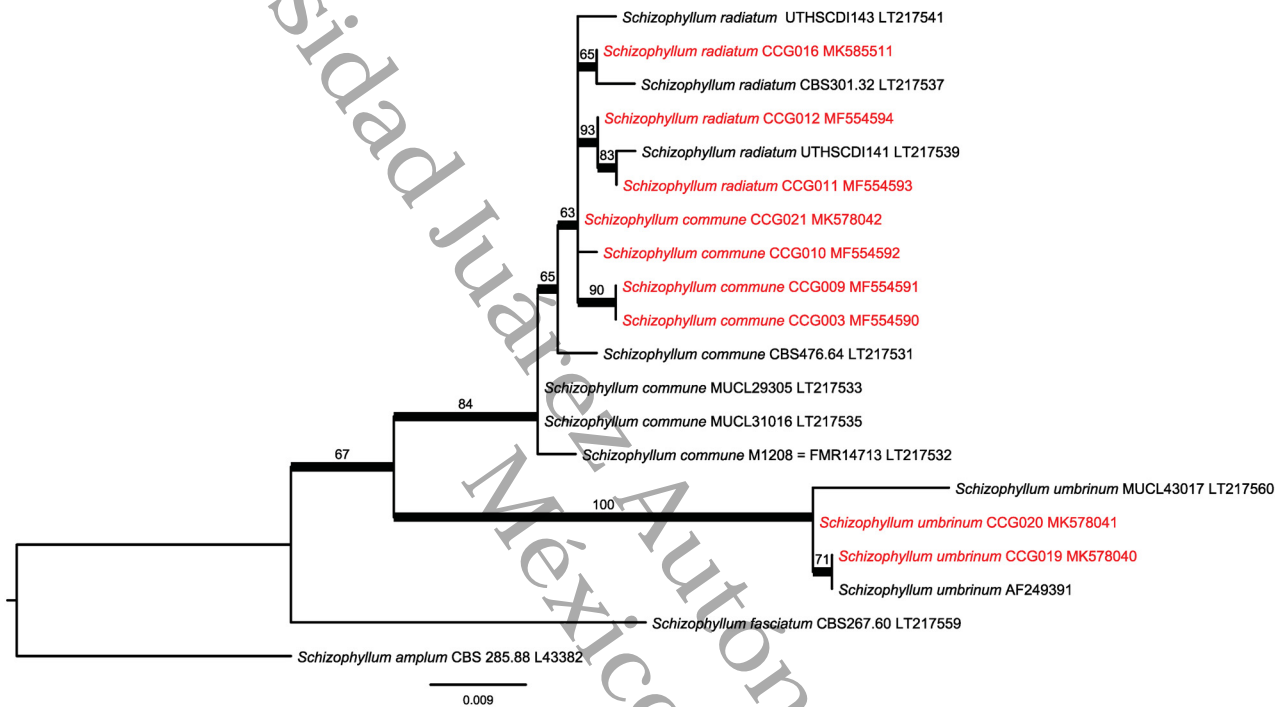
- 1a. Basidiome spatulate, semicircular, flabelliform, gills longer than the width of the context.....2
- 1b. Basidiome conchate, gills smaller of length than the width of the context; smooth abhymenial hairs, wavy to spiraled or with wavy ends.....*S. umbrinum*.



- 2a. Abhymenial hairs matted to gills, thick, hyaline, simple, slight granulation present at the apexes, smooth with swollen or slightly bifurcate ends..... *S. radiatum*.
- 2b. Abhymenial hairs separated from gills, thick walls, hyaline, simple with abundant granulation along approximately one-third of their outer length near the apex ..... *S. commune*.

### Phylogenetic analyses

The final ITS alignment contains 569 characters including gaps. *Schizophyllum amplum* K.K.N. Mycologia (1996: 771) was used as outgroup. The resulting ML and Bayesian trees had highly similar topologies. The ML tree is shown in the Figure 5 and branches with Bayesian posterior probabilities higher than 80% are thicker. Samples from Mexico are placed in two clades: one clade included strains of *S. commune* and *S. radiatum* (CBS301.32 is the epitype), which were not well separated, and another clade included only strains of *S. umbrinum* with full support.



**FIGURE 5.** Maximum likelihood phylogram of *Schizophyllum* resulting from analysis of ITS sequence data. The bootstrap support values greater than 50% are indicated, and branches with Bayesian posterior probabilities greater than 0.8 are in bold. Species sampled from Mexico are in red. Codes of the herbarium records corresponding to the strains: Carreño-Ruiz 709 (CCG016), 619 (CCG012), 618 (CCG011), 707 (CCG021), 617 (CCG010), 119 (CCG009), 118 (CCG003), 708 (CCG020) & Mondragón-Sánchez 106 (CCG019) (The origin of the herbarium records are within the section of material examined by each species).

### Discussion

In the present study three of the six validated species of *Schizophyllum* are reported from the Mexican humid tropics, according to the taxonomic studies of Linder (1933), Cooke (1961) and Robledo *et al.* (2014).

In the context of traditional taxonomy, the identification of species should mainly be based on the observation of microscopic characters, such as the size of the context as well as the morphology, size, and color of the abhymenial hairs and spores, according to the criteria proposed by Linder (1933) and Cooke (1961). Meanwhile, the macromorphological characters presented by different species of *Schizophyllum* are highly variable yet, in some cases, also very similar; so, these taxa cannot be delimited based on macromorphological characters alone. For some time, the size of the basidiomes was considered to be one important reference for separating species (Linder 1933, Cooke 1961, Guzmán 1977, Olivo-Aranda & Herrera 1994). For example, *S. commune* and *S. radiatum* were previously associated with pileus larger than 15 mm in diameter. However, in the present study, these fungi were found as small as 5 mm in size in the form of flabelliform basidiomes; therefore, at first sight, these could be confused with species like *S. umbrinum* or *S. leprieurii*. These latter two fungi have been categorized as part of the lineage of small basidiomes within the genus *Schizophyllum* with pileus less than 15 mm in diameter (Linder 1933, Cooke 1961, Robledo *et al.* 2014).

In the present study, 64% of identified specimens were *S. radiatum*. In addition, this study is the first report for this species in the humid tropics of Mexico and coincides with the study of Linder (1933), who confirmed the high frequency of this species within tropical regions of the American continent, including Bolivia, Cuba, Ecuador, Guatemala, French Guiana, Honduras, Jamaica, Panamá, Puerto Rico, Venezuela, and Suriname, among others. The findings of the present study therefore contrast with recent studies about fungi diversity of Tabasco, Mexico that highlight *S. commune* as the more frequent species (Ruán-Soto *et al.* 2004, Ruán-Soto *et al.* 2006, Sánchez-Hernández *et al.* 2010, Moreno-Fuentes 2014).

Additionally, the confusion surrounding the differentiation of *S. commune* and *S. radiatum* and the quantity of records attributed to the first species, especially in tropical areas, may be due to the high degree of morphological similarity of these species. For this reason, we recommend in particular for these species, that the taxonomist should make at least 10 cuts of the cross section of the basidiome for observe the abhymenial hairs in the lamellas until verify that in the specimen exist only one type of abhymenial hair, or by the otherwise, check if two types are found, which is very useful to determine if the specimen that is reviewed corresponds to *S. commune* or *S. radiatum*.

In this sense, in the present study it was considered important to generate a phylogenetic tree based on the analysis of the molecular sequences obtained for the species, with the universal DNA barcode marker ITS. However, the result showed that with ITS alone, it is not sufficient for species differentiation. Additional markers such as the translation elongation factor-1 $\alpha$  (TEF-1 $\alpha$ ) and the second largest subunit of RNA polymerase II (Rpb2) with higher resolution power are necessary for better differentiation.

The results obtained in our tree, on the one hand, complement the data generated by the traditional taxonomy, with respect to the identity of the species, observing that, in the analysis of the macro and micromorphological characters as in the molecular level, these species show a high similarity. Even these results coincide with the results of the phylogenetic studies previously conducted by Moncalvo *et al.* (2002) and Siqueira *et al.* (2016), who have considered these species as sisters, with a very close relationship.

Furthermore, the results of phylogenetic tree also suggest new questions regarding the molecular separation of the strains tested in this study, not being entirely conclusive, which could be attributed to the situation of the species in terms of availability of the molecular sequences that exist in the actuality. Although the GenBank database contain a large amount of molecular sequences for *S. commune* and *S. radiatum*, there is not sufficient generated molecular sequences from environmental samples of strains from basidiomes of wild origin and moreover, in a careful selection of such sequences, those showing a strong molecular support come from clinical specimens and simultaneously, part of these sequences do not reveal the corresponding taxonomic support, because no feature analysis macro- and micromorphological characters that support them, which has caused that many researchers do not have the certainty that they are the species they have named as *S. commune* or *S. radiatum*.

In this sense, the results generated, in addition to knowledge of the molecular and phylogenetic situation presented by these species based on the molecular sequences available up to now, indicate that it is important to continue with the development of these studies, in which it is necessary the use of more than one molecular marker to have greater certainty when elucidating the phylogenetic differences of these species, as they suggest (Sharma *et al.* 2015, Vellinga *et al.* 2015, Jeewon & Hyde 2016) together with the taxonomic evidence that helps to avoid ambiguities. For this reason, it is expected that the taxonomic descriptions presented here, contribute to the adequate identification of the species of *Schizophyllum*, by offering new knowledge for the field of human and animal health, mainly due to some existing controversies regarding the detected pathogenicity in species such as *S. commune* and *S. radiatum* (Chan *et al.* 2014), likewise for the pharmaceutical and biotechnological industries, which have focused their interest on the adequate identification of *S. commune*, due to its medicinal properties and its genetic qualities, among other aspects in the that it is necessary to guarantee that it is the appropriate organism.

Finally, the edibility of *S. radiatum* was confirmed for the first time in the Mexican humid tropics. Therefore, *S. radiatum* can be added to the list of edible fungal species in Mexico. Currently, this species, as well as *S. commune*, is locally commercialized in the market of Teapa, Tabasco. The potential economic value of *S. radiatum* for the communities where it is collected or located can be estimated based of the findings of the present study.

## Acknowledgments

We thank the National Council of Science and Technology [Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT] for facilitating the present research study through granting a scholarship (number 443982) to the first author. Also, we

are grateful for the efforts of the mycology personnel of the UJAT Herbarium and of all students who have participated in field collections, data processing, and deposition and storage of specimens over the last 20 years.

## Bibliography

- Acosta-Aguirre, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J. & Valenzuela, R. (2014) Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 76–81.  
<https://doi.org/10.7550/rmb.33649>
- Adejoye, O.D., Adebayo-Tayo, B.C., Ogunjobi, A.A. & Afolabi, O.O. (2007) Physicochemical studies in *Schizophyllum commune* (Fries) a Nigerian edible fungus. *World Applied Sciences Journal* 2: 73–76.
- Allen, G.C., Flores-Vergara, M.A., Krasynanski, S., Kumar, S. & Thompson, W.F. (2006) A modified protocol for rapid DNA isolation from plant tissues using cetyltrimethylammonium bromide. *Nature Protocols* 1: 2320–2325.  
<https://doi.org/10.1038/nprot.2006.384>
- Berkeley, M.J. (1851) Decades of fungi. Decades XXXI. Pyrenees and Pará fungi, collected by Mr. Spruce. *Journal of Botany (Hooker)* 3: 14–21.
- Boa, E. (2005) *Los hongos comestibles silvestres*. Food and Agriculture Organization (FAO), Italia, 95 pp.
- Calonge, F.D. (2011) *Hongos medicinales*. Mundi-Prensa, España, 160 pp.
- Cappello, G.S. & Hernández-Trejo, H. (1990) Lista preliminar de los hongos macromicetos y micromicetos de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 7: 15–21.
- Cappello, G.S. (2001) *Contribución al conocimiento de los Aphyllophorales de la madera en el Estado de Tabasco, México*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba España. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología Vegetal (Botánica), 311 pp.
- Cappello, G.S. (2006) *Hongos del Yumká*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Colección José N. Rovirosa, México, 105 pp.
- Cappello, G.S., Rosique-Gil, E. & Cifuentes-Blanco, J. (2013) *Guía de los Hongos del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana-Tabasco*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-Colección José N. Rovirosa, México, 105 pp.
- Chan, J.F.W., Tenq, J.L.L., Li, I.W.S., Wong, S.C.Y., Leung, S.S.M., Ho, P., To, K.K.W., Lau, S.K.P., Woo, P.C.Y. & Yuen, K. (2014) Fatal empyema thoracis caused by *Schizophyllum commune* with cross-reactive cryptococcal antigenemia. *Journal of Clinic Microbiology* 52 (2): 683–687.  
<https://doi.org/10.1128/JCM.02770-13>
- Chang, S. & Lui, W. (1969) Analysis of the mating types of *Schizophyllum commune* in the natural population of Hong Kong. *Botanical Bulletin of the Academia Sinica* 10: 74–88.
- Chang, S.T. & Miles, G.P. (2004) *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRS Press, Inglaterra, 451 pp.  
<https://doi.org/10.1201/9780203492086>
- Cifuentes, J., Villegas, M. & Pérez-Ramírez, L. (1986) Hongos. In: Lot, A. & Chiang, F. (Eds.) *Manual del Herbario*. Consejo Nacional de la Flora de México A. C., México, pp. 55–64.
- Cooke, B. (1961) The genus *Schizophyllum*. *Mycologia* 53 (6): 575–599.  
<https://doi.org/10.1080/00275514.1961.12017987>
- Degreef, J., Malaisse, F., Rammeloo, J. & Baudart, E. (1997) Edible mushrooms of the Zambesian woodland area. A nutritional and ecological approach. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environmental* 1: 221–231.
- Díaz-Moreno, R. (2004) *Los hongos del orden Aphyllophorales en los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 207 pp.
- Espinosa-Organista, D., Ocegueda-Cruz, S., Aguilar-Zuñiga, C., Flores-Villela, O., Llorente-Bousquets, J. & Vázquez Benítez, B. (2008) El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. In: Sarukhán, J. (Ed.) *Capital natural de México*. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 33–65.
- Farr, D.F. & Rossman, A.Y. (2017) *Fungal Databases*, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Available from: <https://nri.ars-grin.gov/fungalDATABASES/> (accessed 23 July 2017)
- Fries, E.M. (1815) *Observationes mycologicae*. Gerh. Bonnier, Copenhagen, pp. 1–230.  
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.112534>
- Fries, E.M. (1851) *Novae symbolae mycologicae, in peregrinis terris a botanicis danicis collectae*. *Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis* Ser. 3, 1: 17–136.  
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.112967>
- Guzmán, G. (1977) *Identificación de los hongos: Comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera*. Limusa, México, 236

pp.

- Guzmán, G. (2003) Los hongos del El Edén Quintana Roo: Introducción a la micobiota tropical de México. INECOL – CONABIO, México, 316 pp.  
<https://doi.org/10.1590/S0036-46652004000500017>
- Guzmán, G. (2008) Análisis de los estudios sobre los macromycetes de México. *Revista Mexicana de Micología* 28: 7–15.
- Hobbs, C. (2005) The chemistry, nutritional value, immunopharmacology, and safety on the traditional food of medicinal split-gill fungus *Schizophyllum commune* Fr. (Schizophyllaceae). A literature review. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 7: 127–140.  
<https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v7.i12.130>
- Horisawa, S., Ando, H., Ariga, O. & Sakuma, Y. (2015) Direct ethanol production from cellulosic materials by consolidated biological processing using the wood rot fungus *Schizophyllum commune*. *Bioresource Technology* 197: 37–41.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.031>
- James, T.Y., Moncalvo, J.M., Li, S. & Vilgalys, R. (2001) Polymorphism at the ribosomal DNA spacers and its relation to breeding structure of the widespread mushroom *Schizophyllum commune*. *Genetics* 157 (1): 149–161.
- Jeewon, R. & Hyde, K.D. (2016) Establishing species boundaries and new taxa among fungi: recommendations to resolve taxonomic ambiguities. *Mycosphere* 7 (11): 1669–1677.  
<https://doi.org/10.5943/mycosphere/7/11/4>
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W. & Stalpers, J.A. (2008) *Dictionary of the fungi*. CABI, Europa, 771 pp.
- Kumar S., M., Singh, J., Kumar, M. & Shekhar Thakur, I. (2014) Novel lipase from basidiomycetes *Schizophyllum commune* ISTL04, produced by solid state fermentation of *Leucaena leucocephala* sedes. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 110: 92–99.  
<https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2014.10.010>
- Kueppers, H. (1996) *Atlas de los colores*. Blume, España, 217 pp.
- Linder, D.H. (1933) The genus *Schizophyllum*. I. Species of the Western Hemisphere. *American Journal of Botany* 20: 552–568.  
<https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1933.tb08912.x>
- Moncalvo, J.M., Vilgalys, R., Redhead, S.A., Johnson, J.E., James, T.Y., Aime, M.C., Hofstetter, V., Verduin, S.J.W., Verduin, E.L., Timothy, B.J., Thorn, G.R., Jacobsson, S., Cléménçon, H. & Miller, O.K. (2002) One hundred and seventeen clades of euagarics. *Molecular phylogenetics and evolution* 23: 357–400.
- Moreno-Fuentes, A. (2014) Un recurso alimentario de los grupos originarios y mestizos de México: los hongos silvestres. *Anales de Antropología* 48 (1): 241–272.
- Miller, M.A., Pfeiffer, W. & Schwartz, T. (2010) Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees. In: IEEE (Eds.) *Proceedings of the Gateway Computing Environments Workshop (GCE)*. New Orleans, 8 pp.  
<https://doi.org/10.1109/GCE.2010.5676129>
- Nakasone, K.K. (1996) Morphological and Molecular Studies on *Auriculariopsis albomellea* and *Phlebia albida* and a Reassessment of *A. ampla*. *Mycologia* 88 (5): 762–775.  
<https://doi.org/10.5586/am.2006.008>
- Ohm, R.A., De Jong, J.F., Lugones, L.G., Aerts, A., Kothe, E., Stajich, J.E., De Vries, R.P., Record, E., Lévassieur, A., Baker, S.E., Bartholomew, K.A., Coutinho, P.M., Erdmann, S., Fowler, T.J., Gathman, A.C., Lombard, V., Henrissat, B., Knabe, N., Kües, U., Lilly, W.W., Lindquist, E., Lucas, S., Magnuson, J.K., Piumi, F., Raudaskoski, M., Salamov, A., Schmutz, J., Schwarze, F.W., vanKuyk, P.A., Horton, J.S., Grigoriev, I.V. & Wösten, H.A. (2010) Genome sequence of the model mushroom *Schizophyllum commune*. *Nature Biotechnology* 28 (9): 957–965.  
<https://doi.org/10.1038/nbt.1643>
- Olivo-Aranda, F. & Herrera, T. (1994) Las especies de *Schizophyllum* en México, su distribución ecológica e importancia etnomicológica. *Revista Mexicana de Micología* 10: 21–32.
- Olvera-Salgado, M.D. (2010) Agricultura de temporal en el trópico húmedo mexicano. Gaseta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). SEMARNAT. Available from: <https://www.imta.gob.mx/gaceta/antiores/g39-07-2010/agricultura-temporal.html> (accessed 27 July 2017)
- Patouillard, N.T. (1887) Note sur quelques champignons de l'herbier du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. *Journal de Botanique (Morot)* 1: 169.
- Piepenbring, M. (2015) *Introducción a la Micología en los Trópicos*. The American Phytopathological Society, Estados Unidos de América, 325 pp.  
<https://doi.org/10.1094/9780890546147>
- Rambaut, A., Suchard, M., Xie, D. & Drummond, A. (2014) Tracer v1.6. Available from: <http://beast.bio.ed.ac.uk/Tracer> (accessed 12 March 2018)
- Robledo, G.L., Popoff, O.F., Amarilla, L.D., Moncalvo, J.M. & Urcelay, C. (2014) *Schizophyllum leprieurii* and the *Schizophyllum umbrinum* lineage (Agaricales, Basidiomycota) in Argentina. *Lilloa* 51 (1): 87–96.



- Ronquist, F. & Huelsenbeck, J.P. (2003) MrBayes3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19: 1572–1574.  
<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btg180>
- Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. & Cifuentes, J. (2006) Process and dynamics of traditional selling wild edible mushrooms in tropical Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 3.  
<https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-3>
- Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. & Cifuentes-Blanco, J. (2004) Conocimiento micológico tradicional en la planicie costera del Golfo de México. *Revista Mexicana de Micología* 19: 57–70.
- Sánchez, J.E., Andrade-Gallegos, R.H. & Coelo, M. (2010) Los hongos comestibles en el sureste de México. In: Martínez-Carrera, D., Curvetto, M., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V.M. (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*. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla, México, 648 pp.
- Sharma, R., Polkade, A.V. & Shouche, Y.S. (2015) ‘Species concept’ in microbial taxonomy and systematics. *Current science* 108 (10): 1804–1814.
- Siqueira, J.P.Z., Sutton, D., Gene, D., García, M., Guevara-Suarez, M., Decock, C., Wiederhold, N. & Guarro, J. (2016) *Schizophyllum radiatum*, an emerging fungus from human respiratory tract. *Journal of Clinical Microbiology* 54 (10): 2491–2497.  
<https://doi.org/10.1128/JCM.01170-16>
- Turlo, J. (2014) The biotechnology of higher fungi - current state and perspectives. *Folia Biologica et Oecologica* 10: 49–65.  
<https://doi.org/10.2478/fobio-2014-0010>
- Vázquez-Mendoza, S. (2012) *Macromicetos medicinales provenientes de la sierra norte de Puebla, México; depositados en el herbario “Gastón Guzmán”*, ENCB-IPN, *Etnobiología* 10 (2): 34–37.
- Vázquez-Mendoza, S. (2013) Nuevo hospedero del hongo *Schizophyllum commune* en América. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 661–663.  
<https://doi.org/10.7550/rmb.31611>
- Vellinga, E (2013) Split Gill – *Schizophyllum commune*. *Mycena News* 64 (9): 1–6.
- Vellinga, E.C., Kuyper, T.W., Ammirati, J. & Desjardin, D.E. (2015) Six simple guidelines for introducing new genera of fungi. *IMA Fungus* 6: 65–68.  
<https://doi.org/10.1007/BF03449356>
- White, T.J., Bruns, T.D., Lee, S.B. & Taylor, J.W. (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J. & White, T.J. (Eds.) *PCR Protocols: A guide to methods and applications*. London: Academic Press, pp. 282–287.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>
- Ying, J. & Mao, X. (1987) *Icons of medicinal Fungi from China*. Science Press, Beijing, 575 pp.

**PRODUCCIÓN DE BASIDIOMAS DE *Schizophyllum commune* (FUNGI: BASIDIOMYCOTA) EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS DE TABASCO, MÉXICO**

**ABSTRACT**

The *in vitro* mycelial growth rate of *Schizophyllum commune* Fr. 1815 strains from Tabasco, Mexico and the production of basidiomas in different regional agricultural substrates was evaluated. Four strains were used: CCG003, CGG009, CCG010 and CGG13, and four substrates: cocoa peel (CP), banana leaves (BL), corn leaves (CL) and as a control, mulatto wood (MW). Based on the speed of growth, two strains and three substrates were selected to evaluate the basidiomas production in two types of containers: plastic bags and rectangular trays. Productivity was assessed based on Biological Efficiency (BE), Yield (Y) and Production Rate (PR). At 12 days of incubation, the highest mycelial growth rate was recorded in CP by CCG003 and CCG013 strains ( $51.6 \pm 22.1$ , and  $64.4 \pm 18.1$  mm d<sup>-1</sup>) and in HM and HP by CCG009 and CCG010 strains ( $86.9 \pm 17.8$ , and  $58 \pm 7.8$  mm d<sup>-1</sup>), compared to the control substrate (from  $117.2 \pm 7.4$  to  $120 \pm 0.0$  mm d<sup>-1</sup>). High production was recorded in the CC by the CCG009 strain, grown in bags, with BE of  $12.8 \pm 2.6\%$ , Y of  $4.1 \pm 0.8\%$  and PR of  $0.7 \pm 0.1\%$ . The production of *S. commune* was better in the bag than in the tray. This study represents an advance in the production of basidiomas of this important fungus, as a food alternative for the tropical regions of Mexico.

**Key words:** edible mushrooms, food agribusiness, agricultural by-products, tropical regions.

**RESUMEN**

Se evaluó la tasa de crecimiento micelial *in vitro* de cepas de *Schizophyllum commune* Fr. 1815 de Tabasco, México y la producción de basidiomas en sustratos agrícolas regionales. Se utilizaron cuatro cepas: CCG003, CGG009, CCG010 y CCG13, y cuatro sustratos: cáscara de cacao (CC), hojas de plátano (HP), hojas de maíz (HM) y como testigo se utilizó palo mulato (PM). Con base en la velocidad de crecimiento, se seleccionaron dos cepas y tres sustratos para evaluar la producción de basidiomas en dos tipos de contenedores: bolsas plásticas y bandejas rectangulares. La productividad se evaluó con base en la Eficiencia Biológica (EB), el Rendimiento (R) y la Tasa de Producción (TP). A los 12 días de incubación, la mayor velocidad de crecimiento micelial se registró en CC por las cepas CCG003 y CCG013 ( $51.6 \pm 22.1$  y  $64.4 \pm 18.1$  mm d<sup>-1</sup>) y en la HM y HP por las cepas CCG009 y CCG010 ( $86.9 \pm 17.8$  y  $58 \pm 7.8$  mm d<sup>-1</sup>), en comparación con el sustrato testigo (de  $117.2 \pm 7.4$  a  $120 \pm 0.0$  mm d<sup>-1</sup>). La producción más alta se registró en la CC por la cepa CCG009 cultivada en bolsa, con una EB de  $12.8 \pm 2.6\%$ , un R de  $4.1 \pm 0.8\%$  y una TP de  $0.7 \pm 0.1\%$ . La producción de *S. commune* fue mejor en bolsa que en bandeja. Este estudio representa un avance en la producción de basidiomas de este importante hongo, como una alternativa alimenticia para las regiones tropicales de México.

**Palabras clave:** hongos comestibles, agroindustria alimentaria, subproductos agrícolas, regiones tropicales.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el hongo comestible *Schizophyllum commune* Fr. 1815 se sugirió como una alternativa de producción de alimento en las regiones tropicales (Chandrawanshi *et al.*, 2017; Kamalebo *et al.*, 2018) con la posibilidad de

aprovechar diferentes subproductos agrícolas para su cultivo (Royse, 2018; Tovar-Herrera, 2018).

Esta especie es de amplia distribución geográfica (Carreño-Ruiz *et al.*, 2010), se le ha encontrado en una gran cantidad de sustratos lignocelulósicos (Vázquez-Mendoza, 2013) y fructifica en altas temperaturas (Cappello García *et al.*, 2018). Así mismo, se consume por diversos grupos étnicos de Asia, África y América (México y Guatemala) (Boa, 2005; Moreno-Fuentes, 2014; Kamalebo *et al.*, 2018). En México se consume en seis Estados de la región Sur (Cappello García *et al.*, 2018). En Tabasco, su consumo y venta tradicional se encuentran reportados en Teapa y en Macuspana (Ruán-Soto y Cifuentes Blanco, 2011), donde la disponibilidad de los basidiomas depende de su recolecta en el medio silvestre en la temporada de lluvias.

Su cultivo experimental se ha reportado de 20 a 27°C (Bran González *et al.*, 2009; Figlas *et al.*, 2014; Ediriweera *et al.*, 2015; Herawati *et al.*, 2016) en diferentes sustratos. Sin embargo, es importante señalar las condiciones ambientales extremas que se presentan en las regiones tropicales, con temperaturas mayores a los 40°C, por lo que es necesario realizar las investigaciones pertinentes para seleccionar cepas y sustratos con capacidad de producción de basidiomas en dichas condiciones.

En Tabasco existen subproductos agrícolas con el potencial de utilizarse para el cultivo de *S. commune*, como la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L., 1753), hojas de plátano (*Musa x paradisiaca* L., 1753) y hojas de maíz (*Zea mays* L., 1753), con una producción anual en el Estado de 18 331 ton, 619 215 ton y 64532 ton, respectivamente (SIAP, 2019).



El presente estudio tuvo el objetivo de evaluar el crecimiento micelial y la eficiencia de producción de basidiomas de cepas de *S. commune* nativas de Tabasco, México en algunos abundantes subproductos agrícolas regionales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se emplearon cuatro cepas de *S. commune* depositadas en el Cepario de Hongos Comestibles y Medicinales “Cappello García” de la División Académica de Ciencias Biológicas (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), con el registro CCG003, CCG009, CCG010 y CCG013, corroboradas taxonómica y molecularmente (Carreño Ruiz *et al.*, 2019). Se depositó una copia de la cepa CCG003, en el Cepario de Hongos del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL, Xalapa, México) (World Data Centre for Microorganisms), registrada como IE-968. Así mismo, se emplearon cuatro sustratos: cáscara de cacao (CC) (*Theobroma cacao* L. 1753), hojas de plátano (HP) (*Musa x paradisiaca* L., 1753), hojas de maíz (HM) (*Zea mays* L. 1753) y palo mulato [*Bursera simaruba* (L.) Sarg. (1890)] (PM) como sustrato testigo.

### **Evaluación del crecimiento micelial**

Se preparó inóculo de cada una de las cepas en 100 g de semillas de maíz palomero. Inicialmente, las semillas se hidrataron por inmersión durante 12 h, se lavaron, se escurrió el exceso de humedad y se colocaron en frascos de vidrio de boca ancha, los cuales se esterilizaron durante 40 min a 121°C. Después del enfriamiento, las semillas se inocularon con cada una de las cepas a evaluar y se incubaron a 35±2°C en oscuridad durante 12 días (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006). Cada sustrato se recolectó en fresco en diferentes áreas agrícolas de la región, se secó al sol durante tres días, se fragmentó en partículas de aproximadamente 1 cm de longitud, se hidrato por inmersión durante 12 h y posteriormente se escurrió el

exceso de humedad hasta lograr un 70%. De manera independiente, a cada sustrato se le agregó cal  $[Ca(OH)_2]$  (0.1%) y yeso ( $CaSO_4$ ) (0.1%) y la mezcla se colocó en tubos de ensaye de 25 x 150 mm, a 120 mm del volumen del tubo a partir de la base. Los tubos se esterilizaron durante 40 min a 121°C y en condiciones de asepsia se les agregó 1.0 g de inóculo previamente preparado y se taparon con algodón estéril, se rotularon con dos líneas longitudinales opuestas “A” y “B” y sobre éstas se midió el crecimiento del micelio durante 51 días de incubación a  $35\pm 2^\circ C$  en completa oscuridad (Gaitán-Hernández y Salmones, 2015).

### **Evaluación de la producción de los basidiomas de *S. commune***

Se preparó nuevamente inóculo como previamente se describió (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006). Los sustratos utilizados se fragmentaron a un tamaño de partícula de aproximadamente 2-3 cm de longitud. Éstos se sometieron a un tratamiento térmico en agua a 80°C, dentro de un recipiente metálico de 200 litros durante 1 h. Se escurrió el exceso de humedad hasta que cada sustrato tuvo un porcentaje de humedad de 70%.

### **Proceso de siembra en bolsas**

Por cada tratamiento, se prepararon cinco bolsas plásticas de 35 x 45 cm, con un kg del sustrato húmedo y 60 g de inóculo homogéneamente distribuido. Las bolsas se incubaron en obscuridad a  $38\pm 2^\circ C$  y una humedad relativa de 80%. A las 24 h de incubación, con ayuda de una navaja estéril, a cada bolsa se les hicieron 29 perforaciones en forma de “X” de 20x20 mm aproximadamente, y una vez que el micelio cubrió el sustrato, se expusieron a 12 h de luz y 12 h de oscuridad, se humedecieron continuamente mediante un sistema de riego y se registró una

temperatura de  $38\pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 80%, durante el periodo de producción.

### **Proceso de siembra en bandejas**

Por cada tratamiento se sembraron cinco bandejas (30x20x5 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente) con 1 kg de sustrato húmedo y 60 g de inóculo colocado en el fondo del contenedor. Las bandejas se cubrieron con una película plástica e incubaron en completa oscuridad a  $38\pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 80%. A las 24 h de incubación, la cubierta plástica se perforó con 15 orificios lineales de 18 mm aproximadamente. Una vez que el micelio cubrió el sustrato, se retiró el plástico y se expusieron a 12 h luz y 12 h de oscuridad y se humedecieron continuamente mediante un sistema de riego; se registró la misma temperatura y humedad citadas previamente.

En la evaluación de ambas condiciones, se consideró el periodo de incubación, la aparición de primordios, tamaño de hongos, peso fresco y seco de los mismos, número de cosechas, temperatura ambiental y humedad relativa. En la producción de *S. commune* se consideró la Eficiencia Biológica [EB=Peso fresco de los hongos cosechados (g)/Peso seco del sustrato (g) x100], Rendimiento [R=Peso fresco de los hongos cosechados (g)/Peso húmedo del sustrato (g) x100] y la Tasa de Producción (TP=EB/tiempo transcurrido desde la inoculación hasta la última cosecha) (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006).

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Los valores de crecimiento micelial ( $\text{mm d}^{-1}$ ) se registraron en una matriz. Se les aplicó una ANOVA multifactorial y comparación de medias, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p<0.05$ ). En total se evaluaron 16 tratamientos (4

cepas x 4 sustratos x 7 réplicas). Los valores de productividad se analizaron también con una ANOVA multifactorial y una comparación de medias (Tukey,  $p < 0.05$ ). En total se evaluaron 12 tratamientos (2 cepas x 2 sistemas de cultivo x 3 sustratos x 5 réplicas). Todos los valores se analizaron con el programa Statistica versión 7.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación del crecimiento micelial

A los 12 días de incubación, las cuatro cepas mostraron la mayor velocidad de crecimiento micelial promedio en el sustrato testigo (PM), sin diferencias estadísticas entre ellas. Con respecto a los sustratos alternativos, las cepas CCG003 y CCG013, mostraron la mayor velocidad en CC, contrario a las cepas CCG009 y CCG010, con valores más altos de crecimiento en HM y HP, respectivamente (Cuadro 1). La tasa de crecimiento micelial promedio ( $\text{mm d}^{-1}$ ) de cada cepa se muestran en la Gráfica 1.

**Cuadro 1. Crecimiento micelial promedio de las cepas de *S. commune* a los 12 días de incubación**

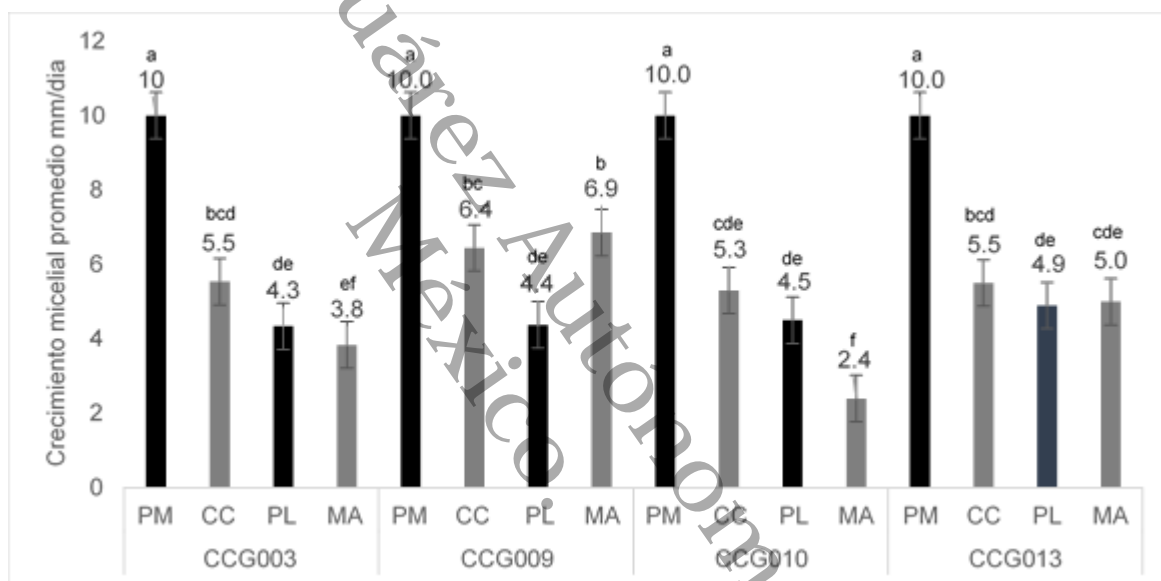
Sustrato	Cepas			
	CCG003	CCG009	CCG010	CCG013
PM	120±0.0 <sup>a</sup>	117.2±7.4 <sup>a</sup>	120±0.0 <sup>a</sup>	120±0.0 <sup>a</sup>
CC	51.6±22.1 <sup>de</sup>	78.8±13.3 <sup>bc</sup>	53±17.8 <sup>cde</sup>	64.4±18.1 <sup>bcd</sup>
HP	41.3±12.5 <sup>def</sup>	56.4±20.0 <sup>cd</sup>	58±7.8 <sup>cd</sup>	49.5±13.4 <sup>de</sup>
HM	28.4±15.1 <sup>ef</sup>	86.9±17.8 <sup>b</sup>	49.4±17.5 <sup>de</sup>	16.1±4.5 <sup>f</sup>

PM=palo mulato, CC=cáscara de cacao, HP=hoja de plátano, HM=hoja de maíz. Los valores son promedios  $\pm$  desviación estándar. Los promedios que no tiene al menos una letra en común, para los sustratos y para las cepas son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Previo a este estudio, Carreño Ruiz *et al.*, (2014) registraron un resultado similar en la tasa de crecimiento micelial promedio diario de la cepa silvestre de la región CH-147 de *S. commune*, crecida en CC, con  $9.7 \text{ mm d}^{-1}$ .

Con esta prueba se evidencia la preferencia de las cepas por el PM, registrado como uno de los hospederos naturales de *S. commune* (Ruán-Soto *et al.*, 2004). Sin embargo, es importante considerar que el manejo de este sustrato no se considera factible debido a las implicaciones ecológicas y económicas que representa la extracción del árbol del medio natural, por lo que la CC y la HP constituyen alternativas viables dada su gran abundancia en la región.

**Grafica 1. Tasa de crecimiento micelial promedio de las cepas de *S. commune* en los sustratos evaluados**



Las columnas que no tiene al menos una letra en común son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

### Evaluación de la producción de basidiomas de *S. commune*

Del experimento anterior se seleccionaron las cepas CCG009 y CCG013, así como tres sustratos, PM, CC y HP, para el cultivo y producción de basidiomas de la especie de estudio. La descripción del ciclo de cultivo y productividad de ambas cepas se muestra en el cuadro 2.

En el sistema de cultivo en bolsa, el periodo más corto de aparición de primordios fue de un día, en los tres sustratos evaluados y las dos cepas probadas. La primera cosecha en CC se registró a los cuatro días después del periodo de incubación, en ambas cepas. En CC también se obtuvieron más cosechas con la cepa CCG009 (Cuadro 2).

La duración total del ciclo de cultivo en ambos sistemas de cultivo varió de 26 a 27 días. Los valores son semejantes a los registrados por Bran-González *et al.* (2009) y Herawatia *et al.* (2016), quienes reportaron ciclos de cultivo de 28 días en rastrojo de maíz y desechos de la palma de aceite, y difiere del cultivo con semillas de girasol, con ciclos de 31 a 36 días (Figlas *et al.*, 2014) y de 48 días en viruta de pino (Bran-González *et al.*, 2009).

**Cuadro 2. Ciclo de cultivo y producción de basidiomas de *S. commune*, en los dos tipos de contenedores evaluados**

CEPA CCG009	Contenedor					
	Bolsa			Bandeja		
<i>*Descripción del cultivo</i>	PM	CC	HP	PM	CC	HP
Periodo de incubación (d)	9	9	9	9	9	9
Aparición de primordios (d)	1-2	1	1-2	2-3	2-3	2
Primera cosecha (d)	5	4	5	4	5	5
Cosechas (promedio)	5	6	4	5	3	3
Duración del ciclo de cultivo (d)	27	27	27	27	27	26
<i>*Índices de producción</i>						
Biomasa fresca promedio (g/kg)	32.5± 1.9 <sup>b</sup>	41.2±8.3 <sup>a</sup>	12.5±1.18 <sup>cde</sup>	33.2±6.0 <sup>ab</sup>	11.4± 2.6 <sup>de</sup>	12.3± 2.5 <sup>cde</sup>
Biomasa seca promedio (g/kg)	11.4±1.4 <sup>a</sup>	10.± 0.9 <sup>a</sup>	4.0±0.6 <sup>bc</sup>	10.2±1.0 <sup>a</sup>	3.6± 1.8 <sup>bc</sup>	3.4±1.2 <sup>bc</sup>
Eficiencia biológica (%)	10.5±0.6 <sup>a</sup>	12.8±2.6 <sup>a</sup>	7.1±0.7 <sup>b</sup>	10.7±1.9 <sup>a</sup>	3.5±0.8 <sup>d</sup>	6.9±1.4 <sup>b</sup>
Rendimiento (%)	3.3 ±0.2 <sup>ab</sup>	4.1± 0.8 <sup>a</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>cde</sup>	3.3 ± 0.6 <sup>ab</sup>	1.1 ± 0.3 <sup>de</sup>	1.2 ± 0.2 <sup>cde</sup>
Tasa de producción (%)	0.6± 0.0 <sup>a</sup>	0.7± 0.1 <sup>a</sup>	0.4± 0.0 <sup>b</sup>	0.6± 0.1	0.2± 0.0 <sup>d</sup>	0.4± 0.1 <sup>b</sup>
<b>CEPA CCG013</b>	<b>Contenedor</b>					
	<b>Bolsa</b>			<b>Bandeja</b>		
<i>*Descripción del cultivo</i>	PM	CC	HP	PM	CC	HP
Periodo de incubación (d)	9	9	9	9	9	9
Aparición de primordios (d)	1-2	1	1-3	5	5-6	5
Primera cosecha (d)	4	4	6	4	6	4
Cosechas (promedio)	5	5	3	2	2	2
Duración del ciclo de cultivo (d)	27	27	26	26	27	27
<i>*Índices de producción</i>						

Biomasa fresca promedio (g/kg)	<b>20.0±4.0<sup>c</sup></b>	15.9± 2.7 <sup>cd</sup>	12.7± 0.9 <sup>cde</sup>	8.8±3.9 <sup>def</sup>	6.3± 4.0 <sup>ef</sup>	2.6±1.5 <sup>f</sup>
Biomasa seca promedio (g/kg)	<b>5.4± 0.6<sup>b</sup></b>	4.8± 0.9 <sup>b</sup>	2.2±0.4 <sup>d</sup>	2.1± 0.5 <sup>cd</sup>	1.9± 1.8 <sup>d</sup>	0.7± 0.6 <sup>d</sup>
Eficiencia biológica (%)	<b>6.4±1.3<sup>b</sup></b>	4.9±0.8 <sup>bc</sup>	7.2± 0.5 <sup>b</sup>	2.8±1.3 <sup>cd</sup>	2.0± 1.3 <sup>d</sup>	1.5±0.9 <sup>d</sup>
Rendimiento (%)	<b>2.0±0.4<sup>c</sup></b>	1.6 ± 0.3 <sup>cd</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>cde</sup>	0.9± 0.4 <sup>ef</sup>	0.6± 0.4 <sup>ef</sup>	0.3 ± 0.2 <sup>f</sup>
Tasa de producción (%)	<b>0.4± 0.1<sup>b</sup></b>	0.3± 0.0 <sup>bc</sup>	0.4± 0.0 <sup>b</sup>	0.2± 0.1 <sup>cd</sup>	0.1± 0.1 <sup>d</sup>	0.1± 0.0 <sup>d</sup>

PM=palo mulato, CC=cáscara de cacao, HP=hoja de plátano. Los valores son promedios ± desviación estándar. Los promedios que no tiene al menos una letra en común en los índices de producción son significativamente diferentes (Tukey,  $p<0.05$ ).

La especie de hongo objeto de estudio, ofrece una ventaja al productor para obtener basidiomas cuatro días después de la incubación, periodo más corto que el reportado para otras especies tropicales como *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn, con aparición de primordios hasta los 13 días después de la incubación, en sustratos como el rastrojo de maíz, bajo condiciones similares a las reportadas en este estudio (López-Coba *et al.*, 2005).

En cuanto a los índices de producción, el mayor valor de biomasa fresca se obtuvo con la cepa CCG009 cultivada en bolsas sobre CC (41.2±8.3), con diferencias estadísticas para el resto de los tratamientos. En general, este sustrato presentó los mayores valores de biomasa después de los registrados en el sustrato testigo (PM) (Cuadro 2). Sin embargo, se observó una alta reducción en la biomasa seca, lo cual se atribuye a la morfología natural de la especie, debido a la presencia de la película vilosa en el píleo del basidioma, la cual retiene una buena cantidad de agua en condiciones húmedas y tiende a perderla con facilidad en ambientes secos (Carreño-Ruiz *et al.*, 2019).

Así mismo, los valores más altos de EB (12.8±2.6), R (4.1± 0.8) y TP (0.7± 0), se registraron en la CC en el cultivo en bolsa, con la cepa CCG009, sin diferencias estadísticas con la EB, R y TP de PM, tanto en bolsa como en bandejas, pero fueron estadísticamente diferentes del resto de los tratamientos. En el otro sustrato alternativo de HP, la cepa CCG009 logró una EB de 7.1±0.7%, una R de 1.3±0.1%

y una TP de  $0.4 \pm 0.0\%$  en el cultivo en bolsa, mientras que en bandeja presentó valores similares, sin diferencia significativa entre los tratamientos. En tanto que con la cepa CCG013 en HP, el sistema de cultivo en bolsa fue más eficiente (Cuadro 2). Es importante señalar que estos resultados se encuentran dentro de los valores registrados previamente en la producción de *S. commune*. Bran-González *et al.* (2009) reportaron una EB de 4.98% en viruta de pino suplementada con harina de trigo, avena y  $\text{CaCO}_3$  y de 5.5% en la caña y olote de maíz (50-50%). Por otra parte, los resultados aquí obtenidos, superan la EB de 3.73% obtenida en desechos del fruto de la palma de aceite suplementados con  $\text{CaCO}_3$ , salvado de arroz y almidón de tapioca, reportada por Herawatia *et al.* (2016). Sin embargo, los valores son inferiores a la EB de 40.7% a 48.3%, lograda en la cáscara de semillas de girasol solas y suplementadas con salvado de trigo, entre otros (Figlas *et al.*, 2014).

El cultivo de esta especie obedece a la dinámica de diferentes factores, primero, las cepas presentan diferentes capacidades o respuestas de producción, en este caso, la mejor producción se obtuvo con la CCG009, segundo, con esta misma cepa se obtuvieron resultados similares entre los tratamientos evaluados en un mismo sustrato y en ambos sistemas de siembra, mientras que, con la cepa CCG013 la producción fue mayor en bolsa que en bandejas.

Es importante considerar la capacidad de retención de humedad que tienen los diferentes sustratos, la cual tiende a mantenerse cuando se usan bolsas, en comparación con las bandejas, lo que influye en la producción. En el caso del estado de Tabasco, la temperatura ambiente anual oscila desde 36 hasta  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ , en los meses más calurosos, lo que afecta la humedad presente en los sustratos, debido



a que, bajo estas condiciones tienden a perder humedad y en mayor medida si se utiliza el sistema en bandejas.

El sustrato de cáscara de cacao (CC) representa una alternativa viable para la producción de *S. commune*, aunque es importante continuar con las investigaciones al respecto, dada la plasticidad fenética que presenta este hongo, lo cual propicia que en las bolsas se produzcan morfologías mayormente conadas, mientras que en las bandejas son flabeliformes, con tamaños de 3 a 8 mm y de 10 a 50 mm de diámetro, respectivamente, (Figura 1), lo cual condiciona la aceptación de esta especie por parte de los consumidores, quienes, en Tabasco refieren su preferencia por los hongos flabeliformes de mayor talla.

La optimización de la producción de este cultivo podría lograrse al integrar los factores señalados y otras condicionantes tales como el mejoramiento genético de las cepas nativas y la elaboración de distintas formulaciones de sustratos con suplementos disponibles en la región.

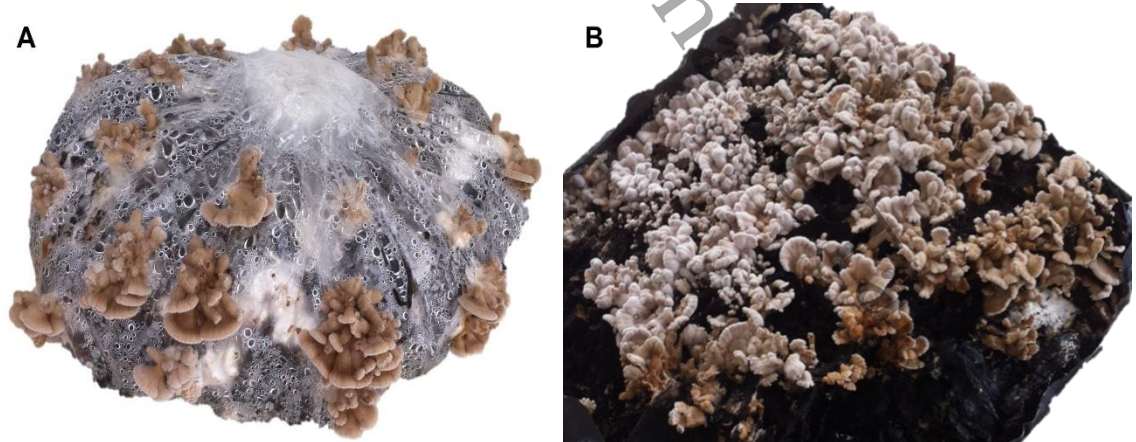


Figura 1. Morfología de los basidiomas de *S. commune* cultivados en cáscara de cacao: a) conados y b) flabeliformes (Fotografías: Santa D. Carreño Ruiz).

## **CONCLUSIÓN**

*Schizophyllum commune* se desarrolla y fructifica en condiciones de alta temperatura y humedad, por lo que es un recurso viable para la producción de alimento en la región del trópico húmedo de México. Su crecimiento es rápido, se logra su primera cosecha incluso a los 4 días después del periodo de incubación, apto para producirse en condiciones semicontroladas en instalaciones rústicas, con posibilidades de emprendimiento por parte de las comunidades rurales y en general, para el sector interesado en la producción de hongos, con requerimientos mínimos a un bajo costo. Este estudio, constituye la primera evaluación de crecimiento micelial de cepas nativas de *S. commune* en México y de su producción en sustratos agrícolas generados la región tropical.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el apoyo otorgado por el proyecto CONACYT - FORDECYT 273647 y la beca número 443982 de la primera autora (443982).

## **LITERATURA CITADA**

Boa, E. (2005). Los hongos comestibles silvestres. Italia: Food and Agriculture Organization.

Bran-González, M. C., Morales-Esquivel, O. I., Flores-Arzú, R. E. & Cáceres-Staackmann, R. A. (2009). Caracterización y producción de cuerpos fructíferos de cepas nativas del hongo comestible Asam (*Schizophyllum commune* Fr.). Universidad de San Carlos, Guatemala.

Cappello-García, S. (2018). Fruit body production of *Schizophyllum commune*. In Sánchez, J. E., Mata, G. & Royse, D. J. Ed. Updates on Tropical Mushrooms. Basic and applied research. Mexico: El Colegio de la Frontera Sur, 95-104.

Carreño-Ruiz, S. D., Ávalos Lázaro, A. A., Cappello-García, S., Gaitán-Hernández, R. Chen, J. Guillen-Navarro, G. K., García-Fajardo, L. V., Jiménez-Pérez, N. C.

Torres De la Cruz, M., Cifuentes-Blanco, J. & Cappello, R. E. (2019). New record of *Schizophyllum* (Schizophyllaceae) from Mexico and the confirmation of its edibility in the humid tropics. *Phytotaxa* 413 (2): 137–148. doi:10.11646/phytotaxa.413.2.3

Carreño-Ruiz, S. D., Cappello-García, S., Gaitán-Hernández, R., Cifuentes-Blanco, J. & Rosique-Gil, J. E. (2014). Crecimiento de tres hongos comestibles tropicales en medios de cultivo y residuos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 8, 1447-1458. doi: [10.29312/remexca.v5i8.822](https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.822)

Chandrawanshi, N. K., Tandi, D. K., & Jadhav, S. K. (2017). Nutraceutical properties evaluation of *Schizophyllum commune*. *Indian Journal of Scientific Research*, 13 (2): 57-62.

Ediriweera, S. S., Wijesundera, R. L. C., Nanayakkara, C. M. & Weerasena, O. V.D. S. J. (2015). Comparative study of growth and yield of edible mushrooms, *Schizophyllum commune* Fr., *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc. and *Lentinus squarrosulus* Mont. on lignocellulosic substrates. *Mycosphere* 6 (6): 760–765. doi: 10.5943/mycosphere/6/6/10

Figlas, D., González-Matute, R., Delmastro, S. & Curvetto N. (2014). Sunflower seed hulls for log system cultivation of *Schizophyllum commune*. *Micología Aplicada International*, 26: 2, 19-25.

- Gaitán-Hernández, R. & Salmones, D. (2015). *Uso de residuos lignocelulósicos para optimizar la producción de inóculo y la formación de carpóforos del hongo comestible Lentinula boryana*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6: 7, 1639-1652. doi: [10.29312/remexca.v6i7.556](https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.556)
- Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez Merlo, R. & Mata, G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. 1era. ed., 1a. reimp. México: Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz.
- Herawati, E., Arung, E. T. & Amirta, R. (2016). Domestication and Nutrient Analysis of *Schizophyllum commune*. Alternative Natural Food Sources in East Kalimantan. Agriculture and Agricultural Science Procedia 9: 291 – 296. doi: [10.1016/j.aaspro.2016.02.125](https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.125)
- Kamalebo, H. M., Wa Malale, H. N. S., Ndabaga, C. M., Degreeef, J. & Kesel, A. D. (2018). Uses and importance of wild fungi: traditional knowledge from the Tshopo province in the Democratic Republic of the Congo. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 14 (13), 1-12. doi: [10.1186/s13002-017-0203-6](https://doi.org/10.1186/s13002-017-0203-6)
- López-Cobá, E. H., Ancona-Méndez L. & Medina-Peralta, S. (2005). Cultivo de *Pleurotus djamor* en condiciones de laboratorio y en una casa rural tropical. Revista Mexicana de Micología, 21:93-97. doi: [10.33885/sf.2005.3.962](https://doi.org/10.33885/sf.2005.3.962)
- Moreno-Fuentes, A. (2014). Un recurso alimentario de los grupos originarios y mestizos de México: los hongos silvestres. Anales de Antropología, 48: 1, 241-272. doi: [10.1016/S0185-1225\(14\)70496-5](https://doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70496-5)
- Royse, D. J. (2018). Importance and potential of tropical mushrooms. In Sánchez, J. E., Mata, G. y Royse, D. J. Ed. Updates on Tropical Mushrooms. Basic and applied research. Mexico: El Colegio de la Frontera Sur, 17-24.

Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. & Cifuentes-Blanco J. (2004). Conocimiento micológico tradicional en la planicie costera del Golfo de México. *Revista Mexicana de Micología*, 19: 57-70. doi: 10.33885/sf.2004.3.926

Ruan-Soto, F. & Cifuentes-Blanco, J. (2011) *Notas etnomicológicas del poblado de Teapa, Tabasco*. In: Educación Ambiental para la conservación de la biodiversidad. López-Hernández ES (ed). El Colegio de Investigadores de Tabasco, A. C.-UJAT, México, 249-256.

Tovar-Herrera, O. E., Martha-Paz, A. M., Pérez-Llano, Y., Aranda, E., Tacoronte-Morales, J. E., Pedroso-Cabrera, M. T., Arévalo-Niño, K., Folch-Mallo, J. L. & Batista-García, R. A. (2018). *Schizophyllum commune*: An unexploited source for lignocellulose degrading enzymes. *MicrobiologyOpen*, 7:e637: 1-13. doi: 10.1002/mbo3.637

Vázquez-Mendoza, S. (2013). Nuevo hospedero del hongo *Schizophyllum commune* en América. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 661-663. doi: [10.7550/rmb.31611](https://doi.org/10.7550/rmb.31611)

## **CAPÍTULO IV.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BASIDIOMAS DE *S. commune* Y DE LOS SUSTRATOS DE CULTIVO**

### **4. 1. Análisis proximal de los basidiomas**

Para cumplir con los dos últimos objetivos de este trabajo, se realizó un análisis proximal de los basidiomas de la cepa CCG009 de *S. commune*, cosechados de palo mulato, cáscara de cacao y la hoja de plátano. Los resultados indicaron diferencias y similitudes estadísticamente significativas en el contenido de nutrientes de los basidiomas (Cuadro 1).

Los basidiomas cultivados en la hoja de plátano, presentaron concentraciones altas de nutrientes en 13 de 16 parámetros evaluados. En estos basidiomas se registraron los valores más altos de proteína ( $22.67 \pm 0.73$  %), N ( $3.63 \pm 0.12$  %), Ca ( $0.17 \pm 0.01$  %), Mg ( $0.21 \pm 0.00$  %) y Mn ( $10.41 \pm 0.25$  mg/kg), con diferencias estadísticas en comparación con los basidiomas provenientes de la cáscara de cacao y del palo mulato (Cuadro 1).

Los basidiomas cultivados en cáscara de cacao, presenta contenidos altos de fibra cruda ( $5.34 \pm 0.07$  %), C ( $41.75 \pm 0.02$  %), cenizas ( $4.78 \pm 0.10$  %), P ( $0.61 \pm 0.6$  %), Na ( $2.67 \pm 0.32$  %), Fe ( $113.00 \pm 4.21$  mg/kg) y Cu ( $1.46 \pm 0.25$  mg/kg), con valores similares a los registrados en los basidiomas cultivados en hoja de plátano, sin embargo, contiene cantidades superiores de K ( $1.40 \pm 0.03$  %) y Zn ( $106.20 \pm 0.30$  mg/kg) (Cuadro 1).

Los dos sustratos alternativos empleados en el cultivo, le proveen a los basidiomas de *S. commune* un alto contenido de nutrientes, incluso superan el contenido de nutrientes hallados en los basidiomas provenientes de la madera de palo mulato, lo que los convierte en opciones viables para la producción de la especie, desde el punto de vista nutricional.

En este sentido, es importante señalar que el contenido nutrimental de los basidiomas, está directamente relacionado con los nutrientes contenidos en los sustratos lignocelulósicos empleados para su cultivo. Los valores de los nutrientes reportados en este estudio se encuentran dentro de los reportados en basidiomas de *S. commune* silvestres de otras regiones geográficas del mundo, como Nigeria e India (Cuadro 2)

Cuadro 1. Características químicas de los basidiomas de *S. commune* cultivados en tres sustratos lignocelulósicos

Parámetro	Palo mulato	Cáscara de cacao	Hoja de plátano
Proteína %	18.15±1.06 <sup>b</sup>	19.58±0.69 <sup>b</sup>	<b>22.67±0.73<sup>a</sup></b>
Fibra cruda %	3.89±0.35 <sup>b</sup>	5.34±0.07 <sup>a</sup>	4.94±0.11 <sup>a</sup>
Carbono %	41.75±0.34 <sup>a</sup>	41.75±0.02 <sup>a</sup>	41.98±0.08 <sup>a</sup>
Nitrógeno %	2.90±0.17 <sup>b</sup>	3.13±0.11 <sup>b</sup>	<b>3.63±0.12<sup>a</sup></b>
Hidrogeno %	6.83±0.15 <sup>a</sup>	6.56±0.05 <sup>b</sup>	6.54±0.01 <sup>b</sup>
Humedad %	10.9±0.12 <sup>c</sup>	10.72±0.12 <sup>b</sup>	<b>11.8±0.16<sup>a</sup></b>
Cenizas %	4.33±0.11 <sup>b</sup>	4.78±0.10 <sup>a</sup>	4.72±0.03 <sup>a</sup>
P total %	0.55±0.6 <sup>a</sup>	0.61±0.6 <sup>a</sup>	0.67±0.07 <sup>a</sup>
K %	1.24±0.14 <sup>ab</sup>	1.40±0.03 <sup>a</sup>	1.10±0.12 <sup>b</sup>
Na %	1.91±0.16 <sup>b</sup>	2.67±0.32 <sup>a</sup>	2.28±0.14 <sup>ab</sup>
Ca %	0.13±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>	<b>0.17±0.01<sup>a</sup></b>
Mg %	0.15±0.01 <sup>c</sup>	0.19±0.01 <sup>b</sup>	<b>0.21±0.00<sup>a</sup></b>
Fe mg/kg	128.98±11.90 <sup>a</sup>	113.00±4.21 <sup>a</sup>	144.86±33.07 <sup>a</sup>
Mn mg/kg	2.94±0.04 <sup>c</sup>	4.58±0.16 <sup>b</sup>	<b>10.41±0.25<sup>a</sup></b>
Cu mg/kg	1.31±0.28 <sup>a</sup>	1.46±0.25 <sup>a</sup>	1.57±0.14 <sup>a</sup>
Zn mg/kg	87.02±1.15 <sup>c</sup>	106.20±0.30 <sup>a</sup>	98.93±1.05 <sup>b</sup>

Los promedios que no tiene al menos una letra en común son significativamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).

En el caso específico de los minerales, se ha señalado que éstos varían dependiendo del hábitat del hongo y de la cepa (Hobbs, 2005).

Cuadro 2. Valores del perfil nutritivo registrado en basidiomas silvestres de *S. commune*

Parámetro	Aletor (1995)/Nigeria	Longvah y Deosthale (1998)/ Región noreste de India
Proteína (g/100g)	27.1	15.9
Fibra cruda (g/100g)	7.4	Sr
Humedad (g/100g)	7.2	5.3
Cenizas (g/100g)	10.8	8.0
P total (g/100g)	0.1	Sr
K (g/100g)	5.16	Sr
Na (g/100g)	0.1	Sr
Ca (ppm)	43	Sr
Mg (ppm)	14	Sr
Fe (ppm)	497	Sr
Mn (ppm)	53	Sr
Cu (ppm)	21	Sr

Sr=sin referencia previa

Este recurso representa una alternativa viable para consumir y generar alimentos de buena calidad en la región. Se ha sugerido que los valores de proteína cruda, cenizas y fibra cruda de los hongos, en general, se compara favorablemente e incluso en ocasiones supera el contenido de alimentos como las legumbres (excepto los cacahuates y la soya). En el caso de los niveles de minerales de los hongos, principalmente K, P, Na y Fe, son más altos que los reportados en las alubias, pero menores a los valores reportados en los pescados, los caracoles y la carne asada (Aletor, 1995). Así mismo, la proteína de los hongos comestibles es comparable con la de la carne, los huevos y la leche (Longvah y Deosthale, 1998).

#### IV.2. Análisis químico y de fibra de los sustratos residuales

En cuanto a las características químicas y de fibra de los sustratos empleados en el cultivo de *S. commune*, se obtuvieron los valores de hemicelulosa, celulosa, lignina, C total, H total, N total y la relación C/N en los sustratos iniciales (previo al cultivo) y en los sustratos residuales (después de la cosecha de basidiomas) (Cuadro 3).



Cuadro 3. Características químicas de los sustratos iniciales y residuales empleados en el cultivo de *S. commune* (cepa CCG009)

P	Palo mulato		Cáscara de cacao		Hoja de plátano	
	I	R	I	R	I	R
He %	12.80±0.27 <sup>b</sup>	14.49±1.20 <sup>b</sup>	8.20±1.15 <sup>c</sup>	8.50±0.02 <sup>c</sup>	<b>18.96±0.63<sup>a</sup></b>	<b>19.31±0.71<sup>a</sup></b>
Ce %	<b>43.80±0.38<sup>b</sup></b>	<b>50.00±1.09<sup>a</sup></b>	28.39±1.16 <sup>c</sup>	29.40±2.36 <sup>c</sup>	20.16±0.61 <sup>d</sup>	27.24±0.48 <sup>c</sup>
Lg %	20.73±1.47 <sup>b</sup>	21.35±0.73 <sup>b</sup>	<b>38.85±0.70<sup>a</sup></b>	<b>38.07±1.23<sup>a</sup></b>	14.71±0.29 <sup>c</sup>	15.27±0.77 <sup>c</sup>
C t %	<b>44.49±0.19<sup>a</sup></b>	<b>44.08±0.73<sup>a</sup></b>	<b>43.83±0.11<sup>a</sup></b>	<b>44.14±3.45<sup>a</sup></b>	<b>44.40±0.43<sup>a</sup></b>	<b>42.88±1.63<sup>a</sup></b>
H t %	<b>5.54±0.17<sup>a</sup></b>	<b>5.55±0.04<sup>ab</sup></b>	4.90±0.09 <sup>c</sup>	5.01±0.45 <sup>bc</sup>	5.53±0.12 <sup>ab</sup>	5.47±0.19 <sup>abc</sup>
N t %	0.71±0.02 <sup>c</sup>	0.55±0.03 <sup>c</sup>	1.60±0.10 <sup>a</sup>	1.16±0.15 <sup>b</sup>	<b>1.69±0.03<sup>a</sup></b>	<b>1.54±0.03<sup>a</sup></b>
C/N	<b>62.98±1.37<sup>b</sup></b>	<b>79.82±4.46<sup>a</sup></b>	27.53±1.90 <sup>d</sup>	38.85±8.10 <sup>c</sup>	26.33±0.62 <sup>d</sup>	27.84±0.76 <sup>d</sup>

P=Parámetro, PM=Palo mulato, CC=Cáscara de cacao, HP=Hoja de plátano, I\* Sustrato inicial, R= Sustrato residual. He=Hemicelulosa, Ce=Celulosa, Lg=Lignina, C t=Carbono total, H t= Hidrogeno total, N t=Nitrogeno total, C/N=Relacion carbono-nitrógeno. Los promedios que no tiene al menos una letra en común son significativamente diferentes, de acuerdo a (Tukey  $p < 0.05$ ).

La composición proximal de los sustratos presenta una variación considerable. Entre la composición inicial y la composición final del sustrato, se observa un incremento en componentes como la hemicelulosa, la celulosa, lignina, hidrógeno y nitrógeno en los tres sustratos evaluados.

Hasta ahora, no existe un análisis previo en relación a la biodegradación de los sustratos durante el proceso de cultivo de *S. commune*, lo anterior para entender la influencia de la composición del sustrato en la producción de basidiomas. Sin embargo, también es importante tomar en cuenta factores como la actividad enzimática y parámetros ambientales entre otros.

En la literatura, *S. commune* se encuentra catalogada como un organismo que genera pudrición blanca a pesar de habersele identificado una capacidad limitada para degradar lignina. Esto se debe a que dentro de su genoma carece de genes que codifican peroxidasas de clase II de la familia AA 2. Recientes comparaciones genómicas en 33 basidiomicetos sugieren que *S. commune* es un intermediario entre la podredumbre blanca y la podredumbre café en términos de familias de genes que codifican enzimas que degradan lignocelulosa. Debido a los informes limitados que caracterizan a sus enzimas lignocelulolíticas y el proceso de descomposición de la madera, no está claro qué estrategia biodegradativa utiliza *S. commune* para descomponer la biomasa lignocelulósica (Zhu *et al.*, 2016).

Los cambios que presentan los componentes químicos de los sustratos iniciales y residuales se han estudiado en otras especies como *Lentinula edodes* (Berk.), conocida como shiitake, la cual produce enzimas hidrolíticas y oxidativas responsables de la selección degradativa de los diferentes sustratos orgánicos. A su vez, se ha encontrado que la producción de enzimas esta específicamente relacionada con la composición de los sustratos y los factores del ambiente tales como la temperatura y la humedad (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006), en consecuencia, estos conocimientos han ayudado a comprender la preferencia de sustratos en las diferentes especies de hongos comestibles y su capacidad degradante.

En este sentido, sería muy importante comprender los cambios que se presentan en los sustratos empleados para el cultivo de *S. commune* a fin de relacionarlos y optimizar su producción.

### **Literatura citada**

Aletor, V. A. 1995. Compositional studies on edible tropical species of mushrooms. *Food Chemistry*, 54: 264-268.

Gaitán-Hernández, R., Esqueda, M., Gutiérrez, A., Sánchez, A., Beltrán-García, M. y Mata, G. (2006). Bioconversion of agrowastes by *Lentinula edodes* the high potential of viticulture residues. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 432-439.

Hobbs, C., 2005. The chemistry, nutritional value, immunopharmacology, and safety on the traditional food of medicinal split-gill fungus *Schizophyllum commune* Fr.:Fr. (Shizophyllaceae). A literature review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 7:127-140.

Longvah, T., Deosthale, Y. G., 1998. Compositional and nutritional studies on edible wild mushrooms from northeast India. *Food Chemistry*, 63:3, 331-334.

Zhu, N., Liu, J., Yang J., Lin, Y., Yang Y., Ji, L., Li, M. y Yuan, H. (2016). Comparative analysis of the secretomes of *Schizophyllum commune* and other wood-decay basidiomycetes during solid-state fermentation reveals its unique lignocellulose-degrading enzyme system. *Biotechnology for Biofuels*, 9:42, 1-22.

## Anexo 1. Fotografías representativas del trabajo de la investigación 2015-2019



Basidiomas de *S. commune* creciendo en palo (Tacotalpa, Tabasco)



Basidiomas de *S. radiatum* (encontrados como objeto de venta en Teapa, Tabasco)



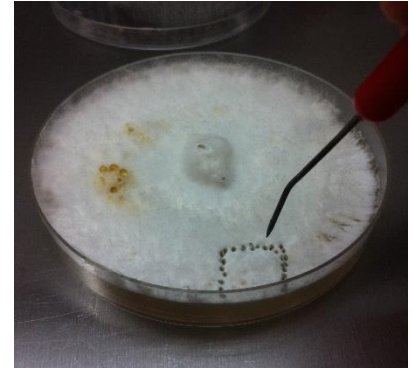
Técnica de aislamiento de las cepas mediante esporadas (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006)



Resiembra de las cepas y mantenimiento en laboratorio



Asignación de códigos de registro para las cepas de *S. commune* nativas de Tabasco, México



Manejo de las cepas en laboratorio (extracción de un implante para su resiembra)



Preparación de las semillas de maíz palomero para la elaboración de inóculo



Inoculación de las semillas de maíz palomero con el implante de una cepa de *S. commune*



Revisión periódica de las semillas incubadas a temperatura ambiente





Entrevista a una vendedora de hongos en el mercado de Teapa, Tabasco



Venta de *S. commune* con ingredientes regionales sugeridos para su preparación y consumo (Teapa, Tabasco)



Vendedor de hongos compartiendo su conocimiento micológico tradicional (Teapa, Tabasco)



Preparación del material de laboratorio para desarrollo de la prueba de crecimiento micelial



Observación y registro del crecimiento micelial de las cepas de *S. commune* sobre hoja de plátano



Madera de palo mulato colonizada por *S. commune*



Fragmentación manual de la hoja de plátano seca



Exposición de la cáscara de cacao al sol (de 3 a 5 días)



Mezcla del sustrato húmedo con yeso y cal (previo al tratamiento térmico)





Recipiente metálico para pasteurización del sustrato en condiciones rústicas



Inoculación del sustrato (siembra en bolsas plásticas)



Área de incubación de los contenedores (bolsas y bandejas)



Apertura de las bandejas para su exposición a la humedad y a la luz



Fase inicial de los primordios de *S. commune* sobre la madera de palo mulato



Fase 2 de desarrollo de los primordios de *S. commune*



Fase 3 del desarrollo de los primordios de *S. commune*



Registro del peso fresco de los basidiomas cultivados de *S. commune*



Proceso de secado de los basidiomas para registro del peso seco



Basidiomas de *S. commune* cultivados en cáscara de cacao



Basidiomas de *S. commune* cultivados en hoja de plátano



Basidiomas connados de *S. commune*



Pulverización de los basidiomas de *S. commune*



Preparación de la harina de *S. commune* para su valoración química



Analizador de fibras (AMKON), para basidiomas y sustratos



***Schizophyllum commune* cocinado en "mone" con hongos producidos en la División Académica de Ciencias Biológicas - UJAT (Tabasco, México)**