



I. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Instituto o Centro:	Instituto Tecnológico de Oaxaca
Nombre de la docente:	Alma Dolores Pérez Santiago
Título del proyecto:	Identificación de metabolitos de hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca
Tipo de Investigación:	Básica
Duración del proyecto:	Un año
Fecha de inicio del proyecto:	1 de septiembre del 2022
Fecha de término del proyecto:	31 de agosto del 2023

II. Resultados

1. Resumen del proyecto

a) Introducción

El Municipio de San Mateo Río Hondo pertenece al Distrito de Miahuatlán, Estado de Oaxaca, se localiza en la Región Sierra Sur; el territorio municipal tiene un bosque compuesto por ocotes, pinos, madroños, encino, fresno, en las partes más altas de la comunidad predominan mayormente las coníferas; el clima es subhúmedo con lluvias en los meses de mayo a octubre, estos factores bióticos generan el ambiente adecuado para que existan diferentes organismos fúngicos en la región, que pueden ser comestibles, medicinales, tóxicos y alucinógenos. La explotación forestal es el sector económico que representa la principal fuente de ingresos para la población, ya que la comunidad comercializa la madera, lo cual ocasiona la pérdida de materia orgánica del bosque como consecuencia de la erosión en algunas zonas del Municipio. La segunda actividad económica es el turismo, principalmente de personas extranjeras que llegan al municipio para

consumir hongos del género *Psilocybe* por sus propiedades neurotrópicas, pero sin ningún control generando problemas de salud pública en el pueblo. Este sector turístico se da más en San José del Pacífico que es una Agencia Municipal perteneciente a San Mateo Río Hondo.

En San Mateo Río Hondo no existe ningún registro de la diversidad de hongos que hay en su bioma, de sus propiedades químicas: medicinales, nutrimentales y tóxicas. En la temporada de lluvias los habitantes usan algunos hongos de alimento (conocimiento micológico heredado por sus antepasados) como el hongo oreja de cerdo (*Hipomices lactiflorum*) pero desconociendo los nutrientes que pueden poseer los hongos silvestres comestibles como polisacáridos (componente mayoritario), ácidos grasos (bajo contenido graso) y proteínas (de alta calidad) que sirven como alimento funcional; paralelamente en esa misma temporada existe un aumento en casos de intoxicación por ingesta de setas (se han dado casos en los pueblos vecinos a la comunidad), incluso se han registrado defunciones en el Estado porque muchas personas desconocen o confunden las especies comestibles y las venenosas. Los hongos silvestres comestibles producen también otros metabolitos como alcaloides, flavonoides, entre otros, que pueden ser potencialmente bioactivos para el tratamiento de enfermedades como la diabetes (enfermedad común en la comunidad) y el cáncer, que también pueden tener propiedades antioxidantes, cicatrizantes y antibacterianas, estas características podrían ser propias de uno o varios de los hongos que se encuentran en el lugar.

El equilibrio de los ecosistemas se ve favorecido por la presencia de los hongos debido a que influyen en la productividad y diversidad de las comunidades vegetales, por lo tanto, se benefician todos los organismos que ahí habitan incluyendo los seres humanos por el valor cultural, nutrimental y medicinal que tienen las especies fúngicas, pudiendo llegar a complementar las necesidades básicas de salud, nutrición y económica.

En este estudio se tratará de conocer las especies de hongos que predominan en el bosque de San Mateo, Río Hondo, tipos de hongos comestibles, medicinales y tóxicos, cuales son los metabolitos que poseen las especies que serán

seleccionadas para su estudio, y el análisis químico proximal de especies comestibles.

b) Objetivos

El objetivo de este proyecto fue identificar y estudiar metabolitos de hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. Esto permitió conocer parte de la riqueza fúngica de los bosques de la comunidad y seleccionar los hongos comestibles para realizar análisis nutrimental y búsqueda de metabolitos con posible aplicación farmacológica.

- Se realizó una revisión bibliográfica sobre los hongos basidiomicetos comestibles y la diversidad que se encuentra en San Mateo Río Hondo.
- Se analizaron extractos crudos de carpóforos de hongos comestibles en la búsqueda de lectinas, se empleó la técnica de hemaglutinación.
- Se identificaron metabolitos secundarios en los extractos de carpóforos de hongos comestibles seleccionados, así como en cultivo in vitro de algunos, por técnicas colorimétricas. Se realizó una revisión bibliográfica sobre la presencia de metabolitos secundarios frecuentes en los hongos.
- Se analizó la composición nutrimental de los hongos silvestres comestibles: humedad, proteínas, carbohidratos y ácidos grasos .
- En cuanto a la publicación de los resultados y difusión en la comunidad de San Mateo Río Hondo, Oaxaca:

Se presentaron los resultados a la comunidad de San Mateo Río Hondo, y se entregó un informe a las autoridades municipales, el cual incluye 6 carteles de 60 x 90 cm, 2 trípticos con información generada con los hongos silvestres de San Mateo, una presentación en Power Point con la información de los carteles ampliada.

Se elaboró un artículo de revisión que fue enviado a la Revista TIP, Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas, el cual fue

aceptado con observaciones. Estamos en proceso de correcciones.

Se aceptaron dos trabajos para ser presentados en modalidad oral en el Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2023, a realizarse en la ciudad de Orizaba del 16 al 20 de octubre de 2023.

Se aceptaron dos artículos para su publicación en la: **Revista electrónica arbitrada “Revista de Investigación Multidisciplinaria” (ISSN2007-8102), indizada en Latindex**
<https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645>

Se envió y sometió un artículo para su publicación en el Libro electrónico con ISBN de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Se envió un trabajo para presentación en el XI Simposio Internacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

c) Metas

Tesis de doctorado en desarrollo:	5
Tesis de maestría en desarrollo	1
Participación en eventos	6
Publicaciones enviadas	6

d) Desarrollo y resultados del proyecto

En la comunidad de San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca, se realizó la colecta de hongos durante los meses de julio a septiembre de 2022, y julio-agosto de 2023, la comunidad cuenta con bosques de pino-encino. Para las colectas de hongos, en cada recorrido se informó a la autoridad local el propósito del trabajo. Inicialmente se presentó a la comunidad el proyecto e información básica sobre la importancia de los hongos, esto se realizó en la explanada del municipio. Las colectas se llevaron a cabo con ayuda de los guías informantes de la comunidad,

quienes son personas autorizadas y capacitadas por la comunidad para dar este servicio a los turistas.

Durante la recolección, se buscaron hongos simbióticos, parásitos y saprófitos, en las raíces de los árboles, bajo la hojarasca, y en la superficie de troncos de madera en descomposición. Para no afectar el micelio del hongo y que este pueda continuar su crecimiento subterráneo, los hongos se cortaron por la base y se colocaron en bolsas de papel, separadas por especies. Ya en el laboratorio se lavaron con hipoclorito de sodio, o se diseccionaron para su secado a temperatura ambiente. Otras muestras después de ser lavadas fueron mantenidas a 4 °C hasta su uso.



FIGURA 1. Colecta de hongos con un guía asignado por la comunidad. Los guías son personas de la comunidad con un gran conocimiento del bosque y de los hongos que consumen tradicionalmente, así como conocedores de los sitios donde se puede hacer avistamiento de hongos. Son las únicas personas autorizadas para dar el servicio de guía dentro del bosque.



FIGURA 2. Hongos colectados en el bosque de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.

SEGUNDA COLECTA



FIGURA 3. Colecta de hongos en La Mole, bosque de San Mateo Río Hondo. Julio de 2023.

Tratamiento de las muestras

Se limpiaron las muestras eliminando residuos sólidos como hojas y polvo. Se pesaron, se lavaron y se dejaron escurrir, posteriormente se congeló una parte de la muestra, la otra parte se secó en una estufa a 40-45°C. Los ejemplares fueron congelados a -18°C, en bolsas de papel y de celopapel para su conservación.

Identificación y selección de hongos comestibles, medicinales y tóxicos

El material fúngico recolectado fue descrito y registrado fotográficamente en fresco; posteriormente deshidratado y registrado. Las características macroscópicas y microscópicas de los especímenes, así como la descripción de los basidiomas permitieron la identificación de los hongos. La identificación de las especies fue asesorada por el Dr. Ricardo Valenzuela Garza, Jefe del Laboratorio de Micología y Curador de la Colección de hongos del Herbario de la ENCB del Politécnico Nacional, y el Biólogo Héctor Aguilar Reyes.

Sólo se seleccionaron algunas especies por su grado de inocuidad, y tamaño de la muestra, que nos permitiera preparar un extracto crudo e iniciar la inoculación en medios de cultivo. De algunas especies no fue posible preparar los extractos debido al pequeño tamaño del espécimen y a que solo teníamos un ejemplar.

Preparación de extractos salinos

Los extractos de cada especie de hongo seleccionado fueron preparados macerando 10 g de carpóforos en PBS p.H. 7.5, proporción 1:1 (w/v), en un mortero congelado. El macerado se centrifugó a 500 r.p.m. por 15 minutos, y se recuperó el sobrenadante, el cual fue congelado hasta su uso.

Cuantificación de proteínas

Una vez preparados los extractos de los hongos seleccionados se determinó la concentración de proteínas, se utilizó el método Bradford, usando seroalbúmina bovina como estándar (21). En la tabla 1 se presenta la concentración de proteínas ajustada para cada extracto de hongo.

Búsqueda de lectinas por hemaglutinación

Los ensayos de hemaglutinación fueron realizados en placas de microtitulación de fondo cóncavo, se depositaron 50 microlitros de PBS p.H. 7.2 en cada pozo, después 50 μ l de extracto de hongo en el primer pozo realizando dilución doble seriada, posteriormente se agregaron 25 μ l de una suspensión de eritrocitos humanos al 3% a cada uno de los pozos. Se incubó la placa a temperatura ambiente \pm 27 °C durante una hora, la presencia de aglutinación indica la presencia de lectinas.

Hongos	Proteínas mg/ml	Presencia de lectinas
<i>H. lactifluorum</i>	1 mg/ml	Positivo
<i>B. adusta</i>	1 mg/ml	Positivo
<i>G. brownii</i>	1 mg/ml	Positivo
<i>T. versicolor</i>	1 mg/ml	Positivo
<i>Entoloma</i>	1 mg/ml	Negativo
<i>T. versicolor</i>	1 mg/ml	Negativo
<i>B. adusta</i>	1 mg/ml	Negativo
<i>C. gigantea</i>	1 mg/ml	Negativo
<i>Boletus sp</i>	1 mg/ml	Negativo
<i>Ramaria sp.</i>	1 mg/ml	Negativo

TABLA 1. Presencia de lectinas en extracto crudo. Se emplearon eritrocitos tipo O humanos al 3 % en PBS pH 7.2.

Determinación de la presencia de algunos metabolitos secundarios

Alcaloides. La mayoría de los alcaloides pueden formar sales solubles en agua en presencia de ácido clorhídrico diluido. El reactivo de Dragendorff (sales de yoduro de potasio) y el reactivo de Mayer (yoduro de potasio y mercurio) pueden ser usados para la identificación de alcaloides. Se pueden usar pruebas de precipitación en medio ácido para su identificación, empleando sales de metales pesados como el yoduro de potasio (reactivo de Dragendorff) y el yoduro de potasio y mercurio (reactivo de Mayer) (Carvajal *et al.*, 2009). El procedimiento es el siguiente:

Se agrega 10 ml de HCl al 10% a 5 ml de extracto acuoso, se mantiene en ebullición durante 5 minutos y posteriormente se enfría y se filtra. Se coloca 1 ml del filtrado claro y transparente en tubos, además del testigo. Se agrega una gota del reactivo de Drangendorf y si se observa un precipitado naranja la prueba es positiva (Fasakin *et al.*, 2017; Bouabid *et al.*, 2018).

Saponinas. La estructura de las saponinas es glicosídica con una aglicona con un núcleo esteroidal o triterpénico, lo que les da la propiedad de tensioactivas, con carácter anfótero. La formación de espuma es la prueba más común para la identificación de saponinas (Carvajal *et al.*, 2009), la cual se forma después de 30 segundos de agitación vigorosa, manteniéndose durante unos 3 minutos (Bouabid *et al.*, 2018; Robles-García *et al.*, 2016).

Flavonoides. Una coloración amarilla es indicativa de la presencia de flavonoides; esta se presenta al agregar hidróxido de sodio al 20% (5 gotas) al extracto metanólico de prueba (Vázquez & García-Vieyra, 2016).

Taninos. La presencia de taninos puede detectarse con el reactivo de gelatina-sal que induce un precipitado blanco al unirse a las proteínas. A su vez, los precipitados formados son solubles en urea 10 M dando una coloración verde, azul o negra después de adicionar cloruro férrico al 10% en agua (Carvajal *et al.*, 2009). La coloración negra azulada puede presentarse al añadir cloruro férrico al extracto que se analiza, indicando la presencia de taninos derivados del ácido pirogálico. La presencia de catequinas puede confirmarse si se presenta una coloración verde (Robles-García *et al.*, 2016).

Quinonas. Los compuestos quinónicos pueden visualizarse o detectarse al añadir NaOH al 5 % (400 microlitros) y etanol (200 microlitros) al extracto a analizar (2 ml). Una coloración (rojo-violeta) indica la presencia de estos compuestos (Bouabid *et al.*, 2018).

Cumarinas. Las cumarinas pueden ser detectadas con reacciones dirigidas a la búsqueda de lactonas, ya que son derivados de la α -benzopirona y poseen una γ -lactona en su estructura, pueden identificarse mediante las reacciones propias para lactonas (Carvajal *et al.*, 2009).

Glucósidos cardiotónicos. Se puede utilizar la prueba Keller-Kilani para identificar glucósidos cardiotónicos: se disuelve el extracto acuoso en agua destilada, se agrega ácido acético glacial, se adiciona cloruro férrico al 5% (unas gotas), se agrega esta solución a 2 ml de H₂SO₄ concentrado, en tubos de ensaye. Es indicativo de la presencia de glucósidos cardiotónicos la formación de un anillo marrón sobre un anillo violeta, un anillo verdoso también puede presentarse gradualmente (Bulugahapitiya, 2013).

Lactonas sesquiterpénicas. Las lactonas sesquiterpénicas son terpenos con una estructura de 15 átomos de carbono unidos a una lactona (Carvajal *et al.*, 2009). La presencia de lactonas sesquiterpénicas puede detectarse con la prueba de Bajlet, con el cambio de coloración naranja a rojo. Esto se visualiza al adicionar el del reactivo de Bajlet al extracto acuoso que se estudia (García *et al.* 2019).

Hongos analizados	Taninos	Glucósidos cardiotónicos	Saponinas	Alcaloides	Flavonoides	Sesquiterpenlactonas	Cumarinas y quinonas
<i>H. lactifluorum</i>	ND	ND	ND	X EC	X EC	ND	X EC
<i>Ramaria sp.</i>	X EC	ND	ND	X EC	X EC	ND	ND
<i>Boletus</i>	X EC	ND	X EC	ND	ND	ND	ND
<i>T. versicolor</i>	X Cultivo	X Cultivo	X Cultivo	X Cultivo	X Cultivo	ND	ND
<i>G. brownii</i>	X Cultivo	X Cultivo	ND	ND	ND	ND	ND
<i>B. adusta</i>	X Cultivo	X Cultivo	X Cultivo	X Cultivo	ND	ND	ND
<i>C. gigantea</i>	X Cultivo	ND	ND	X Cultivo	ND	ND	ND

TABLA 2. Presencia de metabolitos en extractos crudos de hongos o en medios de cultivo. EC: Extracto crudo. ND: No determinado. X: Positivo

e) Conclusiones

Los hongos son importantes componentes de los ecosistemas y son abundantes en diversos ambientes naturales, son benéficos para los humanos en muchos aspectos; como alimentos, muchas setas y hongos carnosos son valorados y cultivados con este fin. Desde hace más de 2000 años, los países asiáticos tradicionalmente cultivan gran variedad de hongos para su alimentación, estos incluyen especies de *Auricularia*, *Tremella fuciformis* y otras clases de setas, principalmente Shiitake. Otros países, como Francia, también consumen de manera tradicional algunas especies de hongos, como las trufas, estas pueden ser cultivadas introduciendo las esporas en el suelo donde crecen los robles, y gran cantidad del ascomiceto puede ser cosechado después. *Agaricus brunnescens* es otro hongo ampliamente cultivado para su comercialización, es apreciado por su sabor, así como por sus nutrientes, ya que son ricos en proteínas, conteniendo hasta el 3 o 4 % de su peso fresco. Con respecto a las proteínas, se considera que las setas tienen calidad intermedia entre los vegetales y la carne, debido a que poseen menor cantidad de algunos aminoácidos, como metionina y cisteína, a diferencia de la carne; pero mayores concentraciones de lisina y triptófano que los vegetales. Las setas contienen menos cantidades de carbohidratos que los vegetales, como las zanahorias, haciéndolas atractivas como alimentos en dietas de bajas calorías. También son una excelente fuente de vitaminas como riboflavina y ácido nicotínico, contienen ácidos grasos esenciales como ácido linoleico, y minerales como fosforo y hierro (Manning, 1985).

Se ha reportado que hay alrededor de 1.5 millones de especies de hongos en todo el mundo, de los cuales unas 14,000 especies producen cuerpos fructíferos conocidos como hongos, y aproximadamente 2000 especies son comestibles, y sólo 270 son medicinales. En el 2013 se reportó una producción mundial aproximada de 30 millones de toneladas (Royse et al., 2017), lo que indica un aumento considerable en el consumo de setas en el mundo, ya que el 54 % fueron setas comestibles. Algunos de los géneros más cultivados son: *Agaricus*, *Auricularia*, *Pleurotus* y *Lentinula* (Raut, 2019).

En México la investigación sobre el conocimiento de los hongos, su importancia en el consumo y sus aplicaciones farmacológicas e industriales se ha incrementado en los últimos años. Comunidades de Oaxaca que poseen amplias extensiones de bosques no conocen la riqueza forestal que poseen con la presencia de los hongos, usando sólo unos para consumo como alimento, con uso medicinal y algunos también con usos recreativos.

Existe poca información sobre la descripción del número de especies que podemos encontrar en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca, una comunidad con amplia cultura en el consumo de hongos, pero con gran desconocimiento del enorme potencial de mercado de muchas de sus especies. Sin embargo, algunos intentos de emprendedores locales han logrado producir algunas especies que ya se comercializan en las condiciones ambientales propias del lugar.

En la realización de este proyecto se colectaron diferentes variedades de especies, las cuales fueron identificadas taxonómicamente con apoyo del Dr. Ricardo Valenzuela Garza, Jefe del Laboratorio de Micología y Curador de la Colección de hongos del Herbario ENCB, y el Biólogo Héctor Aguilar Reyes.

Se realizaron dos colectas de hongos en la comunidad de San Mateo Río Hondo, en el Paraje La Mole. Se describió género y especie de al menos 30 especies de hongos, los cuales se clasificaron en comestibles, medicinales y tóxicos. Se realizó el análisis bromatológico de al menos 5 especies comestibles. Los análisis indicaron, y de acuerdo a estudios reportados por otros autores, que los basidiomicetos comestibles contienen concentraciones altas de proteínas en peso seco, baja concentración de grasas, y metabolitos que les confieren alta capacidad antioxidante. Se analizó el contenido de metabolitos por técnicas de colorimetría, y se realizaron ensayos para la búsqueda de lectinas fúngicas. Dentro de los metabolitos encontrados se reportan flavonoides, fenoles, saponinas, taninos, cumarinas, quinonas, glucósidos cardiotónicos, sesquiterpenlactonas, lectinas, proteínas, y polisacáridos.

Con los resultados obtenidos, se presentaron 2 ponencias ante la comunidad para informar sobre la realización del proyecto y dar información general de la

importancia de los hongos. Se entregó a las autoridades de la comunidad información relevante para el conocimiento y uso de hongos silvestres comestibles. Dentro de esta información se encuentran 6 carteles de 90 x 60 cm (se anexan imágenes), 2 trípticos y 1 documento de texto con la información ampliada sobre los hongos de la comunidad estudiados.

Se incorporaron al proyecto 4 estudiantes de doctorado y 1 de maestría, y recientemente 3 estudiantes de servicio social.

Se envió un artículo de revisión para su publicación en la Revista TIP (Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. ISSN: 2395-8723). "Propiedades antioxidantes y contenido fenólico de los hongos comestibles silvestres". Continuamos en el proceso de evaluación.

Se enviaron y aceptaron 2 trabajos al Congreso de Investigación Multidisciplinaria 2023, los cuales fueron aceptados para su presentación oral.

Se aceptaron dos trabajos para su publicación en la Revista electrónica arbitrada "Revista de Investigación Multidisciplinaria" (ISSN2007-8102), indizada en Latindex <https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645>

- Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo *Lactarius volemus*
Autores: *Marimar Cruz-Cruz, Alma Dolores Pérez Santiago, Eduardo Pérez-Campos, Pedro Hernandez-Cruz, Itandehui Belem Gallegos-Velasco.*
- Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo *in vitro* de *Boletus loricellus*
Autores: *Baleria María Hernández-Chávez, Alma Dolores Pérez-Santiago, Marco Antonio Sánchez-Medina, R. Valenzuela-Garza y M. del S. Pina-Canseco.*

Se envió resumen para participación al XI Simposio Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. La convocatoria cierra el 12 de octubre, por lo tanto aún no tenemos carta de aceptación.

- Importancia nutricional y antioxidante de hongos comestibles silvestres del estado de Oaxaca

Se envió artículo en extenso para publicación en el Libro electrónico de la UJAT, con ISBN.

- Importancia nutricional y antioxidante de hongos comestibles silvestres del estado de Oaxaca

Autores: Monserrat Vargas-Ríos, Yesenia Aragón-López, Baleria Hernández-Chávez, Aymara Díaz-Barrita, Marco Antonio Sánchez-Medina, Alma Dolores Pérez-Santiago

2. Objetivo del proyecto

Identificar y estudiar metabolitos de hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.

Objetivos Particulares:

1. Actualizar el campo del arte sobre los hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca y los metabolitos fúngicos.
2. Evaluar la presencia de lectinas en hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.
3. Identificar metabolitos secundarios en carpóforos de los hongos silvestres seleccionados, así como en cultivos in vitro de los hongos silvestres seleccionados.
4. Analizar la composición nutrimental de los hongos silvestres comestibles: humedad, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y vitaminas.
5. Publicación de los resultados y difusión en la comunidad de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.

3. Metas: cumplimiento de metas

Metas cuantificables	Cantidad programada	Cantidad lograda	Observaciones
Incorporación de	2	2	Los estudiantes de servicio social recientemente se incorporaron al

estudiantes de licenciatura al proyecto, servicio social:			proyecto, debido a que no se tuvieron condiciones de espacio en el laboratorio para poder atender a varios estudiantes. Estuvimos en proceso de traslado y mudanza al nuevo Laboratorio de Glicobiología y materiales nanoestructurados, en la nueva Unidad Académica de Posgrado. Sin embargo, derivado de los resultados obtenidos en el proyecto sabático se han iniciado proyectos y actividades que serán desarrolladas por alumnos que realizarán su proyecto en Taller de Investigación I, y Servicio social.
Tesis en desarrollo de Maestría	1	1	Se desarrollaron actividades durante el periodo de 2022-2023.
Tesis concluida de Maestría	1	1	En trámites de titulación
Tesis en Desarrollo de Doctorado	3	4	Continúan en desarrollo dos tesis de doctorado: 1. Una con hongos colectados en el bosque de San Mateo Río Hondo. 2. Una con hongos de la comunidad de Santa Cruz Itundujia. 2 tesis de doctorado que se desarrollaron durante el programa, concluyeron y están en trámites de titulación. Las cuatro tesis de doctorado comparten metodología y comparan análisis fitoquímico, químico proximal y presencia de metabolitos bioactivos de las especies de hongos colectados en cada comunidad.
Tesis concluidas de Doctorado	2	2	En proceso de titulación
Artículos científicos publicados en revistas	1	0	El artículo para la revista indizada está en proceso, ya que se están realizando los análisis de resultados obtenidos. Publicación pendiente: "Actividad

indizadas			antiproliferativa de extractos de hongos silvestres”
Artículos científicos enviados en revistas indizadas	1	1	En proceso de revisión en la Revista TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas)
Artículos de divulgación enviados	0	4	2 artículos aceptados en la Revista electrónica arbitrada “Revista de Investigación Multidisciplinaria” (ISSN2007-8102), indizada en Latindex https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645 1 artículo aceptado en la Revista Mexicana de Agroecosistemas, indizada en Latindex 1 artículo aceptado para su publicación en el Libro de Divulgación 2023, editado por el Instituto Tecnológico de Toluca
Memorias en extenso en Congresos	2	1	1 trabajo enviado al XI Simposio Internacional Ciencia y Tecnología de Alimentos
Registro de obra (INDAUTOR)	0	En proceso	Se pretende registrar ante INDAUTOR los 6 carteles entregados a la comunidad de San Mateo Río Hondo, ya que la propiedad intelectual de esa información le corresponde al TecNM.

Metas cumplidas

Incorporación de estudiantes de licenciatura al proyecto, servicio social	
Fecha	Nombre de los estudiantes incorporados y su Programa Educativo
Agosto de 2023	López Santos Julieta Chávez Mendoza Yamil Evelyn Jiménez Pérez Carlos Manuel Programa educativo: Ingeniería Química
Tesis en desarrollo de	

Maestría	
Fecha	Nombre de la tesis
Agosto 2022- junio 2023	Caracterización química proximal y evaluación antioxidante de los hongos comestibles silvestres <i>Laccaria laccata</i> , <i>Hypomices lactifluorum</i> , <i>Ganoderma brownii</i> y <i>Ramaria sp</i> , provenientes de San Mateo Río Hondo, Oaxaca Alumna: Monserrat Vargas Ríos
Tesis concluidas de Maestría	
Fecha	
Junio de 2023	Caracterización química proximal y evaluación antioxidante de los hongos comestibles silvestres <i>Laccaria laccata</i> , <i>Hypomices lactifluorum</i> , <i>Ganoderma brownii</i> y <i>Ramaria sp</i> , provenientes de San Mateo Río Hondo, Oaxaca Alumna: Monserrat Vargas Ríos
Tesis en desarrollo de Doctorado	
Fecha	Nombre de la tesis
Agosto 2022- junio 2023	Reconocimiento del antígeno Tn mediante el empleo de extractos de hongos silvestres del estado de Oaxaca en líneas celulares de cáncer. Alumna: Marimar Cruz Cruz
Agosto 2022- junio 2023	Potencial nutricional, medicinal y biotecnológico de los hongos silvestres de Santa Cruz itundujia, Putla, Oaxaca Alumna: Edibeth José Cruz
Tesis concluidas de Doctorado	Nombre de la tesis
Fecha	
Junio 2023	Hongos silvestres comestibles y medicinales de San Mateo Río Hondo: tamizaje fitoquímico, evaluación de sus propiedades bioactivas y un estudio etnomicológico. Alumna: Baleria María Hernández Chávez
Junio 2023	Especies fúngicas de Santa María Yavesía, Ixtlán, Oaxaca con posible potencial farmacológico y nutrimental Alumna: Yesenia Aragón López
Observación:	Durante la pandemia por COVID-19 los proyectos de posgrado no pudieron avanzar en la parte experimental ni de campo (2020-2021), debido a las restricciones de acceso en las comunidades, durante ese periodo no se pudo acceder a la comunidad de San Mateo Río Hondo, ni a los laboratorios de la

	Institución. A partir de 2022 se retomaron los objetivos de los proyectos de las alumnas de posgrado incorporando algunas actividades a este proyecto.
Artículos científicos publicados o enviados en revistas indizadas JCR o CONACYT	
Fecha	Nombre del artículo y acuse de envío
05 de febrero de 2023	<p>”Propiedades antioxidantes y contenido fenólico de los hongos comestibles silvestres”</p> <p>Montserrat Vargas-Ríos¹, Marco Antonio Sánchez-Medina¹, Iván Antonio García-Montalvo¹, Eduardo Pérez-Campos¹, Emilio Hernández-Bautista¹, María del Socorro Pina-Canseco², Margarito Martínez-Cruz¹, Alma Dolores Pérez Santiago^{1*}</p> <p>¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125, Esq. Calzada Tecnológico, Oaxaca 68030, México. Correo electrónico* aperez_santiago@hotmail.com</p> <p>²Centro de Investigación, Facultad de Medicina UNAM-UABJO, Facultad de Medicina y Cirugía, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.</p>

	<p>[TIP RECQB] Acuse de recibo de envío</p> <p>Gemma Quintero <revistatip@yahoo.com> Dom 05/02/2023 11:04 PM</p> <p>Para: Alma Dolores Perez Santiago <aperez_santiago@hotmail.com> Alma Dolores Perez Santiago:</p> <p>Gracias por enviar el manuscrito, "Propiedades antioxidantes y contenido fenólico de los hongos silvestres comestibles" a TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:</p> <p>URL del manuscrito: http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/author/submission/530 Nombre de usuario/a: almaperez-2022</p> <p>En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.</p> <p>Gemma Quintero TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas</p> <hr/> <p>Revista TIP http://tip.zaragoza.unam.mx</p>
Artículos de divulgación enviados	Nombre del artículo y acuse de envío
Fecha	
28 de agosto de 2023	<p>“Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo <i>in vitro</i> de <i>Boletus loricellus</i>”</p> <p>Aceptado para : <u>Revista electrónica arbitrada “Revista de Investigación Multidisciplinaria” (ISSN2007-8102), indizada en Latindex</u> https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645</p>

	<p>CIM-Orizaba-2023 submission 290</p> <p>CIM-Orizaba-2023 <cimorizaba2023@easychair.org> Dom 13/08/2023 01:54 PM</p> <p>Para:"Alma D. =?UTF-8?B?UMOpCmV6LVNhbNrpYWdvlg==?=<aperez_santiago@hotmail.com>"@easychair.org <"Alma D. =?UTF-8?B?UMOpCmV6LVNhbNrpYWdvlg==?=<aperez_santiago@hotmail.com>"@easychair.org></p> <p>Dear authors,</p> <p>We received your submission to CIM-Orizaba-2023 (Coloquio de Investigación Multidisciplinaria (CIM-Orizaba-2023)):</p> <p>Authors : Balería M. Hernández-Chávez, Alma D. Pérez-Santiago, Marco A. Sánchez-Medina, Ricardo Valenzuela-Garza and Socorro Pina-Canseco Title : Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo in vitro de Boletus Iridellus Number : 290 Track : Ingeniería Química</p> <p>The submission was uploaded by Alma Dolores Perez Santiago <aperez_santiago@hotmail.com>. You can access it via the CIM-Orizaba-2023 EasyChair Web page</p> <p>https://na01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Feasychair.org%2Fconferences%2F%3Fconf%3Dcimorizaba2023&data=05%7C01%7C%7C6832ec79f85c44bc63bb08db9c371901%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C63827532659273088%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljiMC4wLjAwMDAilCJQjoiV2luMzliLjBtIl6k1haWwILCJXVCi6Mn0%3D%7C3000%7C%7C%7C&sdata=rJxJKMfAbgk%2FtM%2Ff8tD00vOWYQLZGN981HPxs3glZGA%3D&reserved=0</p> <p>Thank you for submitting to CIM-Orizaba-2023.</p> <p>Best regards, EasyChair for CIM-Orizaba-2023.</p>
<p>6 de agosto de 2023</p>	<p>Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo <i>Lactarius volemus</i></p> <p>Aceptado para: <u>Revista electrónica arbitrada "Revista de Investigación Multidisciplinaria" (ISSN2007-8102), indizada en Latindex</u> https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645</p>

	<p>CIM-Orizaba-2023 submission 229</p> <p>CIM-Orizaba-2023 <cimorizaba2023@easychair.org> Dom 06/08/2023 09:52 PM</p> <p>Para:Alma Dolores Perez-Santiago <aperez_santiago@hotmail.com></p> <p>Dear authors,</p> <p>We received your submission to CIM-Orizaba-2023 (Coloquio de Investigación Multidisciplinaria (CIM-Orizaba-2023)):</p> <p>Authors : Alma Dolores Perez-Santiago, Marycruz Cruz-Cruz, Pedro Hernandez, Belén Itandehui Gallegos Velasco and Eduardo Pérez-Campos Title : Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo Lactarius volemus Number : 229 Track : Ingeniería Química</p> <p>The submission was uploaded by Alma Dolores Perez Santiago <aperez_santiago@hotmail.com>. You can access it via the CIM-Orizaba-2023 EasyChair Web page</p> <p>https://na01.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Feasychair.org%2Fconferences%2F%3Fconf%3Dcimorizaba2023&data=05%7C01%7C%7C146b2f9a9fc644f5efe408db96f9ba42%7C84df9e7fe9f640afb435aaaaaaaaaaaa%7C1%7C0%7C638269771541019168%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJWljiMC4wLjAwMDAilCJQjoiV2luMzllCjBTi6lk1haWwiiLjJXVCI6Mn0%3D%7C3000%7C%7C%7C&sdata=qEga9%2FyouuT1%2Bszm7wl%2FiwrfRxvvlVwCtIUrb%2BzWzs%3D&reserved=0</p> <p>Thank you for submitting to CIM-Orizaba-2023.</p> <p>Best regards, EasyChair for CIM-Orizaba-2023.</p>
<p>13 de agosto de 2023</p>	<p>Importancia nutricional y antioxidante de hongos comestibles silvestres recolectados en Oaxaca Enviado para su publicación en el Libro electrónico de la UJAT, con ISBN</p>

	<p>RESUMEN Y TRABAJO EN EXTENSO</p> <p>ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <aperez_santiago@hotmail.com> Mar 19/09/2023 06:38 PM Para:sicyta.ujat@gmail.com <sicyta.ujat@gmail.com></p> <p>📎 2 archivos adjuntos (699 KB) EXTENSO-SICYTA-2023.docx; RESUMEN-SICYTA-2023.docx;</p> <p>COMITÉ CIENTÍFICO DEL XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS</p> <p>Envío el siguiente trabajo para poner a su consideración su presentación en el XI Simposio Internacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, así como su publicación en el Libro Electrónico con ISBN:</p> <p>"IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y ANTIOXIDANTE DE HONGOS COMESTIBLES SILVESTRES RECOLECTADOS EN OAXACA"</p> <p>Autores: Monserrat Vargas-Ríos, Yesenia Aragón-López, Baleria Hernández-Chávez, Aymara Díaz-Barrita, Marco Antonio Sánchez-Medina, Alma Dolores Pérez-Santiago*</p> <p>MODALIDAD: ORAL TEMÁTICA: NUTRICIÓN, ALIMENTACIÓN Y SALUD</p> <p>Se anexan el Resumen y Documento en Extenso en los formatos proporcionados.</p> <p>Quedo al pendiente de la confirmación de la recepción de los documentos, así como de sus comentarios y observaciones.</p> <p>Saludos cordiales.</p> <p>Dra. Alma Dolores Pérez Santiago División de Estudios de Posgrado e Investigación Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca aperez_santiago@hotmail.com alma.ps@oaxaca.tecnm.mx</p>
15 de septiembre de 2023	<p>“Cultivo in vitro y tamizaje fitoquímico preliminar de un hongo del género <i>Myriostoma</i>”</p> <p>Enviado para su publicación en la Revista Mexicana de Agroecosistemas ISSN: 2007-9559 Indizada en Latindex https://latindex.org/latindex/ficha/20164</p>

Comentarios para el editor/a

X

Participantes [Editar](#)

Alma Dolores Perez Santiago (2473)



Mensajes

Nota	De
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz	2473
Editor en Jefe	2023-09-15 19:51
Revista Mexicana de Agroecosistemas	

Por medio de la presente, el autor que en ella suscribe y en representación de los autores **Yesenia Aragón-López, Alma Dolores Perez-Santiago, Ricardo Valenzuela-Garza, Marco Antonio Sanchez-Medina, Ivan Antonio García-Montalvo**, en calidad de autor/es exclusivo/s acepta/n que su manuscrito titulado "**CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUÉMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO *Myriostoma***" sea sometido a consideración del proceso editorial de la **Revista Mexicana de Agroecosistemas** editada por el Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca.

Atentamente
Alma Dolores Pérez Santiago
Autor de correspondencia

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz	2473
Editor en Jefe	2023-10-02 22:11
Revista Mexicana de Agroecosistemas	

Q Buscar

septiembre 15, 2023

Descargar todos los archivos

Añadir discusión

Última respuesta	Respuestas	Cerrado
473 023-10-02 22:11	1	<input type="checkbox"/>
473 023-09-22 11:36	1	<input type="checkbox"/>
	0	<input type="checkbox"/>

4. Metodología

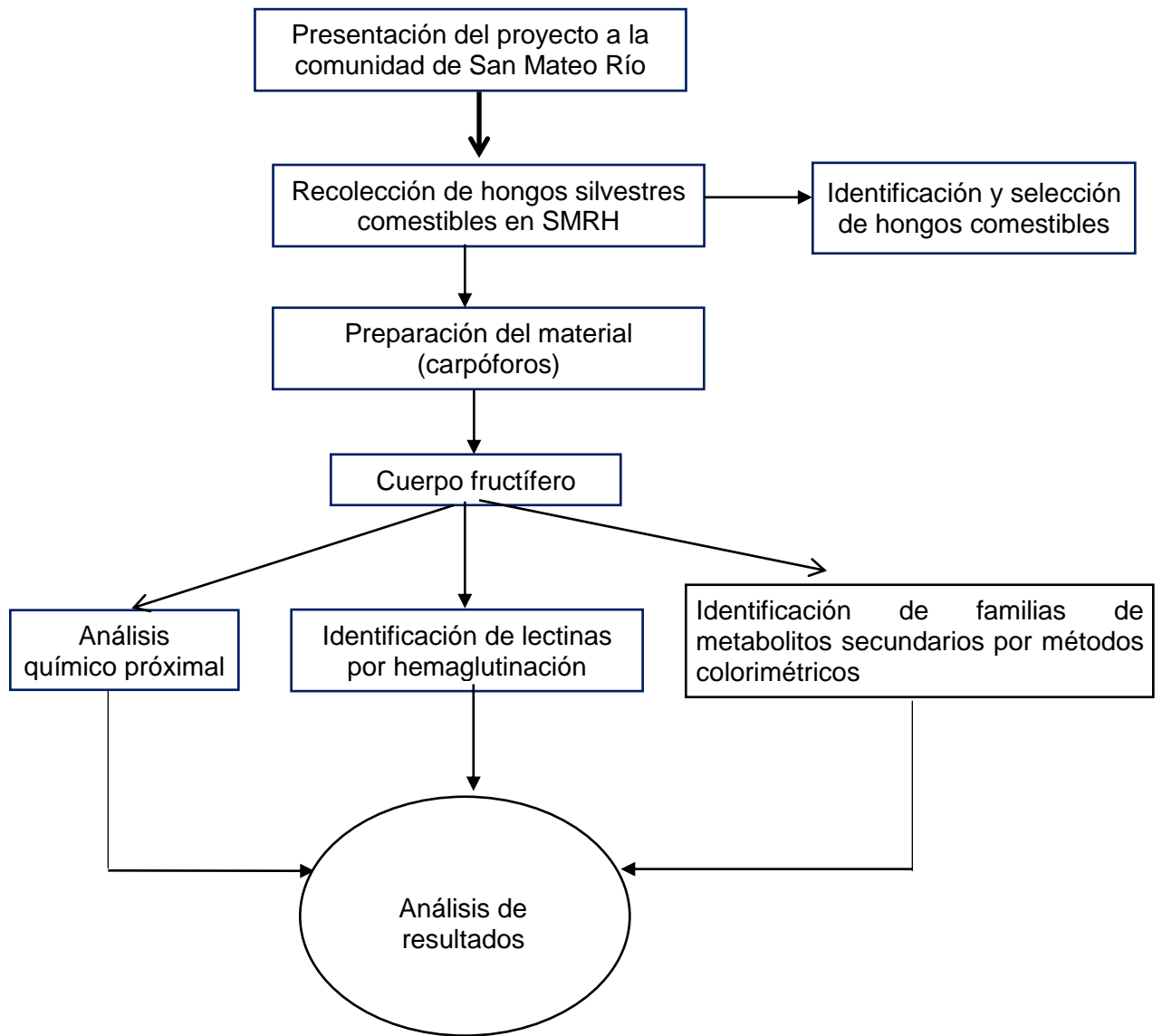


FIGURA 4. Diagrama de flujo del proceso de la investigación.

La investigación dió inicio con la presentación del proyecto y sus objetivos a la comunidad de San Mateo Río Hondo. Fue importante la comunicacción con las autoridades municipales y que la comunidad esté informada también, ya que actualmente se han restringido las visitas y colectas al bosque, las visitas sólo pueden realizarse con un guía de la comunidad quien hace el recorrido para el

avistamiento de hongos en zonas específicas. No se permite la extracción de especies.

Se realizaron dos colectas en el periodo de julio-septiembre, en la temporada de lluvias, y se tomó el registro fotográfico de cada una de las especies para su posterior identificación taxonómica. Los ejemplares seleccionados como comestibles fueron preparados para la búsqueda de lectinas fúngicas y la determinación de metabolitos secundarios. Algunos de estos ejemplares se deshidrataron en una estufa para eliminar el agua y evitar su descomposición, otros ejemplares, unavez limpios fueron congelados para su posterior uso. Se realizó la determinación de las propiedades antioxidantes de las especies comestibles seleccionadas. Algunas determinaciones se realizaron también en los hongos que se pudieron cultivar en condiciones de laboratorio. Los resultados han permitido clasificar a las especies que se encuentran en el bosque de San Mateo Río Hondo, como silvestres comestibles, medicinales, tóxicos y de aplicación industrial y biotecnológica.

5. Difusión

- a) Se presentaron dos ponencias a la población de la comunidad de San Mateo Río Hondo, en la explanada municipal.

1. Estudio y conocimiento actual de las propiedades de los hongos silvestres y cultivados.
--

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago (Responsable del proyecto).
--

2. Hongos de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.

Balería María Hernández Chávez (Estudiante de doctorado)
--



FIGURA 5. Ponencias presentadas en la explanada municipal de San Mateo Río Hondo

PRESENTACIONES SOBRE LOS HONGOS EN SAN MATEO RÍO HONDO



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ESTUDIO Y CONOCIMIENTO ACTUAL DE LAS PROPIEDADES DE LOS
HONGOS SILVESTRES Y CULTIVADOS

DRA. ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO



SAN MATEO RÍO HONDO, MIAHUATLAN, OAXACA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Oaxaca
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DOCTORADO EN CIENCIAS EN DESARROLLO REGIONAL Y
TECNOLÓGICO

HONGOS SILVESTRES DE SAN MATEO RÍO HONDO

Presenta:

Balería María Hernández Chávez



b) Presentación e informe sobre los hongos de San Mateo Río Hondo



FIGURA 6. Presentación de informe ante las autoridades locales, en la explanada municipal de San Mateo Río Hondo

CARTELES CON INFORMACIÓN SOBRE HONGOS DE SAN MATEO RÍO HONDO QUE FUERON ENTREGADOS A LAS AUTORIDADES



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico

HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES DE SAN MATEO RÍO HONDO, OAXACA



Lactarius indigo
(hongo azul)



Amanita fulva



Amanita caesarea
(nanacate)



Amanita rubescens
(chintete)



Hypomyces lactiflorum
(oreja de puerco)



Suillus granulatus
(pancita de zacatón)



Hygrophorus hypothejus aff.



Leotia lúbrica



Tricholoma saponaceum



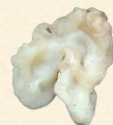
Helvella macropus



Pseudohydnum gelatinosum



Oudemansiella canari



Helvellosebacina conrescens



Otidia onotica



Helvella crispa aff.



Laccaria laccata (hongo de pájarito)



Collybia confluens



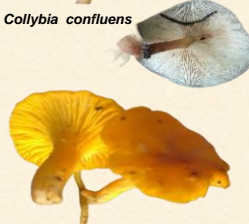
Morchella sp.



Aureoboletus projectellus



Cantharellus tubaeformis
(chimequito)



Cantharellus cibarius (flor de calabaza)



Cantharellus lutescens



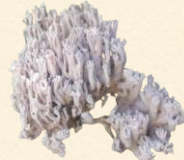
Boletus aff. edullis
(pambazo)



Lycoperdon nigrescens



Lycoperdon perlatum
(pedo de coyote)



Ramaria sp. (cacho de venado)



Tremellodendron schweinitzii



Peziza sp.

a) Autores: Balería María Hernández Chávez, Alma Dolores Pérez Santiago, Ricardo Valenzuela Garza, Héctor Mario Águilar Reyes.
b) Proyecto realizado en el marco del convenio de colaboración académica entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el Municipio de San Mateo, Río Hondo, Oaxaca.

Hongos silvestres de San Mateo Río Hondo, Oaxaca

Hongo	Nombre común	Compuestos que producen	Efecto que poseen
<i>Lactarius indigo</i>	Hongo azul ^[1]	Terpenoides y polifenoles ^[2] .	Antibiótico ^[2] .
<i>Amanita fulva</i>		No reportado	No reportado
<i>Amanita caesarea</i>	Nanacate ^[1]	Polisacáridos, triterpenoides, ácidos grasos y polifenoles ^[3] .	Antitumoral y antioxidante ^[4] .
<i>Amanita rubescens</i>	Chintete ^[1]	No reportado	No reportado
<i>Hypomyces lactiflorum</i> *	(Oreja de puerco)	Alcaloides, flavonoides, fenoles, saponinas, taninos, cumarinas, quinonas, glucósidos cardiotónicos, sesquiterpenlactonas, lectinas, proteínas, fibras, carbohidratos y cenizas.	Antitumoral, antioxidante
<i>Suillus granulatus</i>	Pancita de zacatón ^[1]	No reportado	No reportado
<i>Hygrophorus hypothejus aff</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Leotia lúbrica</i>	No reportado	Pigmentos ^[5]	No reportado
<i>Tricholoma saponaceum</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Helvella macropus</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Pseudohydnum gelatinosum</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Oudemansiella canari</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Helvellosebacina concrescens</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Otidia onotica</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Helvella crispa aff</i>		Ácidos protocatechuico ^[6] .	
<i>Laccaria laccata</i>	Hongo de pájarito ^[7]	Alcaloides, flavonoides: xantonas y flaonas, saponinas, taninos como el ácido gálico ^[8]	Antitumoral
<i>Collybia confluens</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Morchella sp</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Aureoboletus projectellus</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	Chimequito	Ergocalciferol (Vitamina D2) ^[9]	No reportado
<i>Cantharellus cibarius</i>	Flor de calabaza	Ácidos orgánicos (ascórbico, málico, shikímico, cítrico y fumárico) ^[10]	No reportado
<i>Cantharellus lutescens</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Boletus aff. edullis</i>	(Pambazo)	Flavonoides y β- Carotenos ^[11]	Antioxidante ^[12]
<i>Lycoperdon nigrescens</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Pedo de coyote	Saponinas, alcaloides ^[13]	Cicatrizante
<i>Ramaria sp</i> *	Cacho de venado	Saponinas, taninos, alcaloides, fenoles, flavonoides, proteínas, fibras y carbohidratos.	Antitumoral y antioxidante

* *Hypomyces lactiflorum* y *Ramaria sp* se usaron para preparar extractos y evaluar la presencia de compuestos como proteínas, fibra, carbohidratos, otros metabolitos: alcaloides, saponinas, taninos, cumarinas, glucósidos cardiotónicos, sesquiterpenlactonas flavonoides, quinonas, lectinas; se examinó el efecto antitumoral sobre una línea de cáncer de mama.

Referencias:

- [1] A. Montoya, E. Briones, R. Núñez, A. Kong, V. Ortiz, Á. 2019. Moreno. Los hongos conocidos por la comunidad 'Yuhmu' de Ixtenco, Tlaxcala, México. SCIENTIAFUNGORUM. Vol. 49: e1230.
- [2] Bellosso R, Karen Y, et al. (2012). Actividad antioxidante de extractos de diez basidiomicetos comestibles en Guatemala. Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [3] Daniel E. Chávez M. (2015). Producción de biomasa micelar de *Lactarius quieticolor* y *Rhizopogon roseolus* en cultivo líquido para la micorización controlada de especies de Pinus. Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción, Chile.
- [4] <http://guiahongosnavarra1garcilabona.blogspot.com/2015/03/atrobilomyces-strobilaceus-scop-fberk.html>. Consultado el 24/04/20.
- [5] Nava R, Valenzuela R. (1997). Los macromicetos de la Sierra de Nanchitla. Polibotánica. 21-36.
- [6] https://www.mykoveb.com/CA/AF/especies/helvella_vespertina.html. Consultado el 20/04/2020.
- [7] M. Jiménez, J. Pérez, J. Almaraz y M. Torres. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico: comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 4 N.º 1. 2013. p. 199-213.
- [8] B. Hernández. Producción de biomasa in vitro de *Laccaria laccata* para la obtención de metabolitos. Tesis de maestría. 2019.
- [9] Pérez-Moreno J, y et al. (2005) Wild Mushroom Markets in Central Mexico and a Case Study at Oaxaca. Econ. Bot. 62: 425-436.
- [10] Micobotánica-Jaén. La primera revista digital de Micología y Botánica en castellano. ISSN 1886-8541. Pag. 47
- [11] Franco S, Burrola C. (2010). Los hongos comestibles en el Nevado de Toluca. En: Franco S, Burrola C (eds.) Los hongos comestibles del Nevado de Toluca. Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México. pp 59-136.
- [12] Ribeiro, B. y et al. (2006). Contents of carboxylic acids and two phenolics and antioxidant activity of dried portuguese wild edible mushrooms. Journal of agricultural and food chemistry 54, 8530-8537.
- [13] Okuda T, Yoshiohka y et. al. (1972). Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides. Nature, 238 (80), pages. 59-60.

Hongo	Nombre común	Compuestos que producen	Efecto que poseen
<i>Ganoderma applanatum</i>	No reportado	Polisacáridos, ergosterol, ácido ganodérico y saponinas ^[1] .	Antitumoral, antibiótico y analgésico ^[1] .
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Hongo de palo ^[2]	No reportado	No reportado
<i>Bjerkandera adusta</i>	No reportado	No reportado	Antioxidante ^[3]
<i>Pholiota squarrosa</i>	No reportado	Lectina de <i>Pholiota squarrosa</i> (PhoSL) ^[4] .	No reportado
<i>Ganoderma brownii</i> *	No reportado	Flavonoides, taninos, glucósidos cardiotónicos, lectinas, fenoles, proteína, fibra y carbohidratos.	Antioxidante y antitumoral.
<i>Trametes versicolor</i> *	Cola de pavo ^[5]	Alcaloides, taninos, glucósidos cardiotónicos, lectinas.	Antitumoral
<i>Amanita caesarea</i>	nanacate	Polisacáridos, triterpenoides, ácidos grasos y polifenoles ^[6] .	Antitumoral y antioxidante ^[7] .
<i>Hypomyces lactiflorum</i>	(oreja de puerco)	Chalconas, taninos, antraquinonas, cumarinas, glucósidos cardiotónicos ^[8] .	Antitumoral
<i>Cantharellus cibarius</i>	flor de calabaza	Ácidos orgánicos (ascórbico, málico, shikímico, cítrico y fumárico) ^[9] .	No reportado
<i>Leotía lúbrica</i>	No reportado	No reportado	No reportado
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Pedo de coyote ^[2]	Saponinas, alcaloides ^[10]	Cicatrizante
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	Chimequito ^[11]	No reportado	No reportado

* *Ganoderma brownii* y *trametes versicolor* se utilizaron para preparar extractos y evaluar la presencia de compuestos como proteínas, fibra, carbohidratos, otros metabolitos: alcaloides, saponinas, taninos, cumarinas, glucósidos cardiotónicos, sesquiterpenlactonas flavonoides, quinonas, lectinas; después, se evaluó el efecto antitumoral de los extractos de los hongos seleccionados sobre una línea de cáncer de mama.

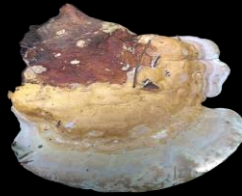
Referencias:

- [1] Brizuela, M. A. y et. al. (1998). Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. Revista Iberoamericana de Micología. Vol. 15: 69-74
- [2] A. Montoya, E. Briones, R. Núñez, A. Kong, V. Ortíz, Á. 2019. Moreno. Los hongos conocidos por la comunidad Yuhmu de Ixtenco, Tlaxcala, México. SCIENTIAFUNGORUM. Vol. 49: e1230.
- [3] C. Freitas, K. Suellen, P. Francislaine, C. Paula de Oliveira, B. Konopatzki, F. Martins, M. Balbi, S. W. Zanin, J. Gasparin, O. Gomes, C. Garcia, M. Dallarmi. 2022. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. Pp 1.
- [4] Kobayashi Y. y et. al. (2012). Una nueva lectina específica de fucosa de la seta *Pholiota squarrosa*. J. Biol. Chem. 287: 33973– 33982. doi: 10.1074 / jbc.M111.327692.
- [5] <https://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/193/las-propiedades-del-hongo-cola-de-pavo>
- [6] Daniel E. Chávez M. (2015). Producción de biomasa micelial de *Lactarius quieticolor* y *Rhizopogon roseolus* en cultivo líquido para la micorrización controlada de especies de *Pinus*. Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción; Chile.
- [7] <http://guiahongosnavarra1garciabona.blogspot.com/2015/03/strobilomyces-strobilaceus-scopfrberk.html>. Consultado el 24/04/20.
- [8] Juan Carlos Campos y Alberto Arregui. Manual de buenas prácticas y guía de setas de Guadalajara. Edición novenal, septiembre 2014 -4ta Edición, pags. 102-103 y 134.
- [9] Micobotánica-Jaén. La primera revista digital de Micología y Botánica en castellano. ISSN 1886-8541. Pag. 47
- [10] Okuda T. Yoshioka y et. al. (1972). Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides. Nature, 238 (80), pags. 59-60.
- [11] M. Jiménez, J. Pérez, J. Almaraz y M. Torres. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 4 Núm. 2 . p. 199-213.

Hongos silvestres medicinales de San Mateo Río Hondo, Oaxaca



Ganoderma applanatum



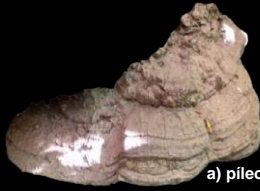
Fomitopsis pinicola (hongo de palo)



Bjerkandera adusta

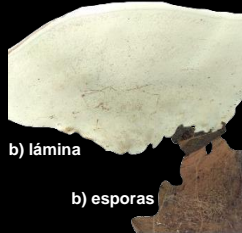


Pholiota squarrosa



a) píleo

Ganoderma brownii *



b) lámina

b) esporas



a) píleo

Trametes versicolor (cola de pavo) *



b) lámina

Comestibles con propiedades medicinales



Amanita caesarea (nanacate)



Hypomyces lactifluorum (oreja de puerco) *



Cantharellus cibarius (flor de calabaza)



Leotia lúbrica



Lycoperdon perlatum (pedo de coyote)



Cantharellus tubaeformis (chimequito)

"EL USO Y CONSUMO DE LOS HONGOS DEBE REALIZARSE BAJO LA SUPERVISIÓN DE EXPERTOS"

a) Autores: Balería María Hernández Chávez, Alma Dolores Pérez Santiago, Ricardo Valenzuela Garza, Héctor Mario Aguilar Reyes.

b) Proyecto realizado en el marco del convenio de colaboración académica entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el Municipio de San Mateo, Río Hondo, Oaxaca.

c) * Se uso para bioensayos.

HONGOS SILVESTRES DE SAN MATEO RÍO HONDO, OAXACA



Exidia glandulosa



Favolaschia sp



Stereum complicatum



Panellus pusillus



Strobilomyces strobilaceus



Calocera Cornea



Marasmius rotula



Helvella vespertina



Panus rudis



Trametes hirsuta



Stereum ochraceoflavum



Scleroderma polyrhizum



Cymatoderma caperatum



Stereum sanguinolentum



Inonotus amaicensces



Amanita aff. strobilacea



Amanita aff. alexandrii



Phaeolus schweinitzii



Tapinella aff. atrotomentosa



*Caloboletus sp **



Russula sanguinaria



Guepinopsis buccina

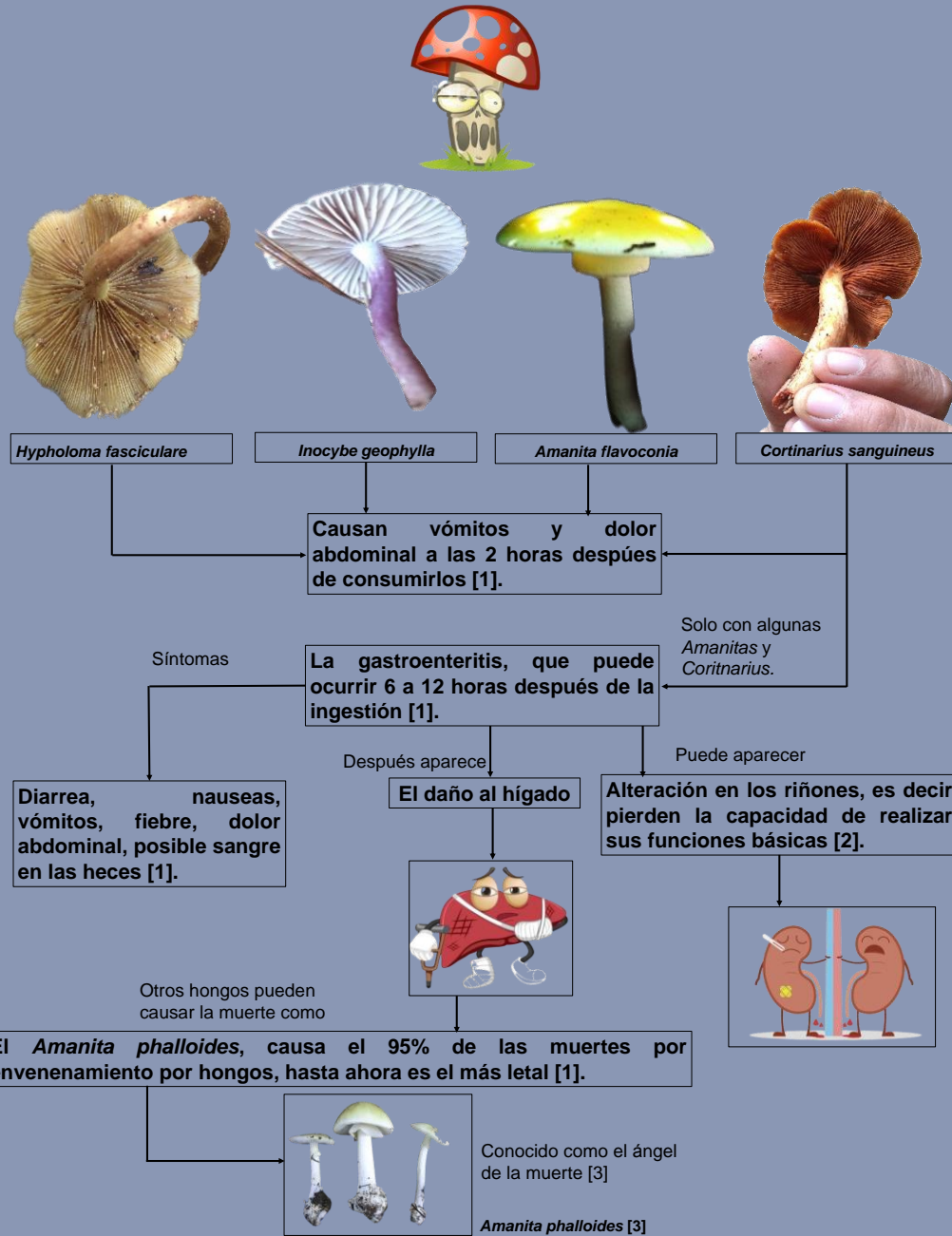
a) Autores: Balería María Hernández Chávez, Alma Dolores Pérez Santiago, Ricardo Valenzuela Garza, Héctor Mario Aguilar Reyes.

b) Proyecto realizado en el marco del convenio de colaboración académica entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el Municipio de San Mateo, Río Hondo, Oaxaca.

c) * Se usó para identificar metabolitos como alcaloides, taninos y flavonoides; se evaluó el efecto antitumoral sobre cáncer de mama.

HONGOS SILVESTRES TÓXICOS DE SAN MATEO RÍO HONDO, OAXACA

La diferenciación de las especies tóxicas y no tóxicas es difícil, aún para las personas con mucho conocimiento del tema.



a) Autores: Baleria María Hernández Chávez, Alma Dolores Pérez Santiago, Ricardo Valenzuela Garza, Héctor Mario Aguilar Reyes.
b) Proyecto realizado en el marco del convenio de colaboración académica entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el Municipio de San Mateo, Río Hondo, Oaxaca.
c) Referencias: [1] <https://www.msmanuals.com/es-mx/profesional/lesiones-y-envenenamientos/intoxicaci%C3%B3n/envenenamiento-con-hongos>. [2] <https://enfermagemilustrada.com/insuficiencia-renal-que-es/>. [3] V. Salazar. Manual básico de micología. ISBN: 978-956-362-126-6. 2016

TRIPTICOS QUE SE ELABORARON CON INFORMACIÓN OBTENIDA DURANTE EL PROYECTO

TRIPTICO 1



Laccaria laccata (comestible)

PROTEÍNA: 15.9%
CENIZA: 12.5%
GRASA: 3.8%
CARBOHIDRATOS: 67.8%

Hongo/Mineral	<i>Laccaria laccata</i>
N (%)	2.97
P (%)	0.29
K (%)	2.87
Ca (%)	1.34
Mg (%)	0.26
Na (%)	0.045
Cu (ppm)	24.50
Fe (ppm)	327.00
Mn (ppm)	114.00
Zn (ppm)	74.00

Gómez-Flores, L. D. J., Martínez-Ruiz, N. D. R.,
Enríquez-Anchondo, I. D., Garza-Ocañas,
F., Nájera-Medellín, J. A., & Quiñónez-Martínez, M.
(2019). *TIP. Revista especializada en Ciencias
Químico-Biológicas*, 22



La mayoría de macromicetos comestibles poseen bajos contenidos de grasas, altos contenidos de proteínas, carbohidratos, minerales y energía.

Ofrecen una amplia gama de beneficios para la salud con propiedades farmacológicas, que incluyen anti diabéticos, antioxidantes, antivirales, antibacterianos, etc. Poseen actividades terapéuticas y biológicas.

Producen varias clases de metabolitos secundarios con actividad biológica como los compuestos fenólicos totales que están asociados con la capacidad antioxidante, entre estos los flavonoides son un grupo importante.

Los hongos silvestres comestibles que se describen en las imágenes de este folleto se pueden encontrar en el bosque de San Mateo Río Hondo. Los datos mencionados son referenciados de otros autores.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



TECNM
MEXICO



Importancia de hongos silvestres comestibles y medicinales que se pueden encontrar en San Mateo Río Hondo, Oaxaca

Elaborado por:
Ing. Monserrat Vargas Ríos

Directora del Proyecto:
Dra. Alma Dolores Pérez Santiago



Ramaria sp.
(comestible)

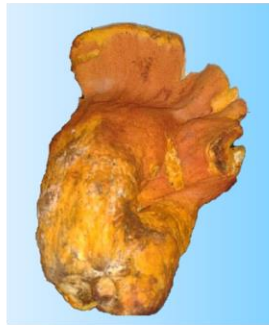
PROTEÍNA: entre 18.1 y 12.6%
GRASA: entre 0.9 y 3.4%
CENIZA: entre 8.6 y 11%
CARBOHIDRATOS: 72.40 y 73 %

Composición fenólica total:

- 7.8 mg/g muestra para *Ramaria patagónica* (2.5mg ácido gálico y 5.3mg ácido protocatecuico).
- 6.8 mg/g para *Ramaria botrytis* (3.84 mg ácido gálico y 2.9mg ácido protocatecuico).

Los valores energéticos de las muestras oscilaron entre 370 y 373 kcal/100 de muestra.

Rugolo, M., Mascoloti Spréa, R., Dias, M. I., Pires, T. C., Añibarro-Ortega, M., Barroetaveña, C., ... & Barros, L. (2022). Nutritional composition and bioactive properties of wild edible mushrooms from native *Nothofagus* Patagonian forests. *Foods*, 11(21), 3516.



Hypomyces lactiflorum
(comestible)

PROTEÍNA: 20.27%
GRASA: 2.67%
CENIZAS: 15.06%
FIBRA: 12.08%
CARBOHIDRATOS: 49.92%

Composición fenólica: 2.98mg EAG/gmuestra.

Contenido de carotenoides: 0.117mgEBC/g muestra.

Espejel-Sánchez, K. I., Espinosa-Solares, T., Reyes -Trejo, B., Hernández-Rodríguez, G., Cunill-Flores, J. M., & Guerra- Ramírez, D. (2021). Nutritional value and thermal degradation of bioactive compounds in wild edible mushrooms. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 27(3)



Ganoderma brownii
(medicinal)

PROTEÍNA: entre 15.7 y 24.5%
GRASA: entre 0.48 y 1.40%
CENIZA: entre 0.68 y 2.12%
CARBOHIDRATOS: 73.31 y 81.90 %

Los valores energéticos de las muestras oscilaron entre 396,1 y 402,9 kcal/100 de muestra.

La composición fenólica total se presenta entre 14 y 489 µg/100 g de muestra.

Contienen ácidos orgánicos como ácido oxálico, ácido málico y ácido fumárico.

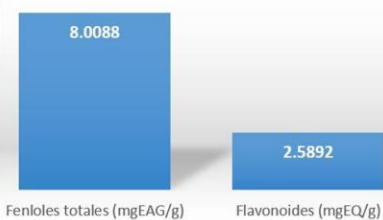
Obodai, M., Mensah, D. L. N., Fernandes, Â., Kortei, N. K., Dzomeku, M., Teegarden, M., ... & Ferreira, I. C. (2017). Chemical characterization and antioxidant potential of wild *Ganoderma* species from Ghana. *Molecules*, 22(2), 196.

TRIPTICO 2



Ramaria sp
(San Mateo Río Hondo)

	g/100 g muestra
Proteína	35.10
Carbohidratos	33.64
Fibra	26.92
Extracto etéreo	4.20
Cenizas	0.12



Los hongos comestibles silvestres poseen bajo contenido de grasas, alto contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y energía.

Ofrecen una amplia gama de beneficios para la salud con propiedades farmacológicas, que incluyen antioxidantes, antivirales, antibacterianos, etc. Poseen actividades terapéuticas y biológicas, que son evidentes en los ensayos *in vivo* e *in vitro* que se han realizado.

Los hongos poseen varias clases de metabolitos secundarios con actividad biológica como son los compuestos fenólicos totales que están asociados con la capacidad antioxidante, entre estos los flavonoides son un grupo importante.



Hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo

Los hongos silvestres comestibles pertenecen a especies con carpóforos grandes y visibles, también llamados setas; estas son el cuerpo fructífero de un hongo

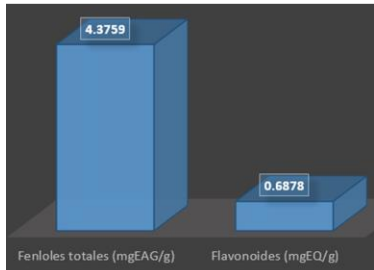
Elaborado por:
Ing. Monserrat Vargas Ríos

Directora del Proyecto:
Dra. Alma Dolores Pérez Santiago



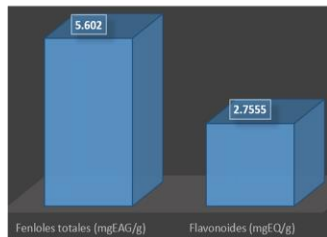
Neolentinus lepideus
(San Agustín, Etna)

	g/100 g muestra seca
Proteína	16.71
Carbohidratos	56.90
Fibra	21.96
Extracto etéreo	0.63
Cenizas	3.80



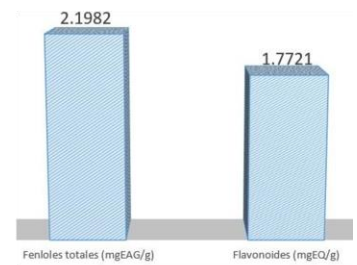
Hypomyces lactiflourum San Mateo Rio Hondo

	g/100 g muestra seca
Proteína	34.88
Carbohidratos	51.38
Fibra	11.50
Extracto etéreo	2.11
Cenizas	0.13



Ganoderma brownii
San Mateo Rio Hondo

	g/100 g muestra sec
Proteína	15.04
Carbohidratos	41.06
Fibra	42.75
Extracto etéreo	1.00
Cenizas	0.14



PRESENTACIÓN SOBRE HONGOS SILVESTRES ENTREGADA A LA COMUNIDAD



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Oaxaca
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DOCTORADO EN CIENCIAS EN DESARROLLO REGIONAL Y
TECNOLÓGICO

HONGOS SILVESTRES DE SAN MATEO RÍO HONDO E IDENTIFICACIÓN DE METABOLITOS



Presenta:

Baleria María Hernández Chávez



6. Beneficios y Problemas

Consideramos como beneficio el Convenio de colaboración académica que mantiene el Instituto Tecnológico de Oaxaca con el municipio de San Mateo Río Hondo, lo cual permitió que se contara con el apoyo de las autoridades para el ingreso al bosque y la colecta de material fúngico para el análisis.

Como problema es importante mencionar que la comunidad mantiene un conflicto político, el cual inició durante la pandemia, que ha generado toma de la carretera y nulo acceso a la comunidad y al bosque, lo cual no permitió obtener la información etnomicológica directamente de la población mayor en la comunidad.

7. Información adicional

Se presenta como información adicional la revisión bibliográfica ampliada sobre los antecedentes del proyecto.

ANTECEDENTES

Zona de estudio

Podemos encontrar en el distrito de Miahuatlán, al municipio de San Mateo Río Hondo, ubicado en las Sierra Sur. Esta comunidad está ubicada a $16^{\circ} 09'$ de latitud norte y $96^{\circ} 27'$ de longitud oeste; a 2,300 msnm. Tiene una extensión territorial de 81.96 km^2 , colinda al norte con San Andrés Paxtlán, San Sebastián Río Hondo y Santa Lucía Miahuatlán, al sur con Candalaria Loxicha, San Agustín Loxicha, San Pedro el Alto y Santa Catarina Loxicha, al oeste con San Miguel Coatlán, Santa Catarina Loxicha y Santa Lucía Miahuatlán, y al este con San Marcial Ozolotepec, San Miguel Suchixtepec, San Sebastián Río Hondo y Santa María Ozolotepec.

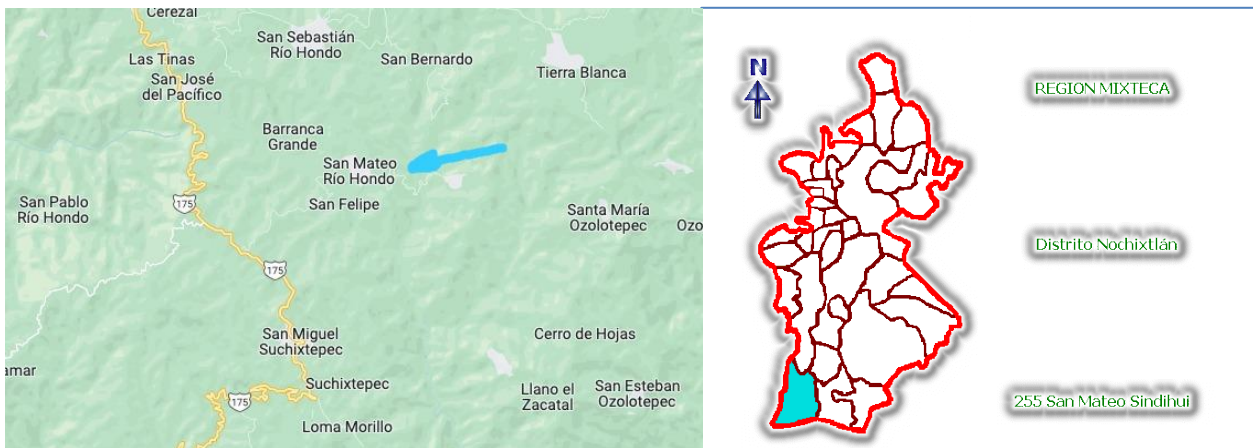


FIGURA 7. San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca.

Extensión. En una superficie de 91.86 kilómetros cuadrados se encuentra el municipio, aproximadamente el 0.1 % de la extensión del estado.

Orografía. La Postera, Zaniltepec y Cerro León son los principales elementos o cerros de la orografía del municipio.

Hidrografía. Los ríos Río Hondo y Río San Antonio pasan por el municipio.

Clima. Durante todo el año el clima es frío, y en temporadas alcanza los 4 °C.

Principales Ecosistemas. El bosque de coníferas se observa en las zonas altas del bosque; se encuentran animales silvestres como venados, liebres, insectos, etc.

Recursos Naturales. Los recursos forestales y no forestales son el principal recurso de la comunidad.

Características y Usos de Suelo. Los suelos de la comunidad son húmedos casi todo el año, sin embargo, usan riego de temporal para granos básicos.

Los hongos

Los hongos son organismos vivos eucariotas, que pertenecen al Reino Fungi. Se distribuyen en tres principales subgrupos que incluyen: mohos u hongos filamentosos, levaduras y setas. A pesar de las diferentes morfologías que poseen, ya que podemos encontrar hongos microscópicos y macroscópicos, comparten características de nutrición, función, composición de la pared celular, ciclos de vida, etc. Su función en la naturaleza es diversa e indispensable, ya que son los más importantes degradadores de la materia orgánica, muchos son micorrízicos jugando un papel importante en el transporte de nutrientes a las raíces de los árboles. Las paredes celulares de los hongos están formadas principalmente por polímeros de N-acetil-glucosamina (quitina). Poseen esporas que pueden permanecer viables durante mucho tiempo y dispersarse en el suelo, por aire o agua. Poseen una estructura filamentosa conocida como hifas, que dan

lugar al micelio. México cuenta con una diversidad de aproximadamente 200 000 especies de hongos, de las cuales solamente se conoce el 4 %, tan solo en dos mercados de los Valles Centrales de Oaxaca son comercializadas más de 20 especies de hongos silvestres comestibles. Se ha reportado que México produce el 60 por ciento de la producción de América Latina, cerca de 4 mil toneladas de hongos anualmente, que incluye los siguientes hongos:

- Champiñones blancos y cafés (*Agaricus*)
- Setas (*Pleurotus*)
- Shiitake (*Lentinula*)
- Huitlacoche (*Ustilago maydis*)

El resto está constituido por hongos no cultivables (silvestres) endémicos de bosques templados, principalmente de pino y encino. De estos, casi la mitad no se pueden cultivar debido a que viven en estrecha relación con las raíces de los árboles. Sin embargo, se cree que pueden existir más de 1100 especies de hongos silvestres comestibles.

Durante el desarrollo de un organismo fúngico se generan dos rutas metabólicas: el metabolismo primario y el secundario, en el primer proceso se sintetizan moléculas sencillas y esenciales para el crecimiento de los hongos como son las proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y polisacáridos. Después de concluir el crecimiento los procesos metabólicos son diferentes y se producen ahora saponinas, alcaloides, flavonoides, cumarinas, taninos, glucósidos cardiotónicos, quinonas y sesquiterpenlactonas, que son metabolitos secundarios.

Estos compuestos son moléculas complejas que proveen al organismo la capacidad de supervivencia en situaciones de estrés. Los basidiomicetos (que pertenecen al filo Basidiomycota, poseen basidios con basidiosporas, esporas sexuales), sintetizan gran cantidad de compuestos que pueden tener importantes aplicaciones en la Biomedicina como antitumorales, antiproliferativos, antifúngicos, antivirales, antibacteriales, antimicrobianos, citostáticos, reguladores del crecimiento, aromas, etc.

Dentro de estos metabolitos se encuentran: saponinas, ergosterol, sesquiterpenlactonas, ácido propanodioico, peróxido de ergosterol, taninos, alcaloides, entre otros. Por su parte, las lectinas fúngicas han atraído una atención considerable debido a sus actividades antitumorales, antiproliferativas e inmunomoduladoras.

IMPORTANCIA DE LOS HONGOS

Se ha incrementado la producción de los hongos por sus diferentes propiedades:

- Alto contenido nutrimental
- Uso como bioinoculantes
- Uso para exportación
- Propiedades medicinales (atribuidas a metabolitos primarios y secundarios).
 - Actividad antitumoral, antiproliferativa e inmunomoduladora ^[4].
 - Mecanismos de defensa del huésped a la inflamación y la metástasis ^[5]
- Distintas bioactividades que han promovido un desarrollo comercial.

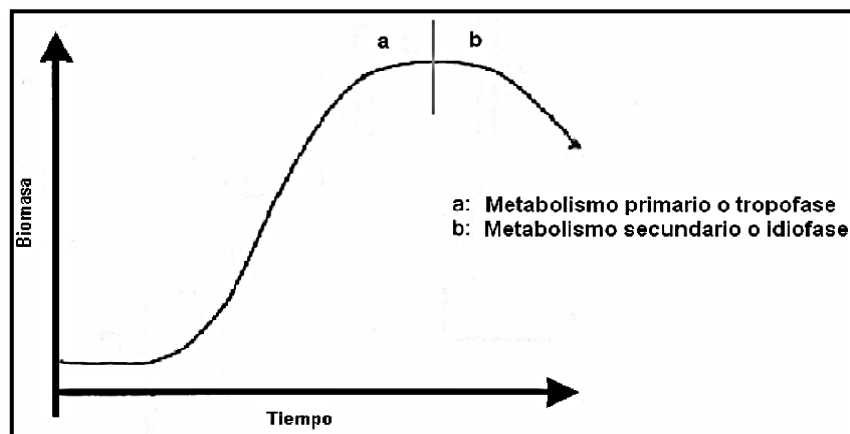


FIGURA 8. Producción de metabolitos durante el crecimiento de los hongos.

Los metabolitos fúngicos (Figura 7) se obtienen como producto del metabolismo primario (Tabla 3), por acción de enzimas que catalizan varias reacciones químicas para la producción de polímeros estructurales, proteínas, ADN, energía. Algunas de estas moléculas de interés industrial son: Ácidos carboxílicos, Alcoholes, Enzimas (celulasas, amilasas o pectinansas, Ácidos nucleicos, Proteínas, Polisacáridos.

Lectinas fúngicas	Propiedades	Especificidad	Aplicaciones
<i>Polyporus Squamosus</i> , PSL	28 kDa	NeuNAc α 2,6 β galactosyl	Herramienta valiosa para el tratamiento contra el cáncer ^[8] .
<i>Russula lepida</i> , RLL	16 kDa	Inulina y O -nitrofenilb -galactopiranósido	Potente inhibidor de la proliferación de hepatoma HepG2 y en MCF- 7 ^[9] .
<i>Punctularia atropurpurascens</i> , PAL	67.6 kDa	N-acetil-lactosamina	Actividad antimicrobiana en <i>A. nigger</i> ^[10] .
<i>Pycnoporus sanguineus</i> , PSL	68.7 kDa y 55.2 kDa	Fucosa	Actividad antimicrobiana en <i>E. coli</i> ^[10] .
<i>Gymnopilus spectabilis</i> , GSL	64.4 kDa y 126 kDa	Melibiosa	Actividad antimicrobiana en <i>S. aureus</i> ^[10] .

TABLA 3. METABOLITOS PRIMARIOS. Lectinas de hongos silvestres.

METABOLITOS SECUNDARIOS

1. Productos derivados de glucosa. Estreptomicina y neomicina.
2. Tienen propiedades antibióticas, están relacionados con los nucleósidos.
3. Productos derivados de la vía shikimato-corismato. Intermediario para la formación de fenilalanina, tirosina, triptófano, ácido p-amino benzoico, cloramfenicol, novobiocina, fenazinas y picocianinas.
4. Vía del policétido. Produce diferentes compuestos con actividad biológica ^[19, 20].

5. Terpenos y esteroides. Carotenoides (astaxantina).
6. Productos derivados de aminoácidos. Metabolitos que inhiben los tumores en plantas. Hadacidina, es producido a partir de la glicina.

Hongo productor	Metabolitos secundarios	Capacidad bioactiva
<i>G. lucidum</i>	Ácidos ganodéricos, lucidimol y ganodermanondiol.	Efectos carcinostáticos en células cancerígenas.
<i>G. lucidum</i>	Ergosterol	Inhibición del crecimiento del cáncer de vejiga en ratas.
<i>G. lucidum</i>	Ácido ganodérico MD	Supresión del crecimiento de células cancerosas de mama a través de la inhibición ^[4] .
<i>L. quieticolor</i>	Ácido propanodioico y ácido decanoico ^[5] .	
<i>L. laccata</i>	Ergosterol, peróxido de ergosterol, ácido oleico y ácido linoleico etil éster ^[6] .	Anticancerígeno, anticoagulante y antitumoral ^[7] .
<i>Schizophyllum commune</i> ^[11]	Alcaloides Cumarinas	

TABLA 4. Metabolitos secundarios producidos por hongos.

Referencias

1. Carvajal R.L. (2009) Analisis fitoquímico preliminar de hojas, tallos y semillas de cupatá (*Strychnos schiultesiana* Krukoff). Colombia Forestal. Vol 12, No. 1.
2. K. Bouabid *et al.* (2018) Phytochemical screening and *in vitro* evaluation of alpha amylase, alpha glucosidase and beta galactosidase inhibition by aqueous and organic *Atractylis gummifera* L. extracts. Plant Sci. Today.

3. Robles-García M.A. et al. (2016) Identificación cualitativa de metabolitos secundarios y determinación de la citotoxicidad de extractos de tempisque (*Sidero xylum capiri* PITTIER). *Biocencia*, vol 18, num 3
4. Flores Vázquez, J., & García-Vieyra, M. I. (2017). PERFIL FITOQUÍMICO Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS DE PITAHAYA *Hylocereus undatus*. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 2(1), 29–33. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/articloe/view/992>
5. Bulugahapitiya V. P. (2013) *Plants Based Natural products Extraction, Isolation and Phytochemical screening methods*. ISBN:978-955-54456-1-0
6. Moore-Landecker E. *Fundamentals of the Fungi*. Fourth Edition. 1996. Editorial Prentice Hall. United States of America.
7. Deepu Pandita, Anu Pandita. Editors. *Mushrooms Nutraceuticals and Functional Foods*. 2023. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton FL. DOI: 10.1201/9781003322238
8. Gustavo Valencia del Toro y María E. (2012). Garín A. *Propiedades medicinales de los hongos comestibles. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. 1ra. Edición; pag. 297.
9. Boa, E. (2004). *Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población*, No. 17. FAO, Roma. Pag.161.
10. Miryan Cassanello. *Biocología Industrial Producción industrial de Metabolitos en Biorreactores*. PINMATE – Dep. Industrias, FCEyN-UBA.
11. De Baets S. y et. al. (2000). *Vitamins and related biofactors, microbial production*. *Encyclopedia of microbiology*. Academic, London, pag. 837-853.
12. Aura P. Chaparro P. (2010). *Aislamiento e identificación de metabolitos producidos por la cepa nativa SPG 321 de *Mucor circinelloides* y evaluación*

de su actividad antimicrobiana. Magister en microbiología, Pontificia Universidad Javeriana; Bogotá D.C., pag. 31.

13. Bruneton, J. (2001). Farmacognosia, Fitoterapia y Plantas Medicinales. 2a. Edición. España. Editorial Acribia, S. A.
14. Enzo Foy V. (2005). Extracción, identificación y evaluación de saponinas en *Agaricus bisporus*. Biotempo. Volumen 5, 31- 36.
15. Oliveros A. y et. al. Extracción y cuantificación de cumarinas mediante HPLC-UV en extractos hidroetanolicos de semillas de *Dipteryx odorata*. Revista Latinoamericana de Química, 39, 17-39. 09 de Julio de 2018.
16. María Antonieta B. y et al. (1998). Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. Revista Iberoamericana de Micología, pags. 69-74.
17. Beatriz Medinilla y et. al. (2010). Evaluación biológica y fitoquímica de cinco hongos nativos de Guatemala. Revista Guate Farma, quinta edición.
18. Suhul L. y Carlos A. Determinación de metabolitos secundarios presentes en el hongo *Schizophyllum commune* (oreja de palo) cultivados en laboratorio, provenientes de cepas aisladas en 5 localidades de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC; 2011.
19. Daniel E. Chávez M. Producción de biomasa micelial de *Lactarius quieticolor* y *Rhizopogon roseolus* en cultivo líquido para la micorrización controlada de especies de *Pinus*. Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción; Chile, 2015.
20. Carla E. De la Torre T. Estudio químico y actividad biológica del hongo *Laccaria laccata* Scop. Cooke, en la región Sur del Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja. Trabajo de titulación; Loja, Ecuador, 2017.
21. Martínez, M. (2016). Ergosterol from the mushroom *Laetiporus* sp.; Isolation and structural characterization. Revista Boliviana de Química, 32(4).

22. Baleria M. Hernández Ch. (2019). Producción de biomasa *in vitro* de *Laccaria laccata* para la obtención de metabolitos. Tesis de Maestría; Instituto Tecnológico de Oaxaca.
23. Kocourek J., Horejsi V. A note on the recent discussion on definition of the term "Lectin" Lectins Biol. Biochem. Clin. Biochem. 1983;3:3–6.
24. Mohamed A. Abol H. y et. al. (2015). Lectinas de hongos: especificidad, estructura, y bioactividad relevantes para las enfermedades humanas. International Journal of Molecular Sciences; 16 (4), pag. 1.
25. Mo H., Winter HC, Goldstein IJ Purificación y caracterización de una lectina específica Neu5Acalpha2-6Galbeta1-4Glc / GlcNAc del cuerpo fructífero del hongo *Polyporus squamosus*. J. Biol. Chem. 2000; 275: 10623-10629. doi: 10.1074 / jbc.275.14.10623.
26. Thakur A., Pal L., Ahmad A., Khan MI Especificidad de carbohidratos complejos de lectina del cuerpo fructífero de *Ganoderma lucidum*. Un estudio de resonancia de plasmones superficiales. Vida IUBMB. 2007; 59: 758–764. Doi: 10.1080 / 15216540701663463.
27. Silvana Alborés M. Producción de lectinas de hongos basidiomicetes y estudio de sus interacciones frente a glicocompuestos. Tesis de doctorado. Facultad de química, 2011.
28. Gunatilaka L. A. 2006. Natural products from plant-associated microorganisms: distribution, structural diversity, bioactivity, and implications of their occurrence. J. Nat. Prod. 69: 509-526.
29. Carlile M. y Watkinson. 1996. The fungi. Academic Press. London, Great Britain. Pag 3, 122-139.
30. Guzmán G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. International J. Medicinal Mushrooms 10:209-217.
31. Boa E. 2004. Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población. No. 17. FAO, Roma. 161 p.

32. Jiménez M. *et al* 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. RMCA (4) 2: 199-213
33. Razgado P. A. P. 2002. Manejo sustentable del hongo blanco (*Tricholoma magnivelare*) en la región forestal del municipio de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional.
34. Vázquez M S. 2008. Ecología de comunidades de macromicetos a lo largo de un gradiente altitudinal en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional.
35. Avendaño L. H., Martínez R. y Vásquez D. M., Nomenclatura zapoteca de hongos comestibles de dos localidades de Oaxaca. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca.
36. Pares F.R., Juárez G. A. 2002. Bioquímica de los microorganismos. 1ra reimpresión. Editorial Reverté. pp.326-338.
37. Consejo Nacional de Población y Vivienda, *La Población de los Municipios de México 1950 - 1990*. Ed. UNO Servicios Gráficos, México, Nov., 1994.
38. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, *Censo General de Población y Vivienda 2000*. México 2001.
39. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Oaxaca, *Los Municipios de Oaxaca*, "Enciclopedia de los Municipios de México". Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F. 1988.
40. Moore-Landecker E. *Fundamentals of the Fungi*. Fourth Edition. 1996. Editorial Prentice Hall. United States of America.

41. Deepu Pandita, Anu Pandita. Editors. Mushrooms Nutraceuticals and Functional Foods. 2023. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton FL. DOI: 10.1201/9781003322238

ANEXO



Oaxaca de Juárez, Oaxaca, **25/agosto/2023**

ASUNTO: Entrega de información

Danilo Pinacho Campuzano

Director de Turismo de San Mateo Río
Hondo, Oaxaca

Miriam Sáenz de Sicilia Ávila

Presidenta del Comité de Turismo
de San Mateo Río Hondo, Oaxaca

Por medio de la presente se hace de su conocimiento que el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO) a través de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, realizó el proyecto "Identificación de metabolitos de hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca", dentro del proyecto institucional "*Biodiversidad de especies fúngicas de San Mateo Río Hondo, con posible potencial farmacológico y nutrimental*", en el marco del Convenio de Colaboración Académica entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el Municipio de San Mateo Río Hondo, Oaxaca, celebrado el 11 de octubre de 2019; en el cual participaron la M.C. Baleria María Hernández Chávez, el Dr. Ricardo Valenzuela Garza, el Biol. Héctor Aguilar Reyes, y la Dra. Alma Dolores Pérez Santiago como responsable del proyecto. Como producto de las investigaciones realizadas se presentan los primeros resultados, concentrados en los siguientes documentos:

1. Cartel: Hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.
2. Cartel: Hongos silvestres de San Mateo Río Hondo, Oaxaca. Contiene una tabla con nombre científico, nombre común, compuestos que producen, efecto que poseen.
3. Cartel: Hongos silvestres de San Mateo Río Hondo, Oaxaca. Contiene una tabla con nombre científico, nombre común, compuestos que producen, efecto que poseen.
4. Cartel: Hongos silvestres medicinales de San Mateo Río Hondo Oaxaca. Contiene imágenes de hongos silvestres medicinales y hongos comestibles medicinales de San Mateo Río Hondo.
5. Cartel: Hongos silvestres de San Mateo Río Hondo. Contiene imágenes de hongos silvestres que se estudian actualmente en la búsqueda de metabolitos, y su efecto sobre células de cáncer de mama.





6. Cartel: Hongos silvestres tóxicos de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.
7. Folleto: Hongos silvestres comestibles de San Mateo Río Hondo, Oaxaca.
8. Folleto: Importancia de hongos silvestres comestibles y medicinales que se pueden encontrar en San Mateo Río Hondo, Oaxaca.
9. Presentación: HONGOS SILVESTRES DE SAN MATEO RÍO HONDO E IDENTIFICACIÓN DE METABOLITOS. Realizada y presentada por M.C. Balería María Hernández Chávez (Tesis de doctorado).
10. Toda la información antes mencionada se entrega en una memoria USB.

Referente al Acuerdo de Colaboración celebrado entre "el Municipio" San Mateo Río Hondo y el "Instituto Tecnológico de Oaxaca", "el ITO se reserva la propiedad intelectual que tiene sobre las innovaciones, inventos, patentes, diseños, modelos de utilidad y/o derecho de autor que resulten del proyecto o de su aplicación en el Municipio, debido a que es parte fundamental del conocimiento generado por los investigadores. Así mismo, cuando el Municipio realice la reproducción parcial o total del proyecto o lo aplique con fines comerciales, tiene la obligación de citar el crédito correspondiente al ITO"

El ITO agradece al Municipio las facilidades brindadas para la realización del proyecto, y manifiesta su interés en continuar los trabajos de investigación, así como la disponibilidad para participar en pláticas a la comunidad y eventos académicos.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
Tecnología Práctica e Independencia Económica

DRA. ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO
RESPONSABLE DEL PROYECTO

SECRETARÍA
DE LA COMISIÓN
MUNICIPAL
PROVISORIAL
Mpio. San Mateo
Río Hondo,
Dist. Mixtepec, Oax.
2023 al 25/08/2023

Recibí Danilo Pinacho
Campuzano

25/08/2023



Oaxaca de Juárez, Oax., 22/agosto/2023

Oficio No. DEPI-756/2023

ASUNTO: Autorización de impresión de tesis.


C. MONSERRAT VARGAS RIOS
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS
EN DESARROLLO REGIONAL Y TECNOLÓGICO
PRESENTE.

De acuerdo con las disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo con respecto a su Tesis para obtener el Grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, cuyo título es "Caracterización química proximal y evaluación antioxidante de los hongos comestibles silvestres *Laccaria laccata*, *Hypomyces lactiflourum*, *Ganoderma brownii* y *Ramaria sp.* provenientes de San Mateo Río Hondo, Oaxaca", los abajo firmantes, integrantes de la Comisión Revisora le concedemos la autorización para que proceda a la Impresión de la misma.

ATENTAMENTE


Excelencia en Educación Tecnológica
"Tecnología Propia e Independencia Económica"


DRA. ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO
DIRECTORA


DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
ASESOR


M.C. AYMARA DÍAZ BARRITA
ASESORA

Vo.Bo.


DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

 EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
 INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

MASM/FFA*cmh





CONSTANCIA

A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe, jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, HACE CONSTAR que la

C. BALERIA MARÍA HERNÁNDEZ CHÁVEZ

De acuerdo a documentación que existe en la Coordinación de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, se encuentra en trámites de titulación con el proyecto de tesis:

“Hongos silvestres comestibles y medicinales de San Mateo Río Hondo: tamizaje fitoquímico, evaluación de sus propiedades bioactivas y un estudio etnomicológico”

Se extiende la presente a petición de la interesada y para los fines que le convengan, en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax, a los 5 días del mes de septiembre de dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
“Tecnología Propia e Independencia Económica”



DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
 JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
 POSGRADO E INVESTIGACIÓN

EDUCACIÓN | **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
 E INVESTIGACIÓN**

C.c.p. Expediente





CONSTANCIA

A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe, jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, HACE CONSTAR que la

C. YESENIA ARAGÓN LÓPEZ

De acuerdo a documentación que existe en la Coordinación de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, se encuentra en trámites de titulación con el proyecto de tesis:

“Especies fúngicas de Santa María Yavesía con posible potencial farmacológico y nutrimental”

Se extiende la presente a petición de la interesada y para los fines que le convengan, en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax, a los 5 días del mes de septiembre de dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE
Excellencia en Educación Tecnológica
“Tecnología Propia e Independencia Económica”

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN**

DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Expediente



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA



CONSTANCIA

A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe, jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, HACE CONSTAR que la

C. MARIMAR CRUZ CRUZ

De acuerdo a documentación que existe en la Coordinación de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, se encuentra en trámites de titulación con el proyecto de tesis:

“Reconocimiento del antígeno Thomsen- Friedenreich (agTf) mediante el empleo de lectinas presentes en *Lactarius volemus*”

Se extiende la presente a petición de la interesada y para los fines que le convengan, en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax, a los 5 días del mes de septiembre de dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Tecnología Propia e Independencia Económica"



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Expediente





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Oaxaca
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico

CONSTANCIA

A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe, jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, HACE CONSTAR que la

C. EDIBETH JOSÉ CRUZ

De acuerdo a documentación que existe en la Coordinación de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, se encuentra en trámites de titulación con el proyecto de tesis:

**“Potencial nutricional, medicinal y biotecnológico de los hongos silvestres
de Santa Cruz Itundujia, Putla, Oaxaca”**

Se extiende la presente a petición de la interesada y para los fines que le convengan, en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax, a los 5 días del mes de septiembre de dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE

*Excelesencia en Educación Tecnológica
“Tecnología Propia e Independencia Económica”*

DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN**

C.c.p. Expediente



Carretera Int. México - Puerto Viejo No. 125, Basecamp del Instituto Tecnológico, C.F.
64000 Oaxaca, Oaxaca, México

www.oaxaca-tecnol.mx



2023
Francisco
VILLA

ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA TIP. EN PROCESO. ACEPTADO CON CORRECCIONES

Propiedades antioxidantes y contenido fenólico hongos silvestres comestibles

Monserrat Vargas-Ríos¹, Marco Antonio Sánchez-Medina¹, Iván Antonio García-Montalvo¹, Eduardo Pérez-Campos¹, Emilio Hernández-Bautista¹, María del Socorro Pina-Canseco², Margarito Martínez-Cruz¹, **Alma Dolores Pérez Santiago**^{1*}

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125, Esq. Calzada Tecnológico, Oaxaca 68030, México. Correo electrónico: *aperez_santiago@hotmail.com

²Centro de Investigación, Facultad de Medicina UNAM-UABJO, Facultad de Medicina y Cirugía, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

Resumen

Los hongos silvestres comestibles comúnmente llamados setas, son de gran importancia por su valor nutricional y/o medicinal. Al ser éstos el cuerpo fructífero de los hongos, tienen ciertas características físicas que los distinguen como son: el micelio, el sombrero, el pie y el himenio, además de esporas que les permiten su reproducción. Estos organismos han adquirido gran interés debido a que varios estudios revelan los beneficios de algunos metabolitos secundarios bioactivos que producen, entre los que destacan los compuestos fenólicos. El objetivo de esta revisión es describir las propiedades antioxidantes de hongos silvestres comestibles y de algunos cultivos in vitro, las cuales se deben principalmente a compuestos como los flavonoides, capaces de eliminar los radicales hidroxilos, los aniones superóxido y los radicales peroxi lipídicos. La capacidad antioxidante de los hongos se ha evaluado por diversas técnicas como la cuantificación de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, se ha determinado la actividad antioxidante total y la capacidad bloqueadora del radical libre DPPH. Es importante continuar con los estudios de los hongos silvestres comestibles y su aportación como alimentos funcionales, sus aplicaciones médicas y farmacológicas.

Palabras clave: Hongos silvestres comestibles, propiedades antioxidantes, polifenoles, flavonoides, alimentos funcionales

Antioxidant properties and phenolic content of edible wild mushrooms

Abstract

Edible wild mushrooms, commonly called mushrooms, are of great importance for their nutritional and/or medicinal value. Being the fruiting body of mushrooms, they have certain physical characteristics that distinguish them, such as: mycelium, cap, foot and hymenium, as well as spores that allow them to reproduce. These organisms have acquired great interest because several studies have revealed the benefits of some bioactive secondary metabolites they produce, among which phenolic compounds stand out. The aim of this review is to describe the antioxidant properties of edible wild mushrooms and some in vitro cultures, which are mainly due to phenolic compounds such as flavonoids, capable of scavenging hydroxyl radicals, superoxide anions and peroxy lipid

radicals. The antioxidant capacity of mushrooms has been evaluated by various techniques such as quantification of total phenolic compounds and total flavonoids, total antioxidant activity and DPPH free radical blocking capacity have been determined. It is important to continue with the studies of edible wild mushrooms and their contribution as functional foods, their medical and pharmacological applications.

Key words: Edible wild mushrooms, antioxidant properties, polyphenols, flavonoids, functional foods

Introducción

La inclusión del consumo de hongos comestibles es importante en nuestra dieta por su valor nutricional y para favorecer la salud, debido a la presencia de compuestos bioactivos con efectos aditivos y sinérgicos. En las últimas décadas los hongos se han considerado como alimentos funcionales y como una fuente médicamente eficiente en terapias contra el cáncer, antiviral, inmunopotenciadora y actividad hipolipidémica (Rathee *et al.*, 2012; López *et al.*, 2017). Sin embargo, se requieren estudios minuciosos de los diversos beneficios para la salud que los hongos proporcionan a los seres humanos y sus mecanismos de acción. La exploración de hongos silvestres comestibles y la identificación de sus componentes activos con un valor terapéutico potencial sigue siendo un desafío, por lo tanto, los hongos silvestres comestibles seguirán siendo el centro de atención más destacado de la investigación en la perspectiva futura (Rathee *et al.*, 2012). En los últimos años se ha estudiado la producción de compuestos fenólicos en algunas especies de hongos cultivados en medios no naturales, es decir, en el laboratorio. La fermentación sumergida de hongos ha recibido mucha atención como una alternativa prometedora para la producción eficiente de la biomasa de hongos medicinales y sus metabolitos activos (Tang *et al.*, 2007).

Hongos

El reino fungi, referido literalmente a los hongos, está formado por un grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares (Castro & Vega, 2017). Los hongos son organismos heterótrofos que son capaces de obtener energía a partir de sustancias orgánicas sintetizadas previamente por otros organismos. Las formas de vida de los hongos pueden ser saprófitas, parásitas y simbióticas. Los saprófitos al desarrollar todo su ciclo vital sobre materia orgánica inerte, pueden colonizar cualquier tipo de sustrato orgánico, en la tabla 1 se muestran ejemplos de hábitats de estos hongos; los hongos parásitos son los que se desarrollan sobre tejidos vivos y pueden ser facultativos si se desarrollan sobre materia orgánica muerta, de forma natural o en cultivos artificiales, en cambio, los hongos que no se desarrollan en medios artificiales reciben el nombre de parásitos obligados (Cuesta, 2003); los hongos simbióticos se unen a otros organismos favoreciéndose el uno del otro, donde generalmente la planta protege contra enfermedades, desecación, restricción de nutrientes y el hongo proporciona minerales, vitaminas, carbohidratos y agua, en la figura 1 se puede apreciar su clasificación (Heredia, 2020).

Tabla 1.

Figura 1.

Los hongos que forman setas se reproducen mediante esporas que pueden ser sexuales o asexuales (García, 1995). Los ascomicetos contienen sus esporas en el interior de células que tienen forma

de botella llamadas ascas (ver figura 2), en la etapa madura las esporas son lanzadas fuera al abrirse el asca por su extremo superior. Los hongos que forman sus esporas en pequeñas prolongaciones exteriores de unas células llamadas basidios, se conocen como basidiomicetos (ver figura 2). Algunos géneros que pertenecen a basidiomicetos son *Amanita*, *Boletus*, *Pleurotus*, *Lentinus Cantharellus cibarius* y *Lycoperdon*; también hay otros basidiomicetos que no tienen forma de seta y muchos crecen sobre la madera, ejemplos son los de los géneros *Bjerkandera* y *Trametes*.

Figura 2.

Hongos silvestres comestibles

Los hongos silvestres comestibles pertenecen a especies con carpóforos grandes y visibles, también llamados setas, estas son el cuerpo fructífero de un hongo (Boa, 2004; Miralles, 2005). No todos los hongos presentan estas estructuras, las setas corresponden a formas fúngicas evolucionadas, con organización anatómica y compleja (Miralles, 2005). Las partes de un hongo comestible se ilustran en la figura 3. La zona fértil de la seta se llama himenio, que para una seta de sombrero puede componerse de láminas, tubos o agujas. En estas zonas hay unas células reproductivas llamadas basidios, encargadas de producir las esporas (Castro & Vega, 2017).

Figura 3.

Algunos géneros que pertenecen a basidiomicetos son: *Amanita*, *Boletus*, *Pleurotus*, *Lentinus Cantharellus cibarius* y *Lycoperdon*; también hay otros basidiomicetos que no tienen forma de seta y muchos crecen sobre la madera, ejemplos son los de los géneros *Bjerkandera* y *Trametes*. En la figura 4 se muestran ejemplos de hongos basidiomicetos característicos de cada género anteriormente mencionado (García, 2006).

Figura 4.

Los hongos comestibles silvestres poseen bajos contenidos de grasas, presentan altos contenidos de proteínas, carbohidratos, minerales y energía. Adicionalmente tienen gran cantidad de agua (70 a 90%), como se ha reportado para *Lactarius volemus*, *Cantharellus cibarius* y *Hydnum repandum* (Colak *et al.*, 2009). Heleno *et al.*, 2015 estudiaron tres especies de hongos: *Boletus edulis*, *Lentinus edodes* y *Xerocomus badius*, analizaron sus compuestos fenólicos y tocoferoles y su actividad antioxidante; ellos demostraron que los carbohidratos estaban presentes en abundancia en este tipo de hongos, seguidos de las proteínas, las cenizas y los ácidos grasos (los ácidos grasos poliinsaturados eran más altos que los ácidos grasos saturados).

Estos hongos se consideran una rica fuente de fitonutrientes como polisacáridos, fibras dietéticas y otros micronutrientes, además de varios aminoácidos esenciales, que son componentes básicos de proteínas vitales. En general, los hongos ofrecen una amplia gama de beneficios para la salud con un amplio espectro de propiedades farmacológicas, que incluyen antidiabéticos, antioxidantes, antivirales, antibacterianos, osteoprotectores, nefroprotectores, hepatoprotectores, etc. Tanto los hongos silvestres comestibles como los medicinales poseen actividades terapéuticas y biológicas, que son evidentes a partir de los ensayos *in vivo* e *in vitro* (Anusiya *et al.*, 2021). Además, producen varias clases de metabolitos secundarios con actividad biológica, dentro de los que se han

reportado: polisacáridos, triterpenoides, polifenoles, nucleótidos, esteroides, esteroides, fibra dietaria, péptidos, proteínas, alcoholes y minerales (López *et al.*, 2017). Sin embargo, los compuestos fenólicos han adquirido mayor relevancia por su relación con la capacidad antioxidante, como la reportada en algunas plantas (Rochin-Medina *et al.*, 2021).

Para algunos investigadores resulta conveniente estudiar macromicetos de regiones del mundo con tendencia ficófga. En México se han estudiado especies como *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Ramaria sp.* (López-Vázquez *et al.* 2017), *Hygrophorus sordidus*, *Agaricus arvensis*, *Boletus frostii*, *Ramaria flava*, *Lycoperdon perlatum*, *Boletus luridus*, *Hypomyces lactiflorum* (Yahia *et al.* 2017), *Boletus edulis*, *Lactarius indigo* (López-Vázquez *et al.* 2017; Yahia *et al.* 2017), *Amanita rubescens*, *Flammulina mexicana*, *Floccularia aff. luteovirens*, *Gyromitra sp.*, *Morchella sp.*, y *Turbinellus floccosus*, sin embargo, de las 450 especies de hongos comestibles solo alrededor del 3.5 % han sido estudiadas (González-Morales, Ribas-Aparicio & Burrola-Aguilar, 2021). Dentro de los metabolitos secundarios producidos se encuentran los alcaloides (indólicos, quinolinicos, isoquinolinicos, y derivados del tropano), generados por los hongos conocidos como psilocíbicos. *Psilocybe cubensis* es un psilocibio, que es conocido como alucinógeno gracias a la producción de sustancias derivadas del anillo indol (norbacocistina, baeocistina, psilocibina y la psilocina (Salvago, 2012). La psilocibina tiene efectos positivos sobre la ansiedad en pacientes con cáncer terminal (Baggott *et al.*, 2015).

La especie *Ganoderma lucidum* es un hongo saprófito cuyo micelio vive en la madera muerta de árboles y sus carpóforos se encuentran en la base de sus troncos (Ávila López & Yánez Moretta, 2020). Es una de las especies más estudiadas, por sus compuestos bioactivos y propiedades con gran potencial en la industria farmacéutica, además de comercialización global (Rodríguez-Farinango *et al.*, 2021). Se ha comercializado como café enriquecido con extractos del hongo, con propiedades antiinflamatorias y antitumorales (Cano-Estrada & Romero-Bautista, 2016). Estudios recientes han demostrado el potencial farmacológico de esta especie en el tratamiento de diabetes, inflamación, epilepsia, neurodegeneración, cáncer, ansiedad, sedación, enfermedades cardíacas, depresión, enfermedades hepáticas y trastornos inmunológicos. El uso de *G. lucidum* en alimentos/nutrición, tratamientos médicos y cosméticos, así como ingrediente activo en numerosos suplementos disponibles en el mercado aumenta regularmente de acuerdo al número de ensayos clínicos/patentes realizados (Ahmad *et al.*, 2021). Se han reportado valores EC_{50} de la actividad antioxidante para *G. lucidum*, de 7,07 mg/ml; para el poder reductor se encontraron valores de EC_{50} de 0,67 mg/ml (Kozarski, ET AL., 2011). En un estudio se encontró que los alcaloides son los metabolitos secundarios más representativos en el extracto del hongo *G. lucidum* aunque no se cuantificaron (Aguilar, Bertot & Pita, 2021).

Se ha reportado que al menos 4 hongos estudiados presentan la mayoría de las propiedades funcionales de interés: *Agaricus bisporus*, *Agaricus blazei*, *Ganoderma lucidum* y *Lentinula edodes* (Fernández, Haza & Morales, 2020). La producción del champiñón (*Agaricus bisporus*) en México asciende a 40000 toneladas, el shiitake (*Lentinula edodes*) en Asia también tiene un gran valor comercial (Cano-Estrada & Romero-Bautista, 2016). En los últimos años se ha reportado una creciente demanda de los productos derivados de hongos comestibles con propósitos terapéuticos para prevención de enfermedades en Europa, Norteamérica, el Sureste de Asia y Latinoamérica, a través de suplementos alimenticios, cápsulas, tabletas y bebidas tonificantes con compuestos bioactivos o extractos fúngicos purificados. En el Sureste de Asia, sobre todo en China

y Japón, los hongos comestibles *Lentinula*, *Ganoderma*, *Grifola*, *Pleurotus* se utilizan para desarrollar alimentos funcionales diversos (Carrera, 2010).

Compuestos fenólicos

Se generan en el metabolismo secundario y poseen por lo menos un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático que es un grupo fenol (Ver figura 5). El enlace fuerte entre el oxígeno del grupo hidroxilo y el anillo fenilo propicia que los fenoles se comporten como ácidos, mientras que el enlace relativamente débil entre el oxígeno y el hidrógeno ocasiona la disociación de un protón que puede ser liberado al medio, originando un ión fenolato con carga negativa (Ringuelet & Viña, 2013).

Figura 5.

En general los compuestos fenólicos se encuentran en forma de ésteres, son solubles en agua y en disolventes orgánicos polares, se caracterizan por anillos aromáticos que tienen un grupo hidroxilo fenólico (Mello & Santos, 2001; Verpoorte & Alfermann, 2000). En la tabla II, se puede observar que los compuestos fenólicos son los principales metabolitos secundarios a los cuales se les atribuye la actividad antioxidante como efecto medicinal que tienen algunos hongos silvestres comestibles.

Tabla II.

Los flavonoides son compuestos polifenólicos producto del metabolismo secundario, y son de los más abundantes. El esqueleto común de todos los flavonoides consta de dos anillos de seis átomos de carbono (designados con las letras A y B) unidos mediante un puente de tres átomos de carbono que por lo común forma un tercer ciclo (anillo C) (Figura 6). Dependiendo del grado de oxidación del anillo central, se obtienen las diferentes estructuras de cada compuesto flavonoide en particular. Dentro de las principales clases de flavonoides se encuentran: chalconas, flavanonas, flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavan-3-oles y antocianidinas (Figura 8) (Ringuelet & Viña 2013). Un tipo de flavonoide de gran interés es la quercetina, se ha demostrado que inhibe el crecimiento de células de cáncer de ovario metastásico humano al regular a la baja la expresión de moléculas antiapoptóticas como Bcl-2, Bcl-xL, además regula al alza la expresión de moléculas proapoptóticas como caspasa-3, caspasa-9, Bid, Bad, Bax y citocromo c. La quercetina también posee efectos antimetastásicos en las células de cáncer gástrico a través de la interrupción de la formación de plasmina por la uroquinasa. Además de la quercetina, la fisetina, luteolina y kaempferol tienen efectos inmunomoduladores específicos que podrían estar relacionados con sus actividades antialérgicas y efectos beneficiosos contra enfermedades autoinmunes (Kikuchi, 2019). Por esta razón, es de suma importancia encontrar este flavonoide presente en los hongos silvestres comestibles. Se encontraron flavonoides (quercetina) en los hidrolizados de proteínas de *Pleurotus ostreatus* (Lin, 2014).

Figura 6.

Figura 7.

Los flavonoides tienen funciones diversas, por ejemplo, purifican la sangre, fortalecen el sistema inmunológico, controlan el nivel de colesterol, regulan la presión arterial, suprimen la secreción de

ácido, previenen la formación de trombos, actúan como antibacterianos, antifúngicos, antialérgicos y anticancerígenos, promueven el metabolismo y la actividad vasodilatadora, etc. Los flavonoides son potentes antioxidantes, capaces de eliminar los radicales hidroxilo, los aniones superóxido y los radicales peroxi lipídicos (Bulugahapitiya, 2013).

La capacidad antioxidante de un hongo puede evaluarse por diversas técnicas cuantificando ciertos compuestos como compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, además se puede cuantificar la actividad antioxidante total y la capacidad bloqueadora del radical libre DPPH. Se ha demostrado que estos datos pueden ser muy variables, según la especie estudiada y el área de recolección (Ver tabla III). En la tabla II se puede apreciar el contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales de algunas especies estudiadas. Mares, 2014 analizó varias especies de hongos comestibles, de las cuales encontró valores de contenido fenólico total de hasta 4.145 mg EAG/mg extracto, y de flavonoides de hasta 2.76 mgEQ/g extracto. Gursoy *et al.*, (2010) encontró valores de contenido fenólico total de hasta 10.51 mg EAG/mg extracto en una especie fúngica de Turquía.

Tabla III.

Cultivos de hongos in vitro

Los hongos macromicetos pueden ser utilizados en procesos biotecnológicos propagando su crecimiento de manera controlada mediante fermentación sumergida y en medio sólido, para obtener metabolitos de interés. Por ello es importante monitorear su crecimiento para controlar los procesos fermentativos (Pérez *et al.*, 2017). Actualmente, muchos hongos medicinales que se comercializan a gran escala se obtienen principalmente a través del cultivo en el campo del cuerpo fructífero. La fermentación sumergida es una opción estudiada en los últimos años no sólo para la producción de la biomasa si no para favorecer las condiciones en las que estos producen ciertos metabolitos secundarios bioactivos de interés (Tang *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que la viscosidad del cultivo es un factor a controlar ya que limita la oxigenación del medio, provocando la muerte del micelio, por otra parte la producción de fenoles totales se maximiza cuando la concentración de glucosa decrece a lo largo del tiempo. Se ha estudiado la cinética y extracción de compuestos fenólicos de *Pleurotus ostreatus* mediante fermentación sumergida, después de 72 h observaron que comenzó a aumentar la producción de los polifenoles de forma exponencial (Ferrer *et al.*, 2019). Las especies del género *Pleurotus*, pueden ser obtenidas en diferentes sustratos y condiciones climáticas, lo cual permite la optimización de parámetros para la producción de biomasa y metabolitos de interés. Actualmente, los estudios realizados con este género muestran su variedad micoquímica, por lo que esto podría ser utilizado para la obtención de bioproductos con gran aplicación en la industria médico-farmacéutica. Algunos investigadores han observado como *Pleurotus ostreatus* cultivada en pulpa de café es capaz de degradar la cafeína contenida en el sustrato y aumentar el contenido de este alcaloide en los cuerpos fructíferos de la especie, a medida que la seta crece, esta forma de cultivo permite el crecimiento de cuerpos fructíferos para ser utilizados como alimento funcional, nutracéuticos y nutricoséuticos eliminando a su vez problemas de contaminación ambiental que provocan los subproductos agroindustriales de naturaleza lignocelulósica (Beltrán-Delgado *et al.*, 2020). Se han encontrado altas concentraciones de los flavonoides rutina (31,20 mg/100 g) y crizina (40,00 mg/100 g) en el hongo *P. ostreatus*, además de una cantidad perceptible de fenoles totales (5.49 mg/100 g), ácido ascórbico (25,00 mg/100 g), α -tocoferol (30.3 mg/100 g), β -caroteno (3,10 mg/100 g) (Jayakumar, Thomas & Geraldine, 2009). Esta actividad productiva puede ser redituable y sustentable, ya que se pueden

obtener gran variedad de metabolitos sin necesidad de depender de las temporadas de lluvias para obtener carporos, además que se involucra a las comunidades donde se producen los hongos de interés

Estudios hechos con *Trametes máxima* mostraron un crecimiento máximo a los 12 días en fermentación sumergida; la cepa de *Pleurotus ostreatus* mostró un mejor crecimiento en fermentación en medio sólido. La determinación de biomasa fúngica en ambos tipos de fermentaciones mediante la cuantificación de quitina, resulta un método rápido, sensible y confiable, ya que muestra una fuerte correlación con la determinación gravimétrica de biomasa (peso seco) como medida directa (Pérez *et al.*, 2017).

Radicales libres y antioxidantes

En la célula el metabolismo del oxígeno molecular propicia la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que se pueden ver en la figura 9, por ejemplo, el peróxido de hidrógeno, el radical hidroxilo y el radical superóxido; éstos pueden ser tóxicos al reaccionar con macromoléculas celulares. (Ghezzi *et al.*, 2017). El estrés oxidativo resulta en daño molecular y celular (Tan, 2018); puede conducir a un deterioro fisiológico y una mayor incidencia de enfermedades y muertes relacionadas con la edad (Buffenstein *et al.*, 2008). Por este motivo, los organismos han desarrollado sistemas de defensa antioxidantes para eliminar las ROS (Ghezzi *et al.*, 2017).

Figura 9.

El estrés oxidativo está relacionado con la inestabilidad genómica como resultado del daño del ADN y la acumulación de enlaces cruzados glicosilados durante el daño de la proteína que puede dar como resultado la patogénesis asociada con la enfermedad cardiovascular y neurodegenerativa. Las ROS son producidas endógenamente en condiciones fisiológicas normales; se producen continuamente a lo largo de nuestra vida (Buffenstein *et al.*, 2008). La evidencia de investigación emergente ha sugerido que los antioxidantes pueden controlar la auto-oxidación al interrumpir la propagación o inhibir la formación de radicales libres y posteriormente reducir el estrés oxidativo, mejorar la función inmunológica y aumentar la longevidad saludable (Tan, 2018).

Capacidad antioxidante

Existen varias técnicas espectrofotométricas para evaluar la capacidad antioxidante de hongos silvestres comestibles, por ejemplo el ensayo sobre el radical DPPH, es útil para predecir las actividades antioxidantes al inhibir la oxidación de lípidos. Por lo tanto, la eliminación de radicales DPPH determina la medida en que se eliminan los radicales libres. Se usa popularmente debido al tiempo comparativamente corto que se necesita para llevar a cabo el análisis (Mwangi,*et al.*, 2022). Se basa en la habilidad de los antioxidantes para reducir el 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) lo cual se evidencia por la disminución de la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm (Brand Williams *et al.*, 1995).

El contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, que están relacionados con la capacidad antioxidante (Mwangi,*et al.*, 2022; Robaszkiewicz *et al.*, 2010), pueden determinarse siguiendo el método propuesto por Singleton *et al.* (1999). Este se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu (mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico), a pH básico, dando lugar a un complejo de color azul susceptible de ser determinado espectrofotométricamente. El método de Folin-Ciocalteu es conveniente, simple,

requiere solo de equipos comunes y ha producido una gran cantidad de datos comparables. Este método se sigue utilizando en la actualidad; por ejemplo, con este método se determinó la actividad quelante de hierro de algunas plantas medicinales (Ebrahimzadeh *et al.* 2008). Para determinar el contenido de flavonoides se sigue el método descrito por Ebrahimzadeh *et al.* (2008). Este método está basado en la reacción de los iones aluminio con los flavonoides, en medio alcalino, con la formación de un complejo que absorbe luz a 415 nm. Un estudio realizado de extractos metanólicos de *Ramaria flava*, *Rhizopogon roseolus* y *Russula delica* analizó la actividad antioxidante en diferentes sistemas de prueba incluidos 1.1 difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), eliminación de radicales libres, poder reductor y quelación de metales (Gursoy *et al.*, 2010). Un estudio reciente que se hizo sobre hongos comestibles de la india arroja los datos de la tabla IV de fenoles totales, flavonoides, poder reductor y DPPH (Mwangi,*et al.*, 2022).

Tabla IV

Conclusiones

Los hongos se han estudiado ampliamente debido a sus propiedades medicinales, los cuales se complementan como un producto dietético importante. Los metabolitos secundarios y los compuestos fenólicos bioactivos presentes en los hongos imparten un amplio espectro de propiedades médicas y farmacológicas que se han establecido a través de varios estudios in vitro e in vivo. La fermentación sumergida es una alternativa favorable para la obtención de compuestos bioactivos en condiciones de proceso controladas.

Referencias

Aguilar, Y. M., Bertot, R. R., & Pita, G. B. (2021). Análisis de los metabolitos secundarios del hongo *Ganoderma lucidum*. *Revista de Producción Animal*, 33(1).

Ahmad, R., Riaz, M., Khan, A., Aljamea, A., Algheryafi, M., Sewaket, D., & Alqathama, A. (2021). *Ganoderma lucidum* (Reishi) an edible mushroom; a comprehensive and critical review of its nutritional, cosmeceutical, mycochemical, pharmacological, clinical, and toxicological properties. *Phytotherapy Research*, 35(11), 6030-6062. DOI: 10.1002/ptr.7215

Anusiya, G., Gowthama Prabu, U., Yamini, N. V., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Bharath, G., & Banat, F. (2021). A review of the therapeutic and biological effects of edible and wild mushrooms. *Bioengineered*, 12(2), 11239-11268. DOI: 10.1080/21655979.2021.2001183

Ávila López, A., & Yáñez Moretta, P. (2020). Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* (*Ganodermataceae*), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos. *Ciencia Digital*, 4(3), 210–228. DOI: 10.33262/cienciadigital.v4i3.1324

Babu, D. R., & Rao, G. N. (2013). Antioxidant properties and electrochemical behavior of cultivated commercial Indian edible mushrooms. *Journal of food science and technology*, 50(2), 301-308.

Baggott, M. J., Kirkpatrick, M. G., Bedi, G., & de Wit, H. (2015). Intimate insight: MDMA changes how people talk about significant others. *Journal of Psychopharmacology*, 29(6), 669-677.

Barros, L., Venturini, B. A., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. (2008). Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(10), 3856-3862. DOI: 10.1021/jf8003114

Beltrán-Delgado, Y., Morris-Quevedo, H., Llauradó-Maury, G., Bermúdez-Savón, R. C., & García-Oduardo, N. (2020). Procedimientos para la producción de setas del género *Pleurotus* con potencial aplicación farmacológica. *Revista Cubana de Química*, 32(2), 245-261.

Boa, E. (2004). Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población, No. 17. FAO, Roma. 161 p.

Buffenstein, R., Edrey, Y. H., Yang, T., & Mele, J. (2008). The oxidative stress theory of aging: embattled or invincible? Insights from non-traditional model organisms. *Age*, 30(2), 99-109. DOI: 10.1007/s11357-008-9058-z

Bulugahapitiya, V. P. (2013). Plants based natural products extraction, isolation and phytochemical screening methods (1ra. ed.). Matara, Sri Lanka: Indika Graphics.

Cano-Estrada, A., & Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 75-80.

Carrera, D. M. (2010). Importancia de la producción de hongos comestibles, funcionales y medicinales en la alimentación y el desarrollo nacional. *Agro Productividad*, 3(3).

Castro, Cachinero, F. J., & Vega, A. M. (2017). *Recolección de setas silvestres*. Ediciones Paraninfo, SA.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T3o7DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Castro+Cachinero,+F.+J.,+%26+Vega,+A.+M.+\(2017\).+Recolecci%C3%B3n+de+setas+silvestres.+Ediciones+Paraninfo,+SA.+&ots=M8eQOXgtKC&sig=AmJrVW7BPcWxyv7iZQhYuRzf7o#v=onepage&q=Castro%20Cachinero%2C%20F.%20J.%2C%20%26%20Vega%2C%20A.%20M.%20\(2017\).%20Recolecci%C3%B3n%20de%20setas%20silvestres.%20Ediciones%20Paraninfo%2C%20SA.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T3o7DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Castro+Cachinero,+F.+J.,+%26+Vega,+A.+M.+(2017).+Recolecci%C3%B3n+de+setas+silvestres.+Ediciones+Paraninfo,+SA.+&ots=M8eQOXgtKC&sig=AmJrVW7BPcWxyv7iZQhYuRzf7o#v=onepage&q=Castro%20Cachinero%2C%20F.%20J.%2C%20%26%20Vega%2C%20A.%20M.%20(2017).%20Recolecci%C3%B3n%20de%20setas%20silvestres.%20Ediciones%20Paraninfo%2C%20SA.&f=false)

Cepero de García, M. C. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pS2RDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA48&dq=caracter%C3%ADsticas+de+los+hongos&ots=SVvQWNYWKZ&sig=1v0GjwFlJWmJ7UP8cVuQ6OUx34#v=onepage&q=caracter%C3%ADsticas%20de%20los%20hongos&f=false>

Cuesta, J. (2003). Ecología de los hongos. *Foresta*, 23, 22-34.

Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F., & Bekhradnia, A.R. (2008). Iron quelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *65 African Journal of Biotechnology*, 7, 3188-3192.

Ferrer-Romero, J. C., Mas-Diego, S. M., Beltrán-Delgado, Y., Morris-Quevedo, H. J., & Díaz-Fernández, U. (2019). Estudio cinético de la producción de biomasa y compuestos fenólicos por *Pleurotus ostreatus* en fase sumergida. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 16-30.

García Rollán, M. (2006). Manual para buscar setas. Ediciones Mundi prensa.

García, V. (1995). Introducción a la Microbiología. San José, CR: EUNED.

Ghezzi, P., Jaquet, V., Marcucci, F., & Schmidt, H. H. (2017). The oxidative stress theory of disease: levels of evidence and epistemological aspects. *British journal of pharmacology*, 174(12), 1784-1796.

González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R. M., & Burrola-Aguilar, C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia fungorum*, 52. DOI: 10.33885/sf.2021.52.1410

Gursoy, N., Sarikurkcü, C., Tepe, B., & Solak, M. H. (2010). Evaluation of antioxidant activities of 3 edible mushrooms: *Ramaria flava* (Schaeff.: Fr.) Quél., *Rhizopogon roseolus* (Corda) TM Fries., and *Russula delica* Fr. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 691-696.

Heleno, S. A., Ferreira, R. C., Antonio, A. L., Queiroz, M. J. R., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2015). Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland. *Food bioscience*, 11, 48-55. DOI: 10.1016/j.fbio.2015.04.006

Heredia-Abarca, G. P. (2020). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrocencias*, 13(2).

Jayakumar, T., Thomas, P. A., & Geraldine, P. (2009). In-vitro antioxidant activities of an ethanolic extract of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(2), 228-234.

Kikuchi, H., Yuan, B., Hu, X., & Okazaki, M. (2019). Chemopreventive and anticancer activity of flavonoids and its possibility for clinical use by combining with conventional chemotherapeutic agents. *American journal of cancer research*, 9(8), 1517.

Lin, J. T., Liu, C. W., Chen, Y. C., Hu, C. C., Juang, L. D., Shiesh, C. C., & Yang, D. J. (2014). Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory properties for ethanolic extracts from *Pleurotus eryngii* fruiting bodies harvested at different time. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 374-382.

López, J. M. S., Saldaña, M. C. M., Camacho, R. R., Morales, R. M. C., Cardoso, M. L. S., & Lara, F. G. (2017). Capacidad antioxidante y caracterización fitoquímica de extractos etanólicos de huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*) crudo y cocido. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 48(3), 37-47. ISSN: 1870-0195

López-Vázquez, E., Prieto-García, F., Gayosso-Canales, M., Sánchez, E. O., & Ibarra, J. V. (2017). Phenolics acids, flavonoids, ascorbic acid, b-glucans and antioxidant activity in Mexican wild edible mushrooms. *Italian Journal of Food Science*, 29(4). DOI: 10.14674/IJFS-838

Mares, Quiñones, M. D. (2014). Análisis de componentes antioxidantes en hongos silvestres comestibles consumidos en el salto, pueblo nuevo, Durango (Doctoral dissertation)

Mello, J. P. C., Santos, S. C. (2001). Em Farmacognosia: da planta ao medicamento; Simões, C. M. O.; Schenckel, E. P., orgs.; Ed. UFSC: Porto Alegre; 3ª ed.

Miralles, Bellver, L. (2005). agentes medioambientales. Mad. S. L. Sevilla España. 1ª ed. <https://books.google.com.mx/books?id=-1MW1wEH3U0C&pg=PA6&lpg=PA6&dq=miralles+bellver+lourdes.+2005.+agentes+medioambientales.+sevilla+espa%C3%B1a&source=bl&ots=AZG9qhy9dI&sig=ACfU3U3zncivYzlj0dxVnwIM1kkDxq9s7g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjKitSAxMP1AhUcJ0QIHVpID58Q6AF6BAgIEAM#v=onepage&q=hongos&f=false>

Mwangi, R. W., Macharia, J. M., Wagara, I. N., & Bence, R. L. (2022). The antioxidant potential of different edible and medicinal mushrooms. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 147, 112621. DOI: 10.1016/j.biopha.2022.112621

Pérez, S. R., Arone, M. C., Calzadillo, J. S., Rodríguez, I. A., & Díaz, M. S. (2017). Determinación de biomasa fúngica y su utilidad en procesos biotecnológicos. *Afinidad*, 74(577).

Plazas Gonzalez, E. A. (2017). Tamizaje fitoquímico y actividad antibacteriana in vitro de extractos y fracciones de tres especies colombianas del género *Hypericum*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1), 0-0.

Quintero-Cabello, K. P., Lugo-Flores, M. A., Rivera-Palafox, P., Silva-Espinoza, B. A., González-Aguilar, G. A., Esqueda, M., ... & Ayala-Zavala, J. F. (2021). Antioxidant properties and industrial uses of edible polyporales. *Journal of Fungi*, 7(3), 196. DOI: 10.3390/jof7030196

Rathee, S., Rathee, D., Rathee, D., Kumar, V., & Rathee, P. (2012). Mushrooms as therapeutic agents. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22(2), 459-474. DOI: 10.1590/S0102-695X2011005000195

Ringuelet, J. A., & Viña, S. Z. (2013). *Productos naturales vegetales*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Robaszekiewicz, A., Bartosz, G., Ławrynowicz, M., & Soszyński, M. (2010). The Role of Polyphenols, β -Carotene, and Lycopene in the Antioxidative Action of the Extracts of Dried, Edible Mushrooms. *Journal of nutrition and metabolism*, 2010. DOI: 10.1155/2010/173274

Rodríguez-Farinango, C., Pineda-Insuasti, J., Revelo, D. A. B., Ariel, F., Puetate, M., & Soto, C. A. P. (2021). Producción de *Ganoderma lucidum* y su potencial medicinal: una revisión. *Revista Biorrefinería Vol*, 4(4).

Salvago, R. M. (2012). *Intoxicaciones por setas: Toxicología alimentaria*. Ediciones Díaz de Santos.

Tan, B. L., Norhaizan, M. E., Liew, W. P. P., & Sulaiman Rahman, H. (2018). Antioxidant and oxidative stress: a mutual interplay in age-related diseases. *Frontiers in pharmacology*, 9, 1162.

Tang, Y. J., Zhu, L. W., Li, H. M., & Li, D. S. (2007). Submerged Culture of Mushrooms in Bioreactors--Challenges, Current State-of-the-Art, and Future Prospects. *Food Technology & Biotechnology*, 45(3). ISSN 1330-9862

Verpoorte, R., & Alfermann, A. W. (Eds.). (2000). *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. Springer Science & Business Media.

Yahia, E. M., Gutiérrez-Orozco, F., & Moreno-Pérez, M. A. (2017). Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 226, 14-22. DOI: 10.1016/j. foodchem.2017.01.044

Tabla 1. Tipos de hábitats de hongos saprófitos (Cuesta, 2003).

Hábitat	Descripción del hábitat / especies que se desarrollan ahí
Crecen sobre la madera o sus restos	Tronco recién apeado, podría ser infectado por parásitos facultativos (<i>Fomitopsis pinicola</i> , <i>Fomes fomentarius</i> , <i>Phaeolus schweinitzii</i> , <i>Ganoderma pfeifferi</i> , <i>Oudemansiella mucida</i> , <i>Lentinus lepideus</i> , <i>Hericium clathroides</i> , <i>varias especies de Stereum</i>)
	Madera con pudrición inicial, se desarrollan especies del género <i>Mycena</i> , algunas de <i>Pluteus</i> , <i>Trametes</i> , <i>Pholiotas</i> , <i>Polyporus arcularius</i> , etc.
	Tronco que es puro aserrín y restos de procedentes de hojas y frutos son colonizados por: <i>Bolbitius vitellinus</i> , <i>Cyathus olla</i> , <i>Entoloma serrulatum</i> , <i>Stropharia aeruginosa</i> , etc.
Prados, pastizales y claros de bosque	Se desarrollan sobre el humus de la capa superficial del suelo, descomponiendo y alimentándose de la materia orgánica procedente de los restos de las raíces y de los tallos de las diferentes herbáceas.
	<i>Agaricus</i> (<i>A. campestris</i> , <i>A. macrosporus</i> , <i>A. arvensis</i> , <i>A. xanthodermus</i> , etc). <i>Hygrocybe</i> (<i>H. coccinea</i> , <i>H. conica</i> , <i>H. psitacina</i> , <i>H. punicea</i> , etc). Géneros de <i>Lycoperdon</i> , <i>Calvatia</i> y <i>Bovista</i> , y el caso singular de <i>Clathrus archeri</i>
Especies pirófitas	Se desarrollan sobre la materia orgánica carbonizada que queda después de un incendio forestal, o en los restos de las hogueras que se producen en los montes como consecuencia de los trabajos silvícolas o de actividades recreativas. <i>Pyronema omphalodes</i> , <i>Coltricia perennis</i> , <i>Pholiota carbonaria</i> , <i>Myxomphalia maura</i> , <i>Geopetalum carbonarius</i> , <i>Geopyxis carbonaria</i> , <i>Peziza praetervisa</i> , <i>P. violacea</i> , <i>Morchella conica</i> .

**Especies
fimícolas o
coprófilas**

Se desarrollan sobre excremento de herbívoros. Aunque a veces no crezcan directamente sobre el estiércol o un sustrato muy nitrificado y que anteriormente ha sido abonado con estiércol.

Coprinus (*C. niveus*, *C. ephemeroideus*, *C. cothurnatus*, etc.), *Panaeolus* (*P. sphinctrinus*, *P. semiovatus*), *Stropharia semiglobata*, *Cheylimena fimicola*, *Ascobolus furfuraceus*, *Pilobolus kleinii*

**Especies que se
desarrollan sobre
turberas**

Las turberas suelen localizarse en las lagunas de origen glaciar de los principales sistemas montañosos, el período en el que los hongos pueden desarrollarse y fructificar es corto porque hay heladas casi todo el año.

Especies del género *Sphagnum*, además de *Mycena sanguinolenta*, *Hypholoma elongatum*, *Inocybe lacera*, *Hygrocybe conica* var. *conicopalustris*, *H. coccineocrenata*, *Omphalina pyxidata*, *Marasmius androsaceus*, *Rickenella fibula*.

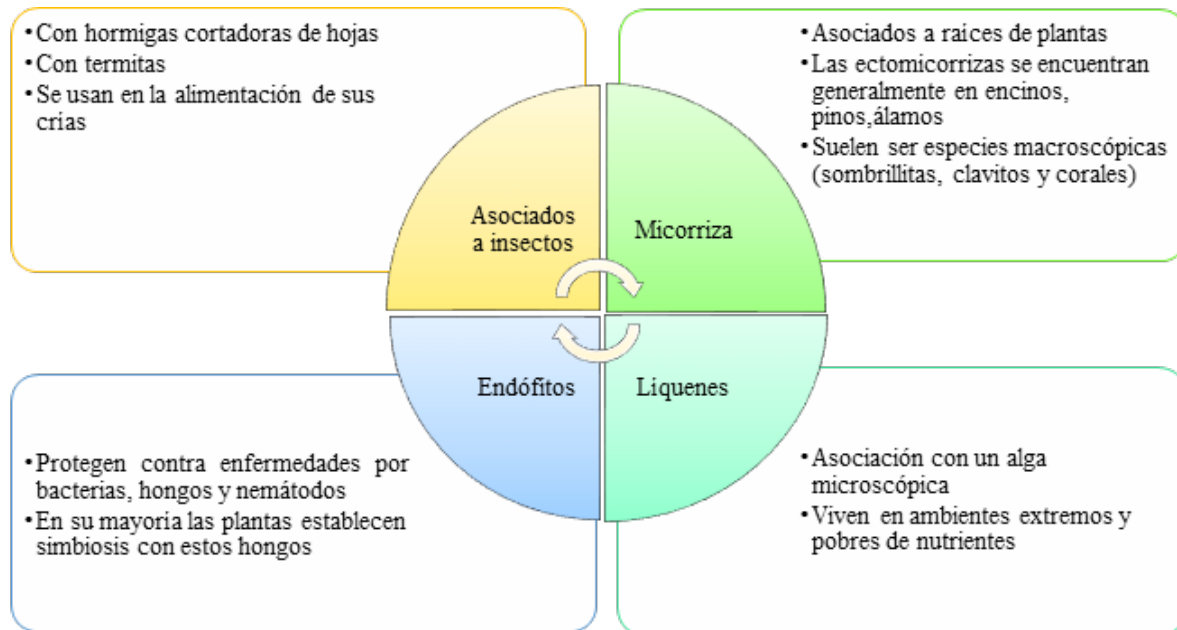


Figura 1. Clasificación de hongos simbióticos (Heredia, 2020).

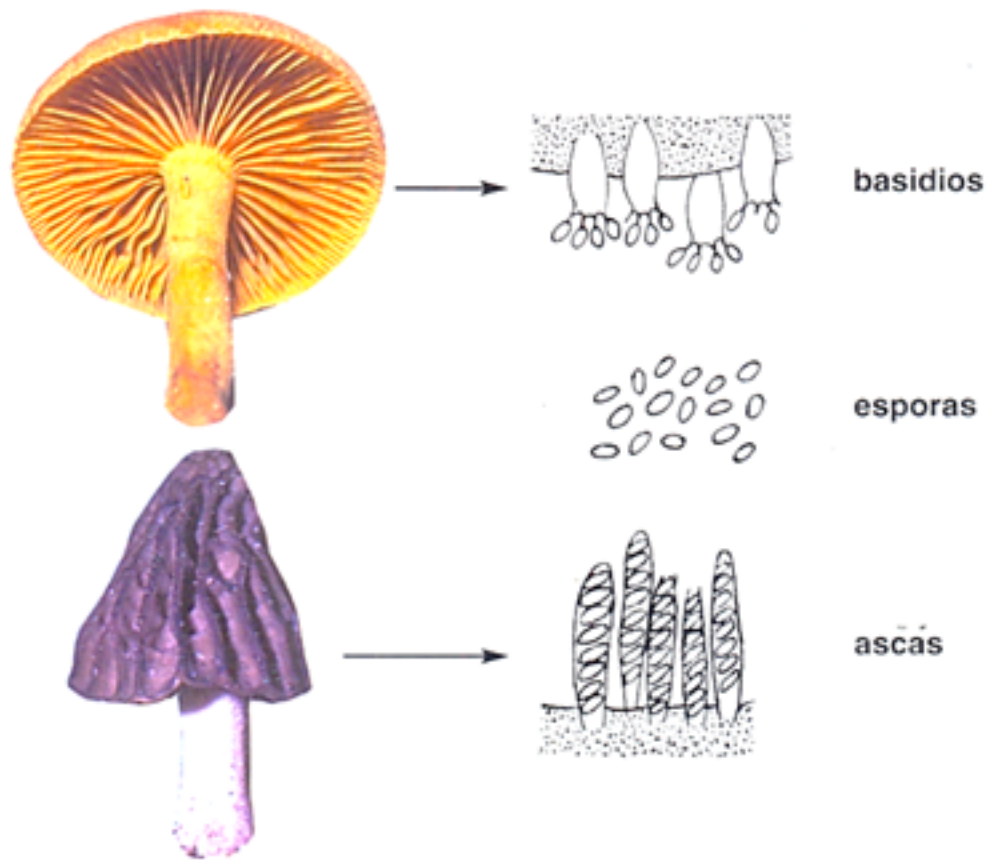


Figura 2. Origen de las esporas (García, 2006).

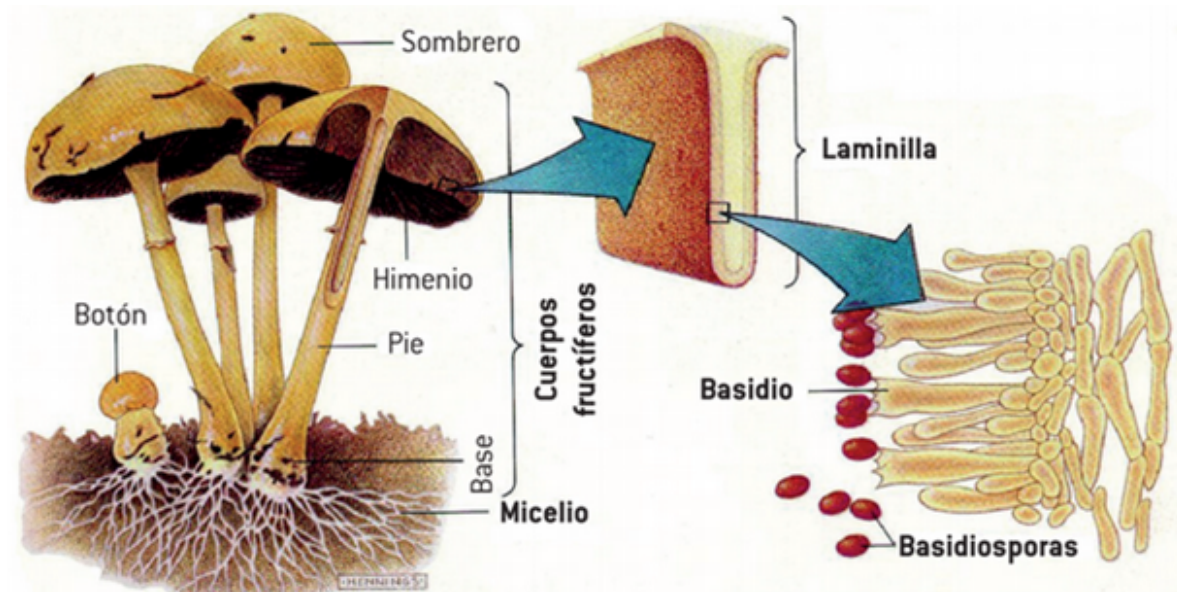


Figura 3. Partes de un hongo comestible (Castro & Vega, 2017)

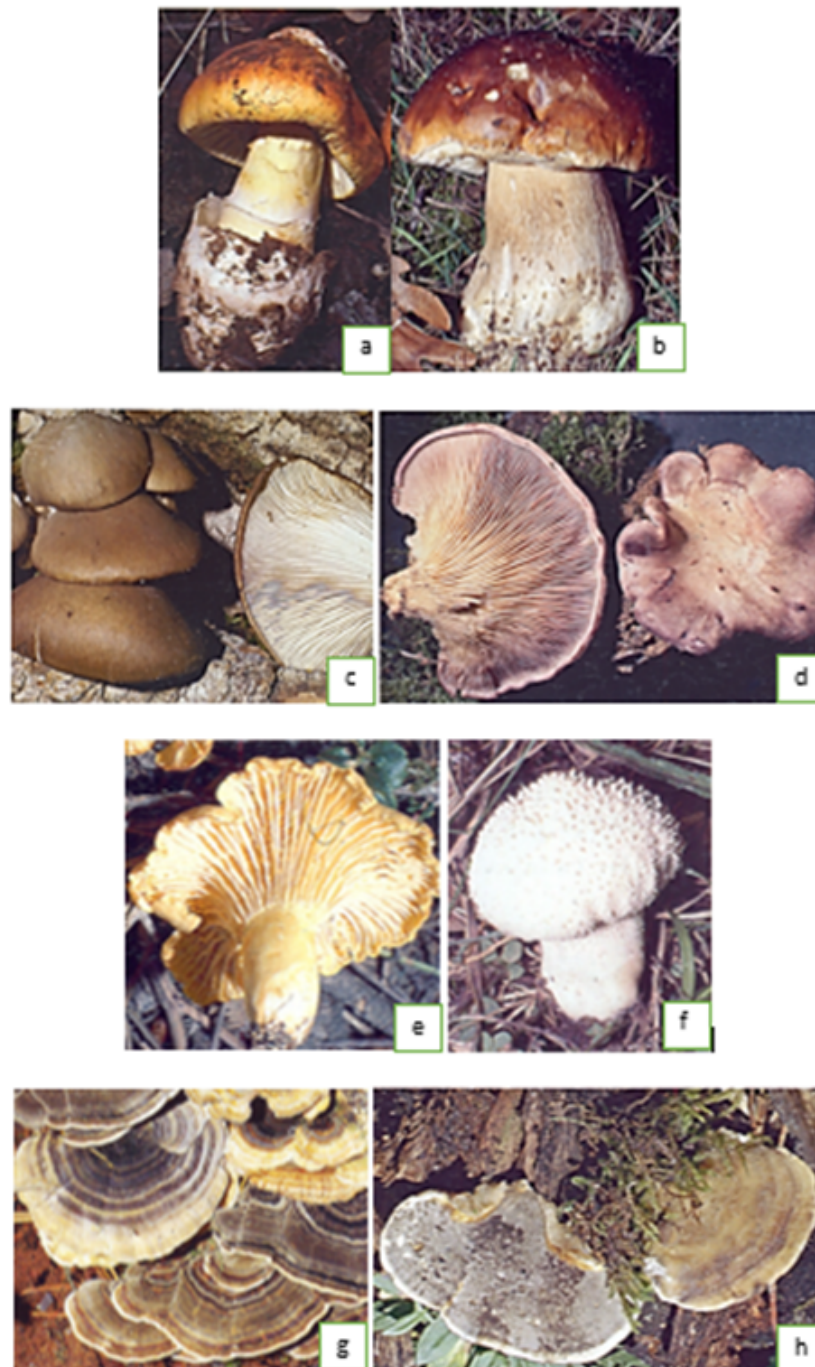


Figura 4. Especies de hongos basidiomicetos. a) *Amanita caesarea* b) *Boletus edulis* c) *Pleurotus ostreatus* d) *Lentinus conchatus* e) *Cantharellus cibarius* f) *Lycoperdon perlatum* g) *Bjerkandera adusta* h) *Trametes versicolor* (García, 2006).

Tabla II. Efecto medicinal y compuestos bioactivos de hongos silvestres comestibles.
Fuente: propia del autor

Especie de hongo (nombre popular)	Efecto medicinal	Compuestos bioactivos	Referencia
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñón)	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022; Robaszkiewicz <i>et al.</i> , 2010)
<i>Pleurotus florida</i>	Antioxidante	Compuestos fenólicos α -tocoferol Flavonoides	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022)
<i>Agaricus brasiliensis</i>	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022)
<i>Ganoderma applanatum</i>	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022)
<i>Calvatia gigantean</i>	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022)
<i>Boletus edulis</i> (panadero, cemita, pancita)	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides	(Mwangi, <i>et al.</i> , 2022; Robaszkiewicz <i>et al.</i> , 2010)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Hongo ostra, oreja blanca)	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides	(Robaszkiewicz <i>et al.</i> , (2010)
<i>Ramaria botrytis</i> (Hongo coral, escobitas)	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Barros <i>et al.</i> , 2008)
<i>Amanita caesarea</i> (Hongo rojo)	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Mares, 2014)
<i>Hypomyces lactiflorum</i> (oreja de puerco)	Antioxidante	Compuestos fenólicos	(Mares, 2014)
<i>Cantharellus cibarius</i> (flor de calabaza)	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides	(Barros <i>et al.</i> , 2008; Mwangi, <i>et al.</i> , 2022).

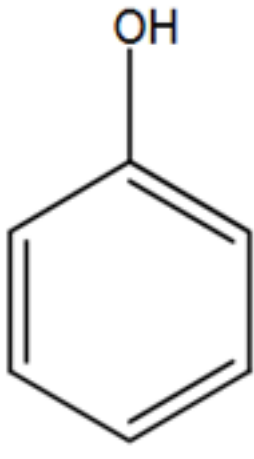


Figura 5. Grupo fenol (Ringuelet & Viña, 2013)

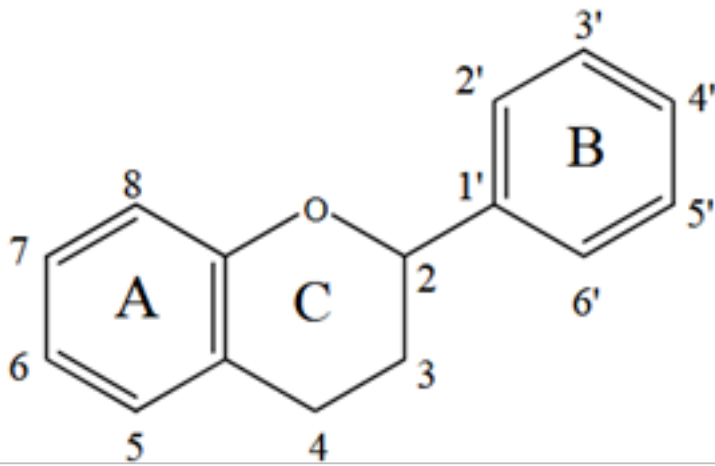


Figura 6. Estructura general de los flavonoides (Ringuelet & Viña 2013).

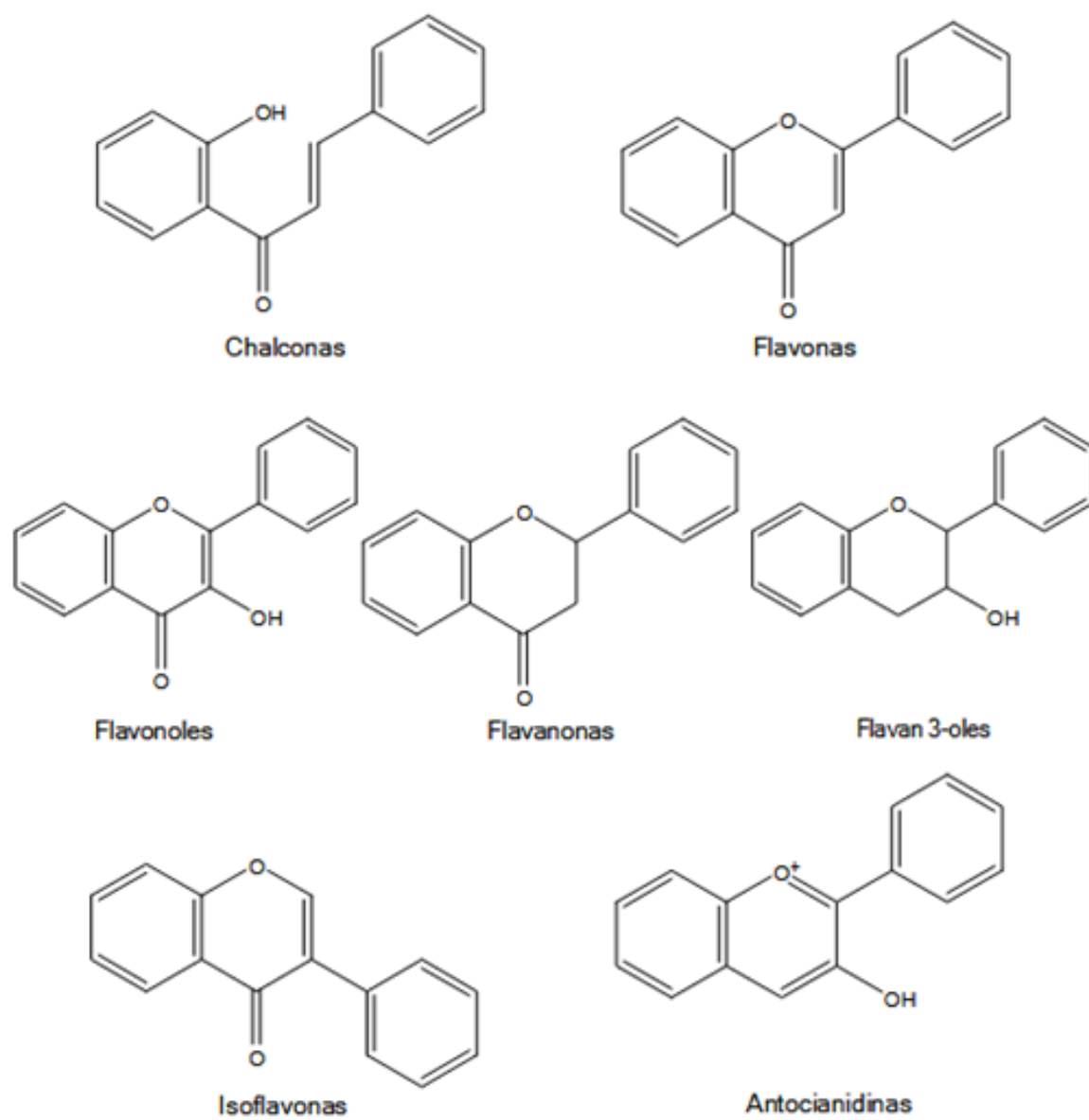


Figura 7. Estructuras químicas de los subgrupos de flavonoides (Ringuélet & Viña 2013).

Tabla III. Contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales de especies de hongos silvestres comestibles de diferentes lugares de recolecta. Fuente: Propia del autor.

Especie	Lugar de recolecta	Fenoles totales (mg EAG/g)	Flavonoides totales (µg EQ/mg)	Referencia
<i>Ramaria flava</i>	Turquía	10.51	0.50	(Gursoy et al.,2010)
<i>Ramaria flava</i>	Durango, México	4.145	0.29	(Mares, 2014)
<i>Rhizopogon roseolus</i>	Turquía	6.65	0.48	(Gursoy et al., 2010)
<i>Russula delica</i>	Turquía	2.09	0.16	(Gursoy et al., 2010)
<i>Boletus edulis</i>	Durango, México	2.66	2.77	(Mares, 2014)
<i>Amanita caesarea</i>	Durango, México	3.67	1.25	(Mares, 2014)
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Durango, México	2.65	2.30	(Mares, 2014)
<i>Lactarius deliciosus</i>	Portugal	17.25	8.14	(Barros, L., et al., 2008)
<i>Sarcodon imbricatus</i>	Portugal	3.76	2.82	(Barros, L., et al., 2008)
<i>Agaricus bisporus</i>	India	21.17	2.173	(Babu & Rao, 2013)

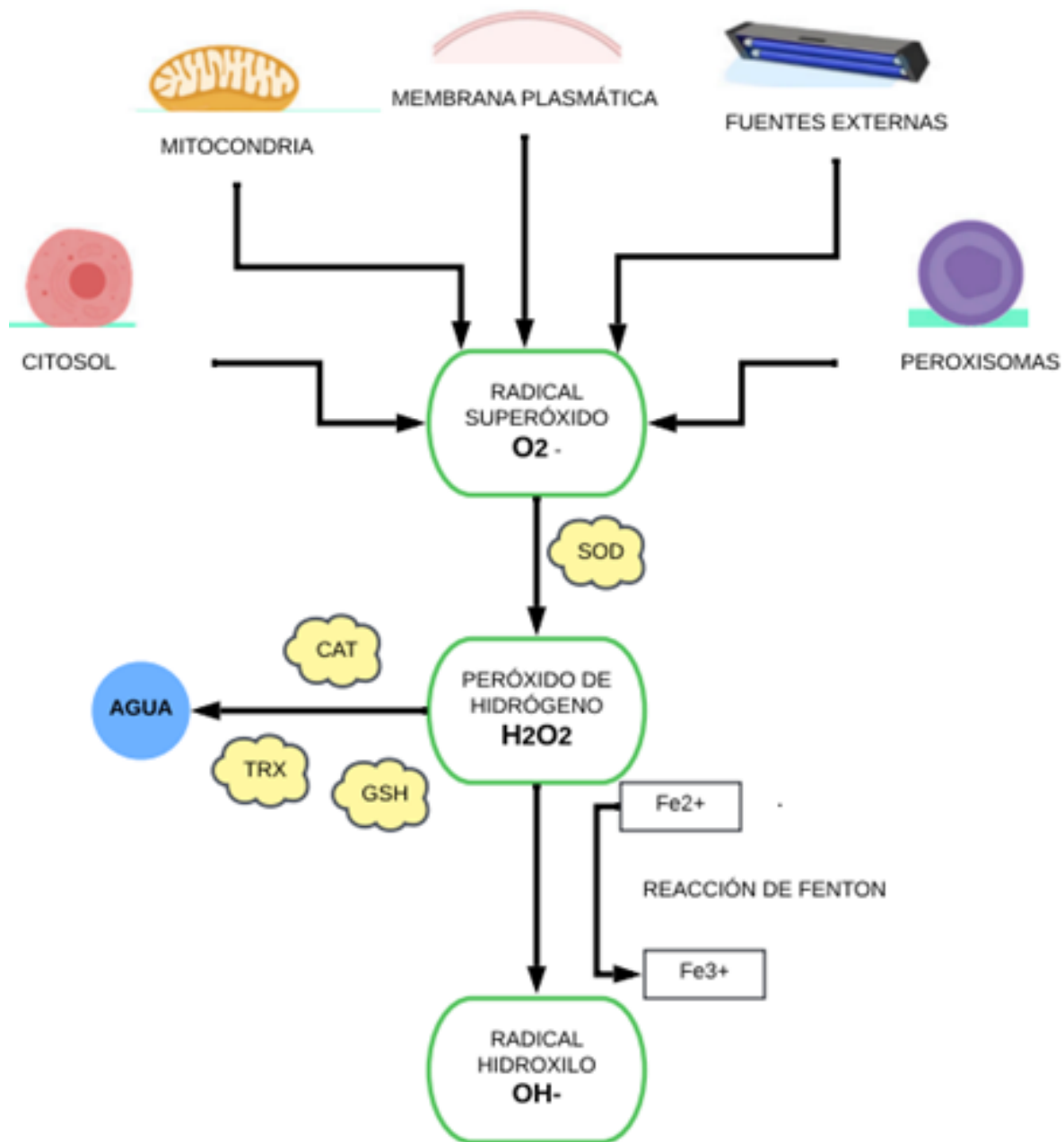


Figura 8. Generación de especies reactivas de oxígeno. El radical superóxido es generado por las mitocondrias, la membrana plasmática, los peroxisomas, el citosol y fuentes externas como los rayos UV, luego recibe un electrón para transformarse en H_2O_2 ; esta reacción es catalizada por la enzima superóxido dismutasa (S.O.D.). El H_2O_2 puede ser metabolizado por catalasas (C.A.T.), glutatión peroxidasa (G.S.H.) o tioredoxinas (T.R.X.) para convertirlo en H_2O . Cuando el H_2O_2 encuentra un electrón de Fe^{e-2} o Cu^{+1} , la reacción de Fenton produce el radical hidroxilo (OH^-) (Quintero-Cabello et al., 2021).

Tabla IV. Capacidad antioxidante de hongos comestibles de la India (Mwangi, *et al.*, 2022).

Concentración	<i>Agaricus</i> (sombrero)	<i>bisporus</i> (sombrero)	<i>Hypsizygus ulmarius</i> (sombrero)	<i>Calocybe indica</i> (sombrero)
Flavonoides (µg/ml)	totales 2.173	1.622	1.306	1.306
Fenoles (mg/ml)	totales 21.17	26.72	18.53	18.53
Poder reductor (IC50 mg/ml)	5.470	4.390	6.870	6.870
DPPH (IC50 mg/ml)	2.230	1.242	1.648	1.648



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **13/septiembre/2023**
ASUNTO: CARTA DE ACEPTACIÓN

Marimar Cruz-Cruz
Alma Dolores Pérez-Santiago
Eduardo Pérez-Campos
Pedro Hernández-Cruz
Itandehui Belem Gallegos-Velasco
P R E S E N T E:

Por este conducto les informamos que **el comité de arbitraje ha aceptado su artículo** titulado **“Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo *Lactarius volemus*”** para ser publicado en la revista electrónica “Coloquio de investigación multidisciplinaria” (ISSN 2007-8102), indizada en Latindex <https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645>

Para que su trabajo in extenso sea publicado en la revista electrónica del Coloquio de Investigación Multidisciplinaria CIM-Orizaba-2023, evento internacional, será necesario el envío, al coordinador de facturación, de una carta de responsabilidad firmada por todos los autores del artículo y el pago de la cuota de recuperación, a más tardar el viernes 29 septiembre de 2023, enviando su ficha de pago, con sus datos al correo electrónico que se notificará en breve.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DR. JUAN MANUEL MÉNDEZ CONTRERAS
RESPONSABLE DEL ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA
COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
CIM-Orizaba-2023 Evento internacional



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo *Lactarius volemus*

Marimar Cruz-Cruz¹, Alma Dolores Pérez-Santiago¹, Eduardo Pérez-Campos¹, Pedro Hernández-Cruz², Itandehui Belem Gallegos-Velasco²

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca Av. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Esq. Calz. Tecnológico. Oaxaca, Oax. México. C.P. 68030. ²Centro de Investigación UNAM-UABJO, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Ex hacienda de Aguilera S/N, San Felipe del Agua. Oaxaca, Oax. México. C.P. 68020
aperez_santiago@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los hongos macromicetos son una fuente potencial de lectinas, las cuales están involucradas en el reconocimiento de estructuras de glicanos con múltiples aplicaciones biomédicas. La búsqueda de lectinas fúngicas en los bosques de Oaxaca tiene como objetivo aislar y purificar nuevas lectinas para su aplicación en el reconocimiento celular de diferentes tipos de cáncer, y su uso en el transporte selectivo de fármacos. En este trabajo se realizó la extracción y purificación parcial de una lectina del hongo silvestre *Lactarius volemus* por cromatografía de afinidad usando una columna de estromas. Se reporta la actividad de lectina que presenta el extracto de *Lactarius volemus* con tres tipos de eritrocitos humanos: A, B y O. El título de hemaglutinación y la actividad específica de la lectina se incrementa cuando los eritrocitos son tratados previamente con neuraminidasa. La actividad de lectina se inhibe con las glicoproteínas mucina y fetuina. El empleo de la columna de estromas demostró ser efectiva en la purificación de la lectina de *Lactarius volemus*.

Palabras clave: Lectina, *Lactarius volemus*, actividad específica, estromas.

Abstract

Macromycete fungi are a potential source of lectins, which are involved in the recognition of glycan structures with multiple biomedical applications. The search for fungal lectins in the forests of Oaxaca aims to isolate and purify new lectins for their application in the cellular recognition of different types of cancer, and their use in the selective transport of drugs. In this work, the extraction and partial purification of a lectin from the wild mushroom *Lactarius volemus* was performed by affinity chromatography using a stromal column. The lectin activity of the *Lactarius volemus* extract is reported with three types of human erythrocytes: A, B and O. The hemagglutination titer and the specific activity of the lectin are increased when the erythrocytes are pretreated with neuraminidase. Lectin activity is inhibited by mucin and fetuin glycoproteins. The use of the stromal column proved to be effective in the purification of lectin from *Lactarius volemus*.

Key words: Lectin, *Lactarius volemus*, specific activity, stroma.

Introducción

Las proteínas o glicoproteínas que reconocen de manera específica carbohidratos de la superficie celular o en suspensión son conocidas como lectinas, estas tienen la capacidad de aglutinar células y precipitar glicoconjugados, no tienen actividad enzimática y poseen al menos dos sitios de reconocimiento a carbohidratos. Estas proteínas se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, se encuentran como proteínas constitutivas en virus, bacterias, hongos, plantas, así como en vertebrados superiores. Las lectinas fúngicas tienen diversas características fisicoquímicas y especificidad a carbohidratos, en particular las que reconocen O-glicosilación son herramientas útiles en la caracterización de oligosacáridos, el aislamiento de poblaciones celulares, y el análisis de las interacciones de la superficie celular [1, 2]. Las especies fúngicas son una fuente potencial de nuevas lectinas que pueden usarse en el estudio de la fisiología y patología celular, ya que se ha reportado su capacidad de inhibir el crecimiento de células cancerosas, a través de la autofagia y la apoptosis, así como el reconocimiento de estructuras de glicanos con posibles aplicaciones biotecnológicas y terapéuticas [3].

Se han aislado lectinas del género *Lactarius* con características similares entre ellas; la lectina de *Lactarius deliciosus* (LDL) se purificó usando una combinación de cromatografía de afinidad en estromas de

eritrocitos humanos del grupo O, el ensayo de afinidad a carbohidratos indicó que la lectina tiene afinidad para **D-Gal beta 1-3D-GalNAc (Ag TF)**, su peso molecular es de 37 kDa con estructura dimérica, con dos subunidades distintas (19 kDa y 18 kDa) [4]. La lectina del hongo *Lactarius deterrimus* (LDetI) fue aislada por cromatografía de afinidad, hidroxapatita y filtración en gel. Su masa molecular determinada por filtración en gel, es de unos 37 000 D y su estructura es dimérica, con dos subunidades idénticas ensambladas por enlaces no covalentes, tiene afinidad hacia **D-Gal beta 1-3D-GalNAc (AgT)** [5]. Estas lectinas interactúan con AnT y se ha demostrado que son herramientas útiles para reconocer glicanos ligados a O en diferentes tejidos, tumores y células. En este trabajo se realizó la extracción y purificación parcial de la lectina presente en el hongo silvestre comestible *Lactarius volemus*, que crece en la sierra sur y norte de Oaxaca, cuyo cuerpo fructífero contiene al menos una lectina con capacidad de reconocer eritrocitos humanos tipo A, B, y O, y que presenta afinidad hacia las glicoproteínas mucina y fetuina. Estas características hacen a esta lectina potencialmente atractiva para el estudio de las estructuras de las mucinas y su función biológica.

Metodología

Recolección de los cuerpos fructíferos

Los cuerpos fructíferos frescos se adquirieron en mercados locales de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, provenientes de los bosques de la sierra sur y norte del estado, en los meses de septiembre a octubre. Para eliminar residuos de tierra los carpoforos se lavaron con agua destilada estéril, después se guardaron en bolsas de papel y se congelaron a -20 °C hasta su uso. Se emplearon carpoforos frescos de la temporada, preferentemente del mismo tamaño.

Obtención del extracto

Los carpoforos se cortaron en fracciones pequeñas y se maceraron con solución salina fosfatada (PBS) pH 7.4 en una proporción 1:4 (W/V) hasta obtener una mezcla homogénea que se mantuvo en agitación a -4°C durante 24 horas. La mezcla se centrifugó a 5000 rpm durante 10 min para eliminar el precipitado, se recuperó el sobrenadante y se filtró. El sobrenadante se utilizó para la purificación de la lectina. La concentración de proteína del extracto se determinó por el método de Bradford con azul de Coomassie R-250, utilizando como estándar albúmina de suero bovino [8]. Para determinar la presencia y actividad de la lectina se prepararon fracciones de extracto a una concentración de 1 mg/mL.

Determinación de actividad de lectina mediante el ensayo de hemaglutinación

Se obtuvieron eritrocitos humanos tipo A, B y O de donantes voluntarios. La presencia de lectina en los extractos del hongo se determinó a través de la actividad hemaglutinante observada en placas de microtitulación de fondo cóncavo mediante el procedimiento de dilución en serie de acuerdo con Reid *et al.*, 2022 [6], usando solución salina fosfatada PBS pH 7.4 y una suspensión de eritrocitos al 3%. También se utilizaron eritrocitos tratados con neuraminidasa (0.1 U por 0.5 mL de concentrado de eritrocitos a 37°C durante 30 min) con la finalidad de eliminar los residuos de ácido siálico presentes en la superficie de la membrana y evaluar el reconocimiento de la lectina a carbohidratos más complejos y cercanos a la región proteica.

Especificidad de carbohidrato

La especificidad a carbohidratos de la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* se determinó mediante el ensayo de inhibición de la actividad hemaglutinante [6]. Las pruebas de inhibición de la actividad hemaglutinante se realizaron en placas de microtitulación de 96 pozos, depositando 25 µL de PBS (pH 7.4) en todos los pozos de la placa, posteriormente se agregaron en ellos 25 µL del carbohidrato a analizar, en una concentración de 0.2 M, realizando diluciones dobles seriadas, en seguida se agregaron 25 µL del extracto del hongo en cada pozo, a una concentración de 4 UHA y se incubaron por una hora. Finalmente se adicionaron 25 µL de eritrocitos al 3% y se incubó la placa a temperatura ambiente ± 23 °C por 1 hora. Los resultados se expresaron como la concentración mínima de carbohidrato requerida para inhibir completamente 4 unidades hemaglutinantes de la lectina. La concentración utilizada de los carbohidratos fue de 200mM y la concentración de las glicoproteínas se determinó en función de su peso molecular.

Purificación de la lectina de *Lactarius volemus*

Preparación de la columna de estromas [9]

Para obtener el estroma de eritrocitos se utilizaron 200 mL de sangre humana tipo O, obtenida del banco de sangre del Instituto Mexicano del Seguro Social, la cual se centrifugó a 1500 rpm durante 10 min para extraer el plasma y dejar únicamente el paquete de eritrocitos. El paquete eritrocitario se lavó tres veces con solución salina isotónica (SSI) y se centrifugó a 1500 g a 4°C durante 20 minutos. El lisado se obtuvo por choque hipotónico con una solución amortiguadora de fosfatos 10 mM pH 7.4 en una relación 9:1 fosfato/paquete eritrocitario respectivamente y se agitó durante 30 minutos a 4°C. La mezcla se centrifugó a 20000 g durante 15 minutos a 4°C y el precipitado se lavó 5 veces con las mismas condiciones con agua destilada, y finalmente con SSI hasta eliminar los residuos de hemoglobina. El paquete de estromas fue tratado con 100 mL de ácido sulfúrico 0.002 N para eliminar los residuos de ácido siálico mediante hidrólisis ácida, se mantuvo en agitación durante 2 horas a 80°C, se dejó enfriar y la reacción se neutralizó por la adición de NaOH 1M. El paquete de estromas desialilado se lavó con SSI y posteriormente se trató con glutaraldehído para rigidizar las membranas, se suspendió a una concentración de 1% en amortiguador de fosfatos 10 mM, 0.15 M de NaCl pH 7.4 y se dejó en agitación durante 24 horas a 4°C, posteriormente se lavó tres veces con SSI a 7000 g durante 15 minutos. Los estromas se mezclaron con sephadex G-25 superfino en una relación 1:10 (Estroma/Sephadex) para inmovilizar físicamente a las membranas, esta mezcla se vertió a una columna de plástico de 10 ml, una vez empaquetada la columna se lavó con SSI, ácido acético al 3% y finalmente la columna se equilibró con solución salina tamponada.

El extracto clarificado del hongo se inyectó en la columna (10 mL), el material no retenido se eluyó con solución salina isotónica, se recolectaron fracciones y se leyeron a 280 nm hasta obtener absorbancias de 0.01. La lectina unida se eluyó con ácido acético (3%) y el pH de cada fracción recolectada se ajustó a 6 con NaOH 1N y se analizó la concentración de proteína por Bradford [8] y la actividad hemaglutinante.

Resultados y Discusión

Morfología de *Lactarius volemus*

Lactarius volemus presenta sombrero o píleo con diámetro promedio de 7 cm, de acuerdo a los reportes, presenta la superficie muy seca, de color naranja rojizo, con láminas de color crema con un ligero matiz amarillento apretadas entre sí, el pie es de color similar al sombrero, próximo a las láminas es de color blanquecino (**Figura 1**).



Figura 1. Cuerpo fructífero de *Lactarius volemus*

La concentración de proteínas del extracto se midió mediante la extrapolación de las absorbancias en la ecuación de la curva de calibración con albúmina, con pendiente $m=0.12$ y una $b= 0.0582$, con un coeficiente de Regresión lineal (R^2) de 0.99. La concentración de proteínas del extracto fue de 5.615 mg/mL.

Determinación de actividad de lectina con ensayo de hemaglutinación

El extracto de *Lactarius volemus* mostró actividad de lectina con los tres tipos de eritrocitos humanos examinados, sin embargo, se observó mayor actividad específica con los eritrocitos humanos tipo A

(227.96), la actividad hemaglutinante para los eritrocitos humanos tipo O y B fueron las mismas; el extracto presentó mayor afinidad por los eritrocitos tipo A (**Tabla 1**).

El tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa aumentó el título de hemaglutinación y actividad específica de la lectina de *Lactarius volemus* hasta ocho veces más que sin tratamiento, con los diferentes tipos eritrocitarios (**Tabla 2**).

Actividad hemaglutinante del extracto crudo de *Lactarius volemus* (5.615 mg/mL)

Eritrocitos humanos	Pozos de actividad	*UHA	**Act. específica
A Rh +	5	1,280	227.96
B Rh -	4	640	113.98
O Rh +	4	640	113.98

*Unidades hemaglutinantes. **UHA/mg proteína del extracto. Concentración de proteína: 5.615 mg/mL

Tabla 1. Actividad hemaglutinante de la lectina del extracto de *Lactarius volemus*. Se observa mayor afinidad por eritrocitos tipo A.

Actividad hemaglutinante del extracto crudo de *Lactarius volemus* (5.615 mg/mL) con eritrocitos tratados con neuraminidasa

Eritrocitos humanos tratados	Pozos de actividad	*UHA	**Act específica
A Rh +	8	10,240	1823
B Rh -	7	5,120	911.84
O Rh +	7	5,120	911.84

*Unidades hemaglutinantes. **UHA/mg proteína del extracto

Tabla 2. Actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con eritrocitos tratados con neuraminidasa. El tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa aumentó el título de hemaglutinación de la lectina de *Lactarius volemus* con los diferentes tipos eritrocitarios.

Especificidad hacia carbohidratos

Los carbohidratos utilizados para la inhibición de la actividad de la lectina fueron: D-glucosamina, glucosa, fructosa, sacarosa, lactosa, maltosa, arabinosa, ribosa, galactosa, galactosamina, N-acetil-galactosamina, mucina y fetuina a una concentración 200 mM. Mucina y fetuina fueron los carbohidratos que mostraron capacidad inhibitoria de la actividad hemaglutinante. La mucina presentó una concentración mínima inhibitoria de 0.0156 mg/mL para 2560 UHA de la lectina (**Tabla 3**). La inhibición de la actividad hemaglutinante de los eritrocitos sometidos a tratamiento con neuraminidasa se modificó, ya que fetuina aumentó en ocho veces más las unidades hemaglutinantes inhibidas (5120 UHA) y la concentración mínima inhibitoria disminuyó notablemente (0.007mg/mL). En cuanto a mucina, esta aumentó cuatro veces más sus UHA inhibidas (10240) así como su concentración mínima inhibitoria también fue menor (0.0039 mg/ml) (**Tabla 4**).

Con los resultados de la actividad específica de carbohidratos se puede inferir que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* reconoce estructuras con enlaces tipo O-Glicosídicos.

Inhibición de la actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con carbohidratos y glicoproteínas

Carbohidrato	Eritrocitos	concentración	Pozos Inhibidos	UHA inhibidas	Conc mín Inhibitoria (mg/mL)
Glucosa	A,B,O	200 mM	0	0	0

Lactosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Maltosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Fructosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Arabinosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Ribosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Galactosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Galactosamina	A,B,O	200 mM	0	0	0
N-Acetil- Galactosamina	A,B,O	200 mM	0	0	0
Glicoproteínas					
Mucina	A,B,O	1mg/mL	6	2560	0.0156
Fetuina	A,B,O	1mg/mL	4	640	0.0625

Tabla 3. Especificidad de carbohidratos. Mucina y fetuina inhibieron la actividad hemaglutinante. La mucina mostró mayor actividad inhibitoria con la concentración mínima inhibitoria de 0.0156 mg/mL para 2560 UHA.

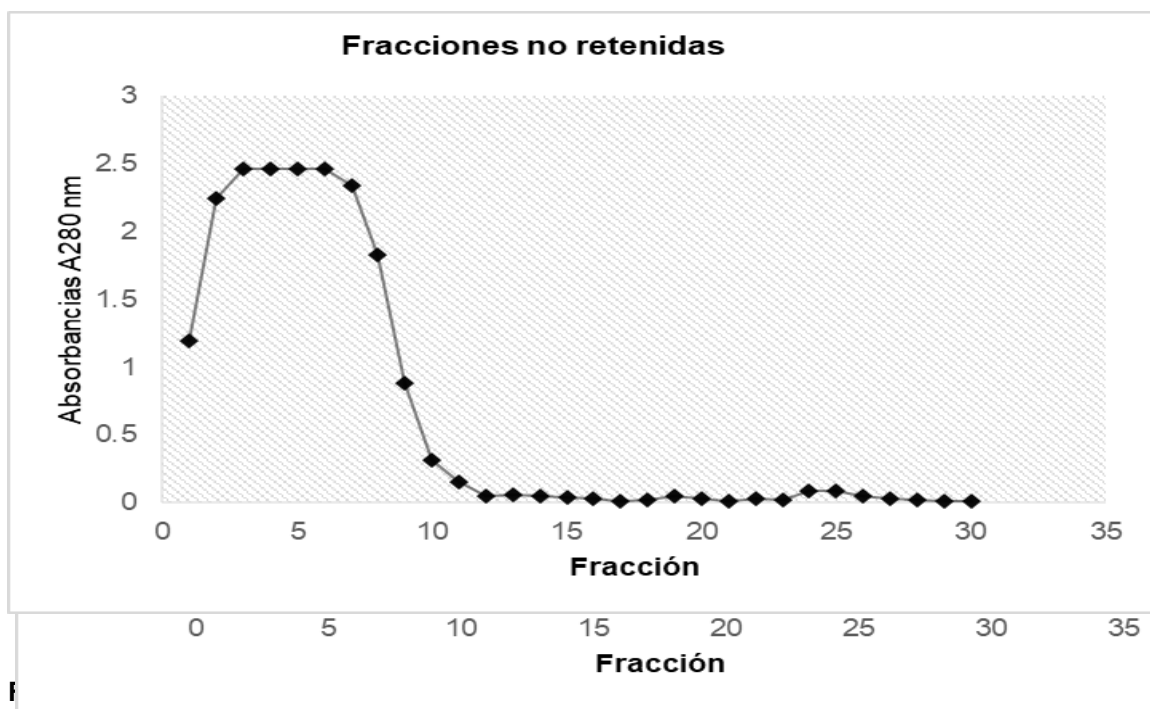
Inhibición de la actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con glicoproteínas, utilizando eritrocitos tratados con neuraminidasa

Glicoproteína	Eritrocitos	concentración	Pozos inhibidos	UHA inhibidas	Conc mín inhibitoria
Mucina	A,B,O	1mg/mL	8	10240	0.0039
Fetuina	A,B,O	1mg/mL	7	5120	0.007

Tabla 4. Especificidad de carbohidratos utilizando eritrocitos tratados con neuraminidasa. Fetuina aumentó ocho veces más las unidades hemaglutinantes inhibidas (5120 UHA) y su concentración mínima inhibitoria (0.007mg/mL); Mucina aumentó cuatro veces más sus UHA inhibidas (10240) y su concentración mínima inhibitoria (0.0039 mg/mL)

Purificación de la lectina con columna de estromas

Se colectaron sesenta fracciones durante toda la cromatografía, en la figura 2 sólo se grafican las primeras treinta fracciones las cuales no fueron retenidas, y no mostraron actividad de lectina. En la Figura 3 se muestran las treinta fracciones retenidas, de las cuales las fracciones 3, 4 y 5 mostraron actividad de lectina.



absorbancias altas mostraron actividad de lectina. Los valores graficados son un promedio de tres lecturas.

Figura 3. Fracciones retenidas por la columna de estromas. Las fracciones 3,4 y 5 mostraron actividad de lectina. Los valores graficados son un promedio de tres lecturas.

El extracto de *Lactarius volemus* mostró actividad de lectina con los tres tipos de eritrocitos humanos examinados, sin embargo se observó mayor afinidad con los eritrocitos tipo A (227.96), el título de hemaglutinación y la actividad específica aumentó hasta ocho veces con el tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa, lo que demuestra que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus*, puede reconocer estructuras más cercanas a la región proteica. El empleo de la columna de estromas demostró ser efectiva en la purificación de la lectina de *Lactarius volemus* tal y como lo reportó Hernández en [9], en donde comparó diferentes tipos de columnas para la extracción de la lectina de *A. leucocarpus* y demostró mayor actividad cuando se extraía con columna de estromas, así mismo las lectinas del género *Lactarius* se han extraído con este método [4, 5, 6].

La actividad de lectina se inhibe con mucina y fetuina, y estas glicoproteínas disminuyen su concentración mínima inhibitoria cuando los eritrocitos son tratados con neuraminidasa. Con resultados de la actividad específica de carbohidratos se puede inferir que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* reconoce estructuras con enlaces tipo O-Glicosídicos [2, 7]. Los glicanos unidos a membranas y superficies celulares por enlaces O-glicosídicos (que conforman las mucinas) desempeñan importantes funciones en la modulación de la respuesta inmunitaria, la inflamación y la tumorigénesis. Estas estructuras son responsables de la organización tridimensional de las glicoproteínas [7]

Con base en lo reportado sobre las lectinas del género *Lactarius* y con nuestros resultados se sugiere que la lectina de *Lactarius volemus*, representa una herramienta para el estudio de las estructuras de las mucinas y su función biológica [4, 5, 6].

Referencias

- [1] RS. Singh, AK. Walia, JF. Kennedy. "Mushroom lectins in biomedical research and development". Int J Biol Macromol.15;151:1340-1350. 2020.
- [2] R.S. Singh, A.K. Walia and J.F. Kennedy, "Structural aspects and biomedical applications of microfungus lectins", Int. J. Biol. Macromol. 134: 1097–1107.2019.
- [3] M.A.A. Hassan, R. Rouf, E. Tiralongo and T.W. May, J. Tiralongo, "Mushroom lectins: Specificity, structure and bioactivity relevant to human disease", Int. J. Mol. Sci. 16. 7802–7838. 2015
- [4] J. Guillot, M. Giollant, M. Damez and M. Dusser. "Isolation and characterization of a lectin from the mushroom, *Lactarius deliciosus*". J Biochem. 109(6):840-5. 1991
- [5] M. Giollant, J. Guillot, M. Damez, M. Dusser, P. Didier and E. Didier. "Characterization of a Lectin from *Lactarius deterrimus* (Research on the Possible Involvement of the Fungal Lectin in Recognition between Mushroom and Spruce during the Early Stages of Mycorrhizae Formation)". Plant Physiol. 1993
- [6] T. Reid, F. Fore, F. Chidzondo, C. Kashangura, B. Stray-Pedersen, t. Mduluza. Screening of mushrooms from the woodlands of Zimbabwe: Occurrence of lectins and partial purification of a mucin specific lectin from *Boletus edulis*. PLoS One.14;17(4). 2022.
- [7] J. Kim, C. Ryu, J. Ha, J. Lee, D. Kim, M. Ji, C. Park, J. Lee, D. Kim and H. Kim. "Structural and Quantitative Characterization of Mucin-Type O-Glycans and the Identification of O-Glycosylation Sites in Bovine Submaxillary Mucin". *Biomolecules*. 10(4):636. 2020.
- [8] M.M. Bradford. Fast and sensitive for the quantification of micrograms of protein using the protein-dye binding principle. *Bioquímica analítica* 72: 248-254. 1976.
- [9] P. Hernández, M. Bacilio, F. Porras, S. Juarez, H. Debray, E. Zenteno, B. Ortiz (1999). "A comparative study on the purification of the *Amaranthus leucocarpus* syn. *hypocondriacus* lectin". Biochem and Biotechnol. 29(3): 219-234



Orizaba, Veracruz, **16/septiembre/2023**
ASUNTO: CARTA DE ACEPTACIÓN

Baleria María Hernández-Chávez
Alma Dolores Pérez-Santiago
Marco Antonio Sánchez-Medina
Ricardo Valenzuela-Garza
María del Socorro Pina-Canseco
P R E S E N T E:

Por este conducto les informamos que **el comité de arbitraje ha aceptado su artículo** titulado **“Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo *in vitro* de *Boletus loricellus*”** para ser publicado en la revista electrónica “Coloquio de investigación multidisciplinaria” (ISSN 2007-8102), indizada en Latindex <https://www.latindex.org/latindex/ficha/22645>

Para que su trabajo in extenso sea publicado en la revista electrónica del Coloquio de Investigación Multidisciplinaria CIM-Orizaba-2023, evento internacional, será necesario el envío, al coordinador de facturación, de una carta de responsabilidad firmada por todos los autores del artículo y el pago de la cuota de recuperación, a más tardar el viernes 29 septiembre de 2023, enviando su ficha de pago, con sus datos al correo electrónico que se notificará en breve.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

DR. JUAN MANUEL MÉNDEZ CONTRERAS
RESPONSABLE DEL ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA
COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
CIM-Orizaba-2023 Evento internacional



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



2023
Año de
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*

Balería María Hernández-Chávez¹, Alma Dolores Pérez-Santiago¹, Marco Antonio Sánchez-Medina¹, Ricardo Valenzuela-Garza² y María del Socorro Pina-Canseco.³

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Esq. Calz. Tecnológico. C.P. 68030. Oaxaca, Oaxaca, México. ²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México, México. ³Facultad de Medicina, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Ex Hacienda de Aguilera S/N, San Felipe del Agua, Oaxaca, Oaxaca, México.

aperez_santiago@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los hongos que poseen basidiomas con himenóforo poroide, laminar, liso, venoso y dentado son identificados como *Boletales*. Muchos de estos hongos son comestibles, los cuales son muy apreciados, y otros tienen importancia ecológica ya que son fuente de alimento para mamíferos y muchos insectos. *Boletus luridellus* es una seta silvestre micorrícica, que aparece en la época de lluvias y no existen estudios relacionados a este hongo en el estado de Oaxaca. Los objetivos de este trabajo fueron obtener el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*, identificar en estas condiciones alcaloides, cumarinas, saponinas, flavonoides, glucósidos cardiotónicos, taninos y sesquiterpenlactonas a través de métodos colorimétricos, y determinar la actividad antifúngica de *Boletus luridellus* sobre *Penicillium sp.* En el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* se encontró la presencia de alcaloides, taninos, como la catequina y sesquiterpenlactonas. Fracciones del cultivo *in vitro* inhibieron el crecimiento de *Penicillium sp.* con una zona de 5 mm.

Palabras clave: *Boletus luridellus*, cultivo *in vitro*, alcaloides, catequinas

Abstract

Fungi that have basidiomata with poroid, lamellar, smooth, veined and toothed hymenophores are identified as *Boletales*. Many of these mushrooms are edible, which are highly appreciated, and others have ecological importance as they are a source of food for mammals and many insects. *Boletus luridellus* is a mycorrhizal wild mushroom, which appears in the rainy season and there are no studies related to this fungus in the state of Oaxaca. The objectives of this work were to obtain the *in vitro* culture of *Boletus luridellus*, to identify in these conditions' alkaloids, coumarins, saponins, flavonoids, cardiotonic glycosides, tannins and sesquiterpenlactones through colorimetric methods, and to determine the antifungal activity of *Boletus luridellus* on *Penicillium sp.* The *in vitro* culture of *Boletus luridellus* showed the presence of alkaloids, tannins, such as catechin and sesquiterpenlactones. Fractions of the *in vitro* culture inhibited the growth of *Penicillium sp.* with a zone of 5 mm.

Key words: *Boletus luridellus*, *in vitro* culture, alkaloids, catechins

Introducción

La importancia de los hongos silvestres como recursos forestales no maderables aún no ha sido reconocido a pesar de su alto impacto en la alimentación, medicina, uso recreativo y lúdico [1], ya que han sido utilizados desde épocas prehispánicas e incorporados en la dieta de diversos grupos étnicos [2]. Por la forma en que obtienen su alimento, los hongos se pueden dividir en: saprótrofos, biótropos, necrótrofos y simbioses mutualistas, como las micorrizas [3]. La asociación micorrícica envuelve tres medios de

interacción, el hongo, la planta hospedera y las condiciones ambientales (Figura 1). Algunas especies de la familia Boletaceae forman micorrizas con diferentes especies de plantas especialmente con las familias Ericaceae, Fagaceae, Pinaceae, Dipterocarpaceae, Caryophyllaceae [4,5,6], mientras que otras son saprobias [4,5,6].

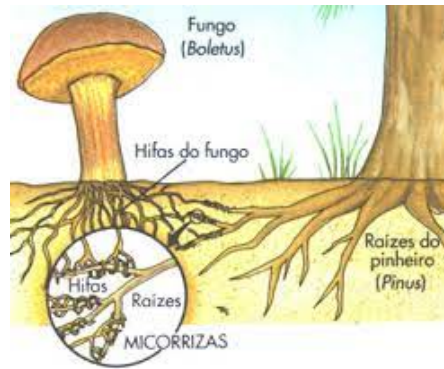


Figura 1. Interacciones que envuelven las asociaciones micorrícicas [7].

El estudio de los macromicetos comestibles se ha incrementado a nivel mundial en las últimas décadas gracias al potencial de componentes bioactivos que contienen. Estos abarcan desde componentes estructurales con actividad antitumoral e inmunológicamente activos, hasta agentes antimicrobianos, antifúngicos, antivirales, citostáticos, reguladores del crecimiento y aromas [8]. En el estudio de la obtención y producción de nuevos fármacos los metabolitos sintetizados por los macromicetos resultan una interesante alternativa. En la Tabla 1 se presentan algunos de estos metabolitos secundarios, que van desde diterpenos, polisacáridos, sesquiterpenos, p-terfenilos, compuestos fenólicos, fenilacetoxilados, terpenoides, alcaloides, glucanos acetilenos, sales de diazonio, y compuestos nitrogenados, ácidos fenilglicosídicos sustituidos, quinonas, entre otros [9].

Tabla 1. Metabolitos encontrados en basidiomicetos.

Hongo	Clasificación	Compuesto	Bioactividad
<i>F. pinicola</i>	Medicinal	Ácido pinicolico E Ácido 3 α -acetyloxylanosta-8,24-dien-21-oico Extracto clorofórmico	Antibacterial contra <i>B. subtilis</i> [10]. Antifúngico contra <i>F. inflexum</i> y <i>F. heterosporium</i> [11].
<i>L. laccata</i>	Comestible	Ergosterol [12]	Anticoagulante y actividad inhibitoria en el crecimiento de cáncer en ratas [13].
<i>B. edulis</i>	Comestible	Sesquiterpenlactonas y saponinas	Antimicrobiana [14].
<i>L. perlatum</i>	Comestible-medicinal	Cumarinas y saponinas	Cicatrizante [14].

Por otra parte, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO) estima que las pérdidas totales de frutas y hortalizas producidas a nivel mundial alcanzan el 14 %, siendo la poscosecha una de las etapas de la cadena de suministro de alimentos que se ve afectada por enfermedades [15]. Parte de éstas pérdida se deben a la acción de patógenos fúngicos como los del género *Penicillium*, agentes causantes de pudrición en los alimentos, algunos más especializados como patógenos destructivos en la fruta, *Penicillium digitatum*, *P. expansum*, *P. italicum*. Estos hongos son productores de toxinas, como *Penicillium citrinum* que produce la toxina citrina la cual produce toxicidad moderada a los animales como cerdos, aves y ratones que consumen alimentos contaminados, presentandose cuadros de diarrea y degeneración renal. También se ha reportado el efecto de la citrinina en células T humanas [16]; a pesar de que se ha documentado que estos patógenos no son

causantes de infecciones en humanos se han presentado dos casos clínicos de infecciones cervicofaciales provocadas por el género *Penicillium sp.*, una en tejidos blandos y otra en hueso [17].

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron obtener el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*, la identificación de metabolitos como alcaloides, cumarinas, saponinas, flavonoides, glucósidos cardiotónicos, taninos y sesquiterpenlactonas empleando métodos colorimétricos, y explorar la actividad antifúngica del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* sobre *Penicillium sp.*

Metodología

Obtención de *Boletus luridellus*

La especie fúngica de *Boletus luridellus* se colectó durante la época de lluvias, en los meses de junio-agosto del 2021 en el Rancho Andodo ubicado en la Comunidad de San Mateo Sosola, perteneciente al Municipio de San Jerónimo Sosola, Oaxaca. Para eliminar residuos sólidos (tierra u hojarasca), los carpóforos se lavaron con agua destilada, después se guardaron en bolsas de papel y se congelaron a -20 °C hasta su uso. La identificación de este organismo fue realizada con la ayuda del Dr. Ricardo Valenzuela Garza.

Cultivo *in vitro*

Se hicieron fracciones de 0.5 cm aproximadamente del píleo de *Boletus luridellus*, enseguida se lavaron con peróxido de hidrógeno al 2.5 y 3.5 % por 30 segundos, dos veces más con agua destilada y se dejaron en reposo en gasas estériles para retirar el exceso de agua. Una fracción de píleo de *Boletus luridellus* se inoculó en 30 mL de AEM (agar extracto de malta) y en un ambiente estéril a 25 ± 2 °C se dejó incubando por 22 días. El ensayo se hizo por duplicado.

Identificación de metabolitos secundarios

A partir del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* se obtuvo 1.4 gramos de muestra, biomasa, de ésta se preparó un extracto etanólico; por cada gramo de cultivo se añadió 10 mL de etanol al 80% en matraces Erlenmeyer de 50 mL, se dejó en agitación por 72 horas en oscuridad. El extracto obtenido se filtro con papel filtro de poro fino y se colectó en tubos cónicos de 15 mL para posteriormente hacer las identificación de las familias de metabolitos secundarios por colorimetría [18 y 19].

Actividad antifúngica

Para evaluar la propiedad bioactiva antifúngica del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*, se obtuvo una población de *Penicillium sp.* al dejar expuesta una caja Petri con AEM durante siete días, después la cepa se aisló por agotamiento en AEM; para la identificación se hicieron observaciones microscópicas y macroscópicas.

La actividad antifúngica se evaluó usando el cultivo *in vitro* de la fracción de *Boletus luridellus* a través de la técnica de difusión en agar. Primero se dividió en cuatro zonas (cuadrantes) a la placa de AEM, enseguida se inoculó por extensión una muestra de esporas *Penicillium sp* con un asa de platino de 4 mm de diámetro en toda la placa, una vez extendida la muestra, inmediatamente sembró una asada de cultivo *in vitro* de la fracción del píleo de *B. luridellus* en el centro (aproximadamente) de cada cuadrante, se dejó incubación por 7 días en un ambiente estéril a 25 ± 2 °C y se midió el halo de inhibición con una regla graduada.

Resultados y discusión

Ubicación de San Mateo Sosola

En la Figura 2 se presenta la localización de la comunidad de San Mateo Sosola (marcador rojo), se localiza a 17°25'30" y 17°22'30" de latitud norte (N) y 97°05'30" y 97°07'55" de longitud oeste (W), pertenece al

Municipio de San Jerónimo Sosola, Distrito de ETLA, Estado de Oaxaca. En el lugar dónde se encontró el hongo *Boletus luridellus* hay encinos, huajes, jarillas, enebro y matorrales, cuya temporada de lluvias es en los meses de junio a septiembre.

Boletus luridellus

En la figura 3A, se muestra el basidiocarpo de *Boletus luridellus*, un hongo micorrícico [20], comestible de acuerdo a Bassette y *et. al.* [21], sin embargo, no existen evidencias de su comestibilidad en la región del estado de Oaxaca. Sus características morfológicas son: a) el himenio es color amarillo en forma de poros que al tacto se mancha; b) estípites de color amarillo, ligeramente rosado, más ancho y más reticulado que *Boletus luridellus* (Murr.) (figura 3B); c) píleo convexo, ligeramente decurrente con estríado color café bajo; d) al corte presenta coloración azul turquesa.

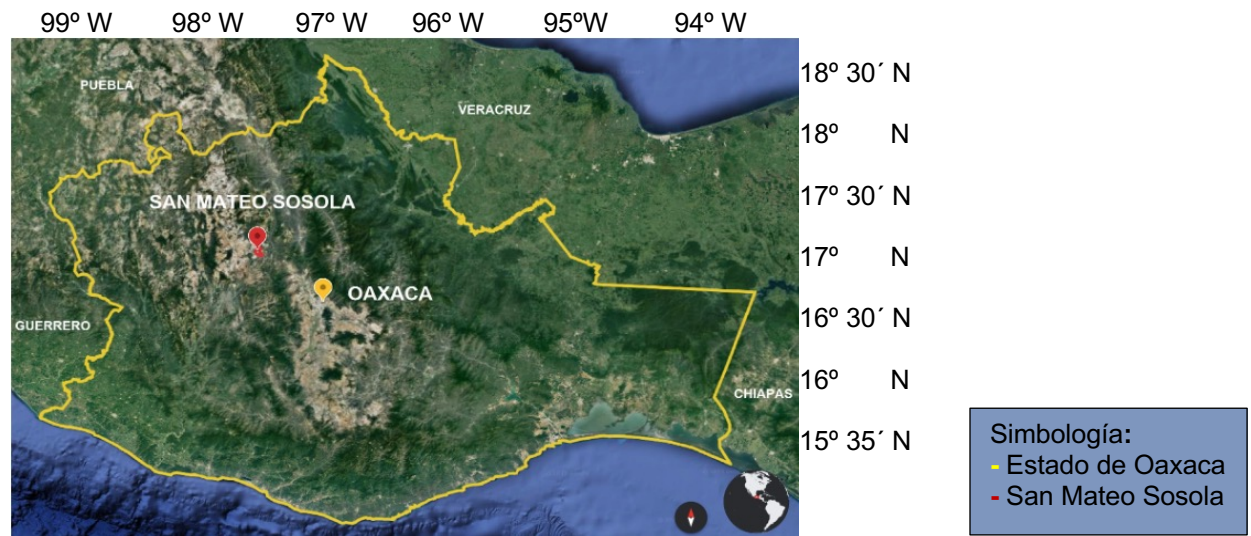


Figura 2. Localización de San Mateo Sosola con ayuda de Google Earth [22].

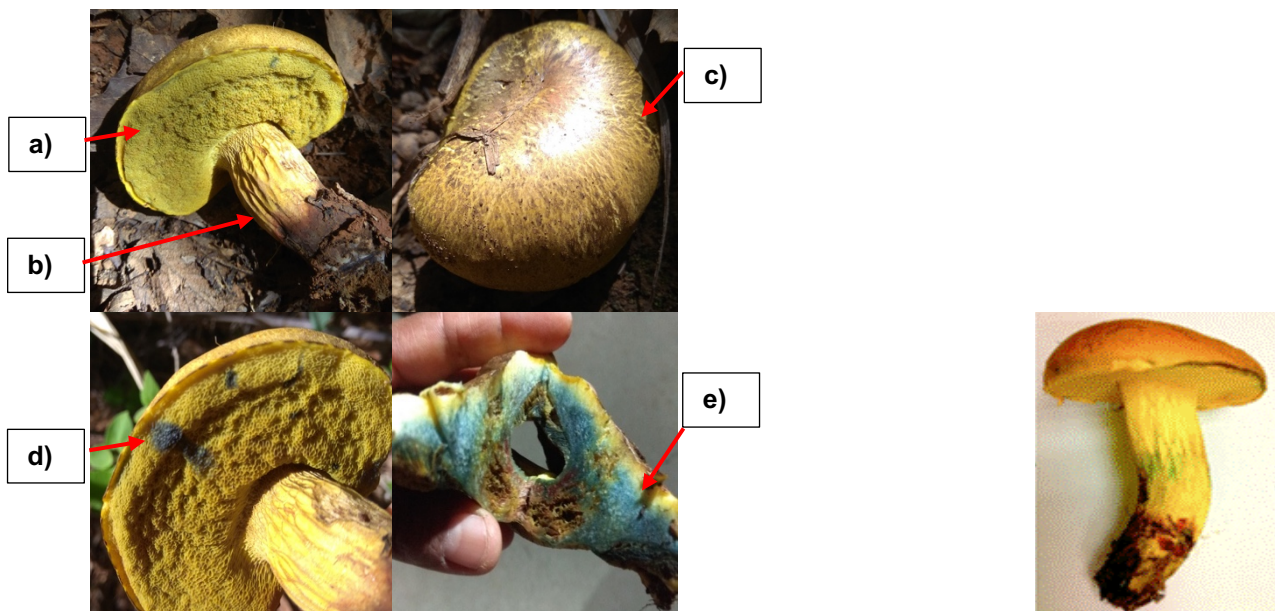


Figura 3A. *Boletus luridellus*: a) himenio, b) estípite, c) píleo, d) mancha al tacto y e) mancha al corte. Fuente: autora, 2021. (Murr.) [23].

Figura 3B. *Boletus luridellus*

Caracterización del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*

En la Tabla 2, se describen los caracteres morfológicos del cultivo *in vitro* de la fracción píleo de *Boletus luridellus* en AEM (figura 4), estas difieren con respecto al tamaño, forma, color, entre otros rasgos de la cepa de *Boletus luridellus* (Murr.) en medio de Melin Norkrans (figura 5) [23].

Identificación de metabolitos secundarios

En la Tabla 3, se presentan los metabolitos identificados en *Boletus luridellus* creciendo sobre AEM: alcaloides, se observó precipitado café-naranja; taninos, se identificó la presencia de catequinas por la coloración verdosa; sesquiterpenlactonas, se formó una coloración levemente rosa; no se encontró presencia de flavonoides, saponinas, cumarinas, quinonas y glucósidos cardiotónicos. Otros reportes de reacciones colorimétricas sobre extractos del carpóforo de *Pleurotus ostreatus*, han identificado metabolitos secundarios como alcaloides, azúcares reductores, flavonoides, quinonas, saponinas, cumarinas y glucósidos cardiacos [24]. En *Trametes versicolor* se han reportado 12 metabolitos en total, entre ellos: 7,22-ergostadien-3 β -ol, ergosterol, ácido trametenólico B, ácido pinicólico A y peróxido de ergosterol, usando sucesivas columnas cromatográficas de gel de sílice 60 [25].

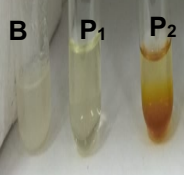
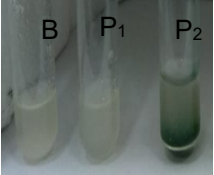
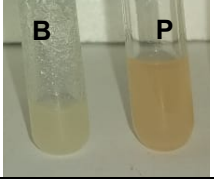
Tabla 2. Caracterización del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*.

Cultivo <i>in vitro</i> de	Tamaño	Forma	Elevación	Superficie	Margen
 Figura 4. <i>Boletus luridellus</i> en AEM.	4cm al tercer día de crecimiento	Elipsoide No tiene micelio	Plana	Lisa	Liso
	Colonia	Luz transmitida	Color	Aspecto	Consistencia
	Laxa y suave	Opaco	Ocre suave	Húmedo	Suave
	Tamaño	Forma	Elevación	Superficie	Margen
 Figura 5. Cepa de <i>Boletus luridellus</i> (Murr.) Reportada en [23].	3.9 cm por mes	Semicircular Forma micelio	Crateriforme	Rugosa	Rizoide
	Colonia	Luz transmitida	Color	Aspecto	Consistencia
	Laxa y suave	opaco	Café	Húmedo	Rasposo

Tabla 3. Identificación de metabolitos secundarios en el extracto del cultivo de *Boletus luridellus* sobre AEM

Alcaloides	Flavonoides	Saponinas	Taninos
------------	-------------	-----------	---------

B = blanco
 P1 = prueba 1
 P2 = prueba 2
 (NI) No identificado.
 Ausencia del metabolito secundario en el ensayo colorimétrico.

	NI	NI	
Cumarinas	Quinonas	Glucósidos cardiotónicos	Sesquiterpenlactonas
NI	NI	NI	

Ensayo preliminar de la actividad antifúngica

En la figura 6.1 se presenta una placa de 10 días de crecimiento, en la que se observa que la capacidad bioactiva antifúngica del cultivo de *Boletus loriellus* persiste con un halo de inhibición sobre *Penicillium sp*, este con una coloración verde oscuro que empieza a esporular. En la figura 6.2, se observan las estructuras de *Penicillium*: conidióforo, métula, fiálides y conidios. En la figura 6.3, se observa una zona de inhibición de 5 mm en promedio de los cuatro cuadrantes, una baja respuesta (zona de inhibición ≤ 10 mm) [26]. Al respecto, un estudio conl extracto etanólico de *Pleurotus spp*, reporta que este presenta actividad antifúngica sobre *M. canis* y *M. nanum* con 84.42% y 70.19%, de inhibición respectivamente [27]. Por otra parte, también se han reportado resultados significativos de la actividad antifúngica de *G. australe* sobre *Trichoderma sp* y *Diplodia seriata* [28].

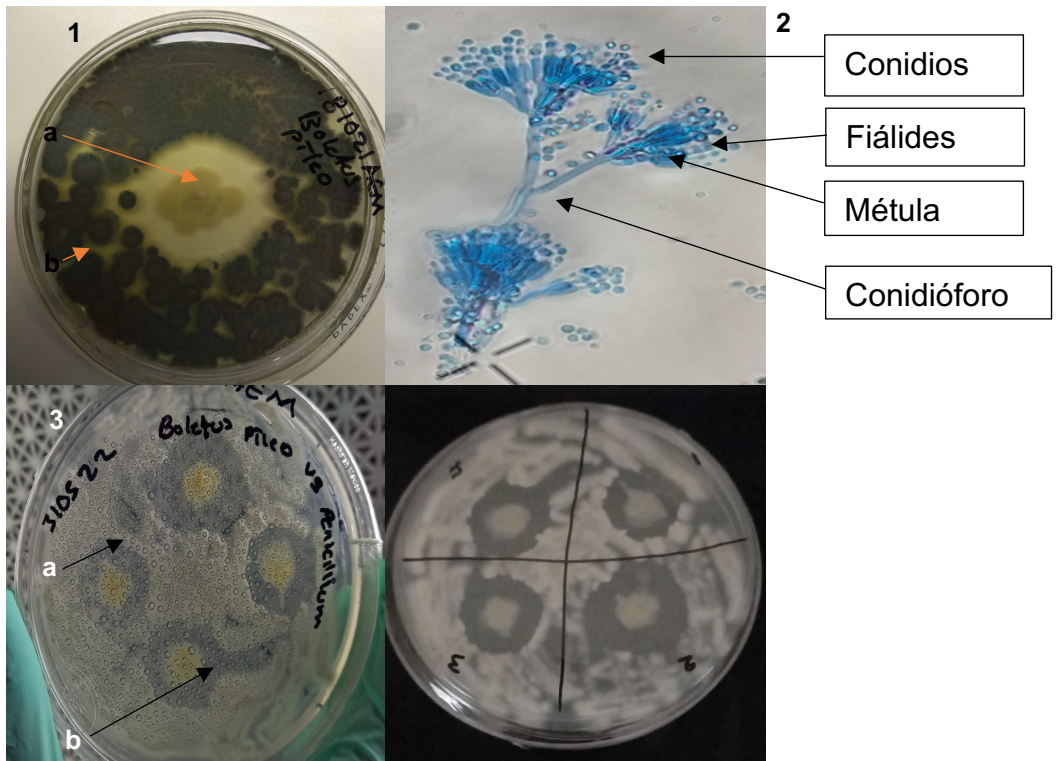


Figura 6. Actividad antifúngica de *Boletus loricellus* en AEM. 1) Ensayo preliminar: a) Cultivo *in vitro* de fracción púleo, b) *Penicillium sp.* 2) Estructura de *Penicillium sp.* a 40x. 3) Ensayo de actividad antifúngica. a) *Penicillium sp.*; b) *Boletus loricellus*. 4) Reverso de la placa.

Trabajo a futuro

Se pretende concluir la identificación de metabolitos secundarios con extractos de los basidiomas de *B. loricellus* y ampliar el ensayo de la actividad antifúngica, probando con otros microorganismos filamentosos, determinar actividad antibacteriana.

Conclusiones

El cultivo *in vitro* de la fracción púleo de *Boletus loricellus* en AEM, tiene la capacidad de producir tres metabolitos secundarios: alcaloides, catequinas y sesquiterpenlactonas; estos metabolitos pueden poseer propiedades medicinales. Con respecto a la actividad antifúngica, se presentó un pequeño halo de inhibición de 5 mm frente a *Penicillium sp.*, sin embargo, la zona de inhibición puede persistir por más de 10 días. Los compuestos encontrados en el cultivo de *Boletus loricellus* pueden estar asociados con la capacidad bioactiva antifúngica sobre el hongo *Penicillium sp.*

Referencias

- [1] A. López, M. Jiménez y J. Pérez. "Vocablos relacionados con el recurso micológico en el idioma de la cultura chinanteca de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, México". *Scientia Fungorum*, 46, 9-18. 2017.
- [2] G. Guzmán. "Hallucinogenic mushrooms in Mexico: an overview". *Econ. Bot.* 62:404-412. 2008.
- [3] Palomas Cubas. "Hongos". https://www.aulados.net/Botanica/Curso_Botanica/Hongos/31_hongos_general_texto.pdf. Fecha de consulta: 04/08/2023. 2023.
- [4] Arora, D. "California porcini: three new taxa, observations on their harvest, and the tragedy of no commons". *Economic Botany* 62: 356-375. 2008.
- [5] L. Tedersoo, T. W. May and M. E. Smith. "Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages". *Mycorrhiza* 20:217-263. 2010.
- [6] J. Álvarez, R. Garibay and M. Smith. "Caryophyllales are the main hosts of a unique set of ectomycorrhizal fungi in a Neotropical dry forest". *Mycorrhiza* 28(2): 103-115. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0807-7>. 2017.
- [7] J. Franco. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. https://www.ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf
- [8] G. Valencia del Toro y M. Garín. "Propiedades medicinales de los hongos comestibles". Incol: Primera edición. pág. 297. 2012.
- [9] M. A. Brizuela; L. García; L. Pérez, y L. Mansuret. Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. *Rev. Iberoam. Micol.* 15. 69-74. 1998.
- [10] A. Keller; M. Maillard, y K. Hostettman, "Antimicrobial steroids from the fungus *Fomitopsis pinicola*. *Phytochemistry*". 41(4). 1041-1046. 1996.
- [11] P. Guler; I. Akata, y F. Kutluer, "Antifungal activities of *Fomitopsis pinicola* (Sw.:Fr) Karst and *Lactarius vellereus* (Pers.) Fr." *African Journal of Biotechnology*. 8(16). 3811-3813. 2009.
- [12]. E. Cucaita. "Estudio químico comparativo de metabolitos secundarios de los hongos comestibles *Laccaria laccata* y *Lentinula edodes* y determinación de su variación respecto al estadio del hongo". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Sede Bogotá. 2007.
- [13] D. Da Graca Sgarbi. y et al. "Isolation of ergosterol peroxide and its reversion to ergosterol in the pathogenic fungus *Sporothrix schenckii*": *Mycopatología*, 139 (1), pags. 9-14. 1997.
- [14] Okuda T. Yoshioka y et. al. "Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides". *Nature*, 238 (80), pags. 59-60. 1972.
- [15] FAO. "El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos". Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Pag. 15. 2019.
- [16] J.I. Pitt y A.D. Hocking. *Penicillium* and Related Genera. In: *Fungi and Food Spoilage*. 3rd ed. New York: Springer. pp. 169-263. 2009.

- [17] M. Carrillo, E. Ferraez, A. Ocha, V. Sánchez, L. Estrada y A. Gómez. "Peniciliosis cervicofacial. Reporte de dos casos y revisión de literatura". Revista, Dentista y paciente. No. 116. 2018.
- [18] L. Suhul y A. Carlos. Determinación de metabolitos secundarios presentes en el hongo *Schizophyllum commune* (oreja de palo) cultivados en laboratorio, provenientes de cepas aisladas en 5 localidades de Guatemala. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC; 2011.
- [19] J. Gabriel; A. Arango. "Alcaloides y compuestos nitrogenados". Tesis de licenciatura. Facultad de Química Farmacéutica; Medellín. 2008.
- [20] J. García, J. Marmolejo, R. Valenzuela, T. Raymundo, R. Díaz - Moreno, F. Garza Ocañas y F. San Martín. "Hongos. En: La biodiversidad en Coahuila ". Estudio de Estado, vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México, pp.143-153. 2018.
- [21] A. E., Bassette, W. C. Roody and A. R. Bassette. "*Boletes* of Eastern North America ". 1st edition. Syracuse University Press. Syracuse, NY USA. p. 471 .2016.
- [22] <https://earth.google.com/web/@17.06469558,-96.14277182,2176.81679367a,605408.2820195d,34.99999997y,0h,0t,0r>
- [23] F. Garza, J. García, M. Quiñonez, G. Guevara, R.Valenzuela, A. Carrillo, Laura. Sánchez, H. Villalón y M. García. "*Boletus luridellus* (Murr.) Murrill y *Quercus fusiformis* Small: cultivo, síntesis de micorrizas y producción de esporomas en invernadero". Rev. Mexicana de Ciencias Forestales: ISSN 2007-1132. vol.9 no.50 México nov./dic. 2018.
- [24] J. Carrillo, R. Méndez, P. Miranda, R. Gutiérrez y C. Reyes. "Análisis micoquímico y potencial terapéutico de *pleurotus ostreatus*". Rev. Desarrollo científico en México, ISBN: 978-607-95228-9-6. 2019.
- [25] V. Leliebre y C. Nogueiras. "Composición química del hongo basidiomiceto cubano, *Trametes versicolor*". Acta Botánica Cubana, Vol. 218, No. 1, pp. 11-20. 2019.
- [26] M. Mora. "Determinación estructural de los metabolitos secundarios triterpenoidales en búsqueda de antimicrobianos de un hongo silvestre *Aphyllophoral* colombiano". Magister en Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá D.C., Colombia. 2010
- [27] A. Simón y A. Escobar. "Efectos inmunomoduladores y antimicrobianos de basidiomicetos comestibles y cultivados del género *Pleurotus spp*". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2018.
- [28] G. Leal. "Metabolitos secundarios biológicamente activos de *Ganoderma australe* en la inhibición del crecimiento de hongos de interés". Tesis, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción. 2022.

**XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.
UJAT**

RESUMEN Y TRABAJO EN EXTENSO

ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <aperez_santiago@hotmail.com>

Mar 19/09/2023 06:38 PM

Para:sicyta.ujat@gmail.com <sicyta.ujat@gmail.com>

 2 archivos adjuntos (699 KB)

EXTENSO-SICYTA-2023.docx; RESUMEN-SICYTA-2023.docx;

COMITÉ CIENTÍFICO DEL XI SIMPOSIO INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Envío el siguiente trabajo para poner a su consideración su presentación en el XI Simposio Internacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, así como su publicación en el Libro Electrónico con ISBN:

"IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y ANTIOXIDANTE DE HONGOS COMESTIBLES SILVESTRES RECOLECTADOS EN OAXACA"

Autores: Monserrat Vargas-Ríos, Yesenia Aragón-López, Baleria Hernández-Chávez, Aymara Díaz-Barrita, Marco Antonio Sánchez-Medina, Alma Dolores Pérez-Santiago*

MODALIDAD: ORAL

TEMÁTICA: NUTRICIÓN, ALIMENTACIÓN Y SALUD

Se anexan el Resumen y Documento en Extenso en los formatos proporcionados.

Quedo al pendiente de la confirmación de la recepción de los documentos, así como de sus comentarios y observaciones.

Saludos cordiales.

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca
aperez_santiago@hotmail.com
alma.ps@oaxaca.tecnm.mx

Importancia nutricional y antioxidante de hongos comestibles silvestres del estado de Oaxaca

Montserrat Vargas-Ríos¹, Yesenia Aragón-López¹, Baleria Hernández-Chávez¹, Aymara Díaz-Barrita¹, Marco Antonio Sánchez-Medina¹, Alma Dolores Pérez-Santiago^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125, Esq. Calzada Tecnológico, Oaxaca 68030, México.

*e-mail: aperez_santiago@hotmail.com

Palabras clave: Hongos silvestres comestibles, propiedades antioxidantes, fenoles totales, valor nutricional.

Los hongos comestibles silvestres (HCS) son importantes por su valor nutricional y/o medicinal y han adquirido gran interés en los últimos años debido a los beneficios de algunos metabolitos secundarios bioactivos que producen, entre ellos, los compuestos fenólicos. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades antioxidantes de HCS recolectados en el bosque de San Mateo Río Hondo, Santa María Yavesía y San Agustín Etla, para lo cual se realizó el análisis químico proximal de las especies. Se reporta que en su mayoría los HSC recolectados están compuestos principalmente por carbohidratos y fibra, seguido de proteína, y tienen muy poca cantidad de grasa, lo que los convierte en un alimento con un excelente contenido nutricional. Se evaluó la capacidad antioxidante de los hongos por diversas técnicas como la cuantificación de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, se determinó la actividad antioxidante total y el poder reductor. *Hypomyces lactifluorum* resultó ser la especie con mayor concentración (39.6460 mg EAA/g muestra) medida con la técnica de poder reductor y *Ganoderma brownii* de SAE (4.3102 mg EAA/g muestra) con actividad antioxidante total. En referencia al contenido de fenoles totales *Ramaria sp* destaca entre las demás especies (8.0088 mgEAG/muestra).

Nutritional importance and antioxidant evaluation of wild edible mushrooms from the state of Oaxaca

Montserrat Vargas-Ríos¹, Yesenia Aragón-López¹, Baleria Hernández-Chávez¹, Aymara Díaz-Barrita¹, Marco Antonio Sánchez-Medina¹, Alma Dolores Pérez-Santiago^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125, Esq. Calzada Tecnológico, Oaxaca 68030, México.

*e-mail: aperez_santiago@hotmail.com

Key words: Edible wild mushrooms, Antioxidant properties, Total phenols, Nutritional value

Wild edible mushrooms (HCS) are important for their nutritional and/or medicinal value and have acquired great interest in recent years due to the benefits of some bioactive secondary metabolites they produce, among them, phenolic compounds. The objective of this work was to determine the antioxidant properties of HCS collected in the forest of San Mateo Río Hondo and Santa María Yavesía, for which the proximal chemical analysis of the species

was performed. It is reported that most of the HSC collected are mainly composed of carbohydrates and fiber, followed by protein, and have very little fat, which makes them a food with an excellent nutritional content. The antioxidant capacity of the mushrooms was evaluated by various techniques such as quantification of total phenolic compounds and total flavonoids, total antioxidant activity and reducing power were determined. *Hypomices lactifluorum* proved to be the species with the highest concentration (39.6460 mg EAA/g sample) measured with the reducing power technique and *Ganoderma brownii* of SAE (4.3102 mg EAA/g sample) with total antioxidant activity. In reference to the content of total phenols *R. sp* stands out among the other species (8.0088 mgEAG/sample).

**IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y ANTIOXIDANTE DE HONGOS COMESTIBLES
SILVESTRES RECOLECTADOS EN OAXACA**

NUTRITIONAL IMPORTANCE AND ANTIOXIDANT EVALUATION OF WILD EDIBLE MUSHROOMS COLLECTED IN OAXACA

M. Vargas-Ríos¹, Y. Aragón-López¹, B. Hernández-Chávez¹, A. Díaz-Barrita¹, M.A. Sánchez-Medina¹, A. D. Pérez-Santiago^{1*}

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125, Esq. Calzada Tecnológico, Oaxaca 68030, México.
e-mail: aperez_santiago@hotmail.com

Resumen

Los hongos comestibles silvestres (HCS) son importantes por su valor nutricional y/o medicinal que han adquirido gran interés en los últimos años debido a los beneficios de algunos metabolitos secundarios bioactivos que producen, entre ellos, los compuestos fenólicos. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades antioxidantes de HCS recolectados en los bosques de San Mateo Río Hondo, Santa María Yavesía y San Agustín Etla, del estado de Oaxaca, para lo cual se realizó el análisis químico proximal de las especies. Se reporta que en su mayoría los HSC recolectados están compuestos principalmente por carbohidratos y fibra, seguido de proteínas, y tienen muy poca cantidad de grasa, lo que los convierte en un alimento con un excelente contenido nutricional. Se evaluó la capacidad antioxidante de los hongos por diversas técnicas como la cuantificación de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, se determinó la actividad antioxidante total y el poder reductor. *Hypomices lactifluorum* resultó ser la especie con mayor concentración (39.6460 mg EAA/g muestra) medida con la técnica de poder reductor y *Ganoderma brownii* de SAE (4.3102 mg EAA/g muestra) con actividad antioxidante total. En referencia al contenido de fenoles totales *Ramaria sp* destaca entre las demás especies (8.0088 mgEAG/muestra).

Palabras clave: Hongos silvestres comestibles, propiedades antioxidantes, fenoles totales, valor nutricional.

Abstract

Wild edible mushrooms (HCS) are important for their nutritional and/or medicinal value and have acquired great interest in recent years due to the benefits of some bioactive secondary metabolites they produce, among them, phenolic compounds. The objective of this work was to determine the antioxidant properties of HCS collected in the forests of San Mateo Río Hondo, Santa María Yavesía and San Agustín Etla, in the state of Oaxaca, for which the proximal chemical analysis of the species was performed. It is reported that most of the HSC collected are mainly composed of carbohydrates and fiber, followed by proteins, and have very little fat, which makes them a food with an excellent nutritional content. The antioxidant capacity of the mushrooms was evaluated by various techniques such as quantification of total phenolic compounds and total flavonoids, total antioxidant activity and reducing power were determined. *Hypomices lactifluorum* proved to be the species with the highest concentration (39.6460 mg EAA/g sample) measured with the

reducing power technique and *Ganoderma brownii* of SAE (4.3102 mg EAA/g sample) with total antioxidant activity. In reference to the content of total phenols *Ramaria* sp stands out among the other species (8.0088 mgEAG/sample).

Key words: Edible wild mushrooms, antioxidant properties, total phenols, nutritional value

1. Introducción

Se conoce como hongo comestible al cuerpo fructífero de un hongo (Boa, 2004; Miralles, 2005). En general, los hongos silvestres comestibles poseen bajos contenidos de grasas y un contenido mayor de proteínas, carbohidratos, minerales y energía, adicionalmente tienen gran cantidad de agua que suele oscilar entre el 70 y el 90% (Colak *et al.*, 2009). Actualmente se reconoce que por la composición de metabolitos que contienen pueden tener efectos benéficos para la salud con un amplio espectro de propiedades farmacológicas, que incluyen propiedades antidiabéticas, antioxidantes, antivirales, antibacterianos, osteoprotectores, nefroprotectores, hepatoprotectores, etc. Tanto los hongos silvestres comestibles como los considerados medicinales poseen actividades terapéuticas y biológicas, que son evidentes a partir de los ensayos *in vivo* e *in vitro* (Anusiya *et al.*, 2021). Se han reportado diferentes clases de metabolitos secundarios con actividad biológica (López-Vázquez *et al.*, 2017). Es evidente que el consumo de hongos comestibles es importante en nuestra dieta por su valor nutricional y probablemente para favorecer la salud. Los macromicetos se han considerado como alimentos funcionales que son médicamente competentes en terapias contra el cáncer, con actividad hipolipidémica, y como antivirales (López-Vázquez *et al.*, 2017; Rathee *et al.*, 2012). La exploración de hongos silvestres comestibles y la identificación de sus componentes activos con potencial valor terapéutico sigue siendo un desafío, por lo tanto, los hongos silvestres comestibles seguirán siendo el centro de atención más destacado de la investigación en la perspectiva futura (Rathee *et al.*, 2012).

2. Materiales y métodos

1. Material

El material fúngico de los bosques de San Mateo Río Hondo (SMRH), Santa María Yavesía (SMY) y San Agustín, Etlá (SAE) fue proporcionado por el equipo de trabajo de posgrado (M. en C. Baleria María Hernández Chávez y M. en C. Yesenia Aragón López) e identificadas por los expertos: Dr. Ricardo Valenzuela Garza y el Biólogo Héctor Aguilar Reyes. Se empleó el hongo *Agaricus bisporus* como referencia por ser un hongo cultivado y del cual se conocen sus parámetros químicos. Este se obtuvo de mercados locales.

2. Métodos

Determinación de humedad. Secado en estufa (NMX-F-294-SCFI-2011).

Determinación de extracto etéreo. Método de Soxhlet (Método AOAC 920.39)

Determinación de proteína. Método de Kjeldahl (Método AOAC 045.01)

Determinación de cenizas (Método AOAC 923.03).

Determinación de fibra (NMX-Y-094-SCFI-2012).

Determinación de flavonoides totales. Se siguió el método descrito por Ebrahimzadeh *et al.*, 2008.

Determinación de compuestos fenólicos totales. Se utilizó el método descrito por Singleton *et al*, 1999.

Determinación de actividad antioxidante total. Se realizó el método de Prieto *et al*, 1999.

Determinación de poder reductor. El poder reductor se determinó según el método descrito por Babu y Rao, 2013.

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se presenta el contenido nutricional de los hongos estudiados, los resultados se expresan en base seca. Los valores obtenidos en el análisis químico proximal de este trabajo fueron comparados con los reportados para *A. bisporus*, por Atila, *et al*, 2021: proteína de 29.14%, carbohidratos de 51.05% y grasas de 1.56%; mientras que los obtenidos en este trabajo son: proteína de 32.45%, carbohidratos de 38.22% y grasas de 1.86%. Es decir, estos valores pueden variar de acuerdo al tipo de cultivo, sustrato, época del año, etc.; sin embargo, nuestros valores están en el rango previamente reportado.

Tabla 1. Resultados del análisis químico proximal

Especie	DETERMINACIÓN (g/100 g de muestra)				
	<u>Cenizas</u>	<u>Extracto etéreo</u>	<u>Proteína</u>	<u>Fibra</u>	<u>Carbohidratos</u>
<i>A. bisporus</i> (comercial)	0.2499	1.8608	32.4526	27.2096	38.2271
<i>G. brownii</i> (SMRH)	0.1424	1.0000	15.0439	42.7528	41.0609
<i>G. brownii</i> (SAE)	5.2589	0.5894	12.0365	40.0561	42.0591
<i>G. brownii</i> (SMY)	2.8454	1.1972	16.1804	28.1937	51.5833
<i>H. lactiflorum</i> (SMRH)	0.1272	2.1065	34.8800	51.3820	11.5043
<i>Ramaria sp.</i> (SMRH)	0.1252	4.2020	35.1048	26.9244	33.6436
<i>F. pinicola</i> (SMY)	0.4204	7.3884	14.5643	47.4734	30.1535
<i>T. abietinum</i> (SMY)	1.1036	0.0378	11.3986	50.4331	37.0269
<i>N. lepideus</i> (SAE)	3.7950	0.6325	16.7113	21.9571	56.9041

Por otra parte, se observa que los hongos con mayor contenido de proteínas son *H. lactiflorum* (SMRH) y *Ramaria sp* (SMRH) con 34.88 y 35.10 g/100 g de muestra respectivamente. En cuanto al contenido de carbohidratos, *N. lepideus* (SAE) y *G. brownii* (SMY) son los que contienen la mayor proporción, 59.90 y 51.58 g/100 g de muestra, respectivamente. La variación de los valores entre hongos de las mismas especies, pero de comunidades diferentes, puede deberse al estado de maduración en que se encuentran al momento de la determinación. Se han reportado estas variaciones en algunos alimentos, por ejemplo, en el mango Tommy Atkins (Villamizar *et al.*, 2019) y en el jengibre (Jaimez *et al.*, 2021).

En general, en los hongos el contenido de grasa o extracto etéreo es muy bajo comparado con el contenido proteico o de carbohidratos, se observa para *T. abietinum* (SMY) y *G.*

brownii (SAE) valores de 0.0378 y 0.5894 respectivamente; mientras que para *A. bisporus* se ha reportado entre 1.6 y 2.2% (Wani *et al.*, 2010). En cuanto al contenido de fibra observamos altos valores en *H. lactiflorum* (SMRH), *T. abietinum* (SMY) y *G. brownii* (SMRH), con 51.3820, 50.4331 y 42.7528 respectivamente. Para *A. bisporus* se ha reportado de 23.26 % (Cano y Romero, 2016). Los carbohidratos, proteínas, lípidos, fibras, minerales y vitaminas presentes en los hongos silvestres los recomiendan como alimentos saludables y una fuente potencial de nutrientes esenciales y compuestos bioactivos terapéuticos.

Tabla 2. Resultados de la evaluación antioxidante.

ESPECIE	Poder reductor (mgEAA/g)	Actividad antioxidante total (mgEAA/g)	Fenoles totales (mgEAG/g)	Flavonoides (mgEQ/g)
<i>A. bisporus</i> (comercial)	5.0893	8.5077	2.9825	1.1761
<i>H. lactiflorum</i> (SMRH)	39.646	4.3389	5.6020	2.7555
<i>Ramaria sp.</i> (SMRH)	33.6460	7.9449	8.0088	2.5892
<i>G. brownii</i> (SMRH)	3.1005	7.5954	2.1982	1.7721
<i>G. brownii</i> (SAE)	21.9799	14.3102	3.9557	1.3249
<i>N. lepideus</i> (SAE)	3.2513	4.6872	2.8534	0.8690
<i>F. pinicola</i> (SMY)	3.3240	2.3716	3.2658	1.0074
<i>G. brownii</i> (SMY)	9.7042	7.0855	4.3191	0.9797
<i>T. abietinum</i> (SMY)	0.0376	2.1325	2.0980	1.1087
<i>N. lepideus</i> (C)	12.00195	4.5679	4.3759	0.6878

En la tabla 2 se observa que en el caso de *G. brownii* los compuestos fenólicos totales fueron 2.1982 y 3.9557 mgEAG/g para especies de SMRH y SAE, estos valores se consideran bajos en comparación con un estudio donde se obtuvieron concentraciones elevadas (100.33 mg EAG/g) de extractos etanólicos de *G. brownii*, los cuales fueron preparados a partir de cultivos en laboratorio (Islas *et al.*, 2017), y no directamente de especies recolectadas como los realizados en este trabajo. En otro estudio de *G. brownii* se reportaron valores de 46.3 mg EAG/g y de 26.3 mgEQ/g de fenoles y flavonoides totales (Singh *et al.*, 2021).

La capacidad reductora de un compuesto puede servir como indicador significativo de su potencial actividad antioxidante. Los resultados de la actividad antioxidante total y reducción de ferrocianuro revelan que *A. bisporus* por ejemplo, está por encima de la especie *G. brownii*. En otro reporte donde se trabajaron las mismas técnicas, pero no las mismas especies, se analizaron hongos comestibles del estado de Durango, encontrando valores que oscilan entre 4.19 y 17.91 mgEAA/g para actividad antioxidante y 0.0089 mgEAA/g para reducción de ferrocianuro (Mares, 2014). También se han reportado valores de poder reductor por el método de la reducción de ferrocianuro que son de 5.47 mg/ml para el sombrero y 7.91 mg/ml para el pie, para *A. bisporus* (Babu y Rao, 2013).

En realidad, la capacidad antioxidante total es un método que se ha estudiado mayormente en plantas medicinales por ejemplo *Adhatoda vasica* Nees y *Sesbania grandiflora*. La actividad de poder antioxidante y reductor total en *A. vasica* resultó ser de $83,7 \pm 1,76$ AAE/g y $40,3 \pm 0,288$ Vit E E/g respectivamente, mientras que en *S. grandiflora* se encontró que fue de $46,7 \pm 1,44$ AAE/g y $35,3 \pm 1,154$ Vit E E/g respectivamente (Padmaja, 2011). Otros autores reportaron que en hojas de *Coccinia grandis* con disolventes diferentes al etanol, como cloroformo, se encontraron valores de $31.66 \mu\text{g}$ de vitamina E equivalente/100 μg (Umamaheswari y Chatterjee, 2008).

Con los datos de la tabla 2 se realizó una prueba estadística de Spearman mediante el programa SPSS y se obtuvo que los métodos no están correlacionados. Aunque no hubo correlación entre las diferentes técnicas de la evaluación antioxidante, *H. lactifluorum* resultó ser la especie con mayor concentración (39.6460 mg EAA/g muestra), con la técnica de poder reductor; y *G. brownii* de SAE (4.3102 mg EAA/g muestra) con actividad antioxidante total. En referencia al contenido de fenoles totales *Ramaria sp* destaca entre las demás especies (8.0088 mgEAG/muestra).

4. Conclusión

En su mayoría los hongos silvestres comestibles estudiados en este trabajo, están compuestos principalmente por carbohidratos y fibra, seguido de proteína, y tienen muy poca cantidad de grasa, lo que los convierte en un alimento con un excelente contenido nutricional. Aunque no hubo correlación entre las diferentes técnicas de la evaluación antioxidante, *H. lactifluorum* resultó ser la especie con mayor concentración (mg EAA/g muestra) medida con la técnica de poder reductor y *G. brownii* (SAE) con actividad antioxidante total. En referencia al contenido de fenoles totales *Ramaria sp* destaca entre las demás especies.

Referencias

- Boa, E. (2004). Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población, No. 17. FAO, Roma. 161 p.
- Miralles, Bellver, L. (2005). Agentes medioambientales. Mad. S. L. Sevilla España. 1ª ed.
- Colak, A., Faiz, O., & Sesli, E. (2009). Nutritional composition of some wild edible mushrooms. *Turkish Journal of Biochemistry*, 34(1), 25-31.
- Anusiya, G., Gowthama Prabu, U., Yamini, N. V., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Bharath, G., & Banat, F. (2021). A review of the therapeutic and biological effects of edible and wild mushrooms. *Bioengineered*, 12(2), 11239-11268. DOI: 10.1080/21655979.2021.2001183
- López-Vázquez, E., Prieto-García, F., Gayosso-Canales, M., Sánchez, E. O., & Ibarra, J. V. (2017). Phenolics acids, flavonoids, ascorbic acid, b-glucans and antioxidant activity in Mexican wild edible mushrooms. *Italian Journal of Food Science*, 29(4). DOI: 10.14674/IJFS-838
- Rathee, S., Rathee, D., Rathee, D., Kumar, V., & Rathee, P. (2012). Mushrooms as therapeutic agents. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22(2), 459-474. DOI: 10.1590/S0102-695X2011005000195

NORMA MEXICANA NMX-F-294-SCFI-2011 INDUSTRIA AZUCARERA Y ALCOHOLERA- DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN MUESTRAS DE AZÚCARES CRISTALIZADOS

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA.

NMX-Y-094-SCFI-2012. ALIMENTOS PARA ANIMALES-DETERMINACION DE FIBRA CRUDA EN ALIMENTOS BALANCEADOS E INGREDIENTES MAYORES

Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F., & Bekhradnia, A.R. (2008). Iron chelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *65 African Journal of Biotechnology*, 7, 3188-3192.

Singleton, V., Orthofer, R., Lamuela, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods of Enzymology*, 299, 152-178

Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, 269(2), 337-341. DOI: 10.1006/abio.1999.4019

Babu, D. R., & Rao, G. N. (2013). Antioxidant properties and electrochemical behavior of cultivated commercial Indian edible mushrooms. *Journal of food science and technology*, 50(2), 301-308.

Atila, F., Owaid, M. N., & Shariati, M. A. (2021). The nutritional and medical benefits of *Agaricus bisporus*: a review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 281-286.

Wani, B. A., Bodha, R. H., & Wani, A. H. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2598-2604.

Cano-Estrada, A., & Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 75-80.

Rugolo, M., Mascoloti Spréa, R., Dias, M. I., Pires, T. C., Añibarro-Ortega, M., Barroetaveña, C., ... & Barros, L. (2022). Nutritional composition and bioactive properties of wild edible mushrooms from native *Nothofagus* Patagonian forests. *Foods*, 11(21), 3516.

Villamizar-Vargas, R., Quiceno-Gómez, C., & Giraldo-Giraldo, G. (2019). Cambios fisicoquímicos durante la maduración del mango Tommy Atkins en la poscosecha. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1).

Jaimez-Ordaz, J., Contreras-López, E., González-Mesillas, F., González-Olivares, L. G., Onofre-Sánchez, J. E., & Ramírez-Godínez, J. (2021). Caracterización física y química de *Zingiber officinale* en diferentes estados de maduración para su uso potencial en la elaboración de bebidas saludables. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 82-87.

Ramos, M., Burgos, N., Barnard, A., Evans, G., Preece, J., Graz, M., ... & Jiménez, A. (2019). *Agaricus bisporus* and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds. *Food chemistry*, 292, 176-187.

I. Palacios, M. Lozano, C. Moro, M. d'Arrigo, M. A. Rostagno, et al.. (2011). Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 128 (3), pp.674-678.

Islas-Santillán, M. Á., Castañeda Ovando, A., Álvarez Delgadillo, A., Valenzuela Garza, R., Romero-Bautista, L., & Torres-Valencia, J. M. (2017). Estudio preliminar de la

actividad antioxidante de tres especies del género *Ganoderma* (Polyporaceae) nativas del estado de Hidalgo, México. *Revista mexicana de micología*, 46, 37-45.

Singh, R., Shri, R., Singh, A. P., & Dhingra, G. S. (2021). Valorization of *Ganoderma* Species: Chemical Characterization and Antidepressant-Like Activity. *Waste and Biomass Valorization*, 12(4), 2025-2036.

Mares, Quiñones, M. D. (2014). Análisis de componentes antioxidantes en hongos silvestres comestibles consumidos en el salto, pueblo nuevo, Durango (Doctoral dissertation)

Padmaja, M., Sravanthi, M., & Hemalatha, K. P. J. (2011). Evaluation of antioxidant activity of two Indian medicinal plants. *Journal of phytology*, 3(3).

Umamaheswari, M., & Chatterjee, T. K. (2008). In vitro antioxidant activities of the fractions of *Coccinia grandis* L. leaf extract. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 5(1), 61-73.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca
División de Estudios de Posgrado e Investigación

VI CONGRESO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES, SISTEMAS DE PRODUCCIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

27 de septiembre de 2023

Estimados autores (as),

Yesenia Aragón-López, Alma Dolores Pérez-Santiago, Ricardo Valenzuela-Garza, Marco Antonio Sánchez-Medina, Iván Antonio García-Montalvo.

Nos es muy grato informarles que su trabajo:

CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO Myriostoma

ha sido aceptado en la modalidad: **ORAL** para ser presentado dentro del VI Congreso Nacional de Recursos Naturales, Sistemas de Producción e Innovación Tecnológica (CORENSI 2023), que se celebrará del 4 al 6 de octubre del presente año, en las Instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Por lo anterior, le solicitamos que se reporte en el módulo de recepción de ponencias una hora antes de la hora en que está programada, para recibir su archivo y canalizarlo a la mesa correspondiente. Es indispensable que al menos uno de los autores se encuentre inscrito en el evento, de lo contrario no podrá emitirse la constancia correspondiente.

Sin otro particular, agradecemos mucho su aportación científica que favorece el intercambio académico y la divulgación científica.

Atentamente
Excelencia en Educación Tecnológica
Ciencia y tecnología para el campo

Comité organizador CORENSI 2023



Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71230. Tel. 01 (951 517 04 44 – 951 517 33 85).
e-mail: cbas_voaxaca@tecnm.mx tecnm.mx | www.voaxaca.tecnm.mx



ARTÍCULO ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN EN LA REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS

Comentarios para el editor/a

x

Participantes [Editar](#)

Alma Dolores Perez Santiago (2473)



Mensajes	
Nota	De
<p>Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz</p> <p>Editor en Jefe</p> <p>Revista Mexicana de Agroecosistemas</p> <p>Por medio de la presente, el autor que en ella suscribe y en representación de los autores Yesenia Aragón-López, Alma Dolores Perez-Santiago, Ricardo Valenzuela-Garza, Marco Antonio Sanchez-Medina, Ivan Antonio García-Montalvo, en calidad de autor/es exclusivo/s acepta/n que su manuscrito titulado "CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO <i>Myriostoma</i>" sea sometido a consideración del proceso editorial de la Revista Mexicana de Agroecosistemas editada por el Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca.</p> <p>Atentamente</p> <p>Alma Dolores Pérez Santiago</p> <p>Autor de correspondencia</p>	<p>2473</p> <p>2023-09-15</p> <p>19:51</p>
<p>▶ Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz</p> <p>Editor en Jefe</p> <p>Revista Mexicana de Agroecosistemas</p>	<p>2473</p> <p>2023-10-02</p> <p>22:11</p>

[Q Buscar](#)

septiembre 15, 2023 Texto del artículo

[Descargar todos los archivos](#)

[Añadir discusión](#)

ltima respuesta	Respuestas	Cerrado
473 023-10-02 22:11	1	<input type="checkbox"/>
473 023-09-22 11:36	1	<input type="checkbox"/>
	0	<input type="checkbox"/>

Correcciones a su manuscrito

Revista Mexicana de Agroecosistemas I. T. del Valle de Oaxaca <rmae@voaxaca.tecnm.mx>

Mié 04/10/2023 01:00 PM

Para:aperez_santiago@hotmail.com <aperez_santiago@hotmail.com>

 1 archivos adjuntos (882 KB)

CULTIVO IN VITRO Myriostoma_RevEditor.docx;

Estimada Alma D. Perez-Santiago

Se sugieren algunas correcciones menores a su manuscrito, por lo que le anexamos su archivo para sus correcciones.

Le solicitamos que nos envíe la carta de originalidad firmada para que el proceso de arbitraje esté completo.

Envíos mediante la plataforma de la Revista Mexicana de Agroecosistemas y este correo (rmae@voaxaca.tecnm).

Saludos cordiales

CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO

Myriostoma

Cultivo in vitro de *Myriostoma*

[IN VITRO CULTURE AND PRELIMINARY PHYTOCHEMICAL SCREENING OF A FUNGUS OF THE GENUS

Myriostoma]

Yesenia Aragón-López¹, Alma Dolores Pérez-Santiago^{2§}, Ricardo Valenzuela-Garza³, Marco Antonio Sánchez-Medina⁴, Iván Antonio García-Montalvo⁵

¹Yesenia Aragón-López, Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca (ITO). Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

yesaragon12@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-3633-4406>

²Alma Dolores Pérez-Santiago, Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca (ITO). Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

aperez_santiago@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4410-7307>

³Ricardo Valenzuela-Garza. Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Ciudad de México, México.

ricardovalenzuela@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6596-5223>

⁴Marco Antonio Sánchez-Medina. Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca (ITO). Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

mmedinaito@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1411-5955>

⁵Iván Antonio García-Montalvo, Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca (ITO). Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

ivan.garcia@itoaxaca.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4993-9249>

^{2§}Autor de correspondencia: (aperez_santiago@hotmail.com)

CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUIMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO *Myriostoma*

RESUMEN

El trabajo de investigación fue realizado en la comunidad de Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, comunidad que cuenta con una gran biodiversidad de especies, entre las que destacan los hongos silvestres. El objetivo de este trabajo fue analizar un hongo del género *Myriostoma sp.* que pertenece a los hongos gasteroides, y cuyo uso potencial es como cicatrizante. Esta especie en particular presenta un endoperidio globoso que gracias a sus numerosos orificios permite la dispersión de las esporas. En el paraje “Lachigocha”, zona con clima cálido semiseco, se colectaron los cuerpos fructíferos de *Myriostoma sp.*, las muestras obtenidas se lavaron con hipoclorito de sodio al 5% y posteriormente con agua destilada estéril. Fragmentos de los carpóforos se colocaron para su crecimiento en los diferentes medios de cultivo selectivos para hongos: Agar Extracto de Malta (AEM), Agar Dextrosa Sabouraud (ADS), Agar Suero de Naranja (ASN), Agar Dextrosa y Papa (ADP). A partir de los cultivos en medios sólidos se evaluó la presencia de lectinas y la identificación de metabolitos con pruebas colorimétricas. Se observó que el hongo presentó un abundante crecimiento de micelio de color blanco en los diferentes medios de cultivo, siendo en agar suero de naranja donde el crecimiento fue más uniforme; se detectó la presencia de lectinas y presencia de alcaloides. Este reporte constituye el primer registro de *Myriostoma sp.* en la zona.

Palabras clave: Metabolitos, Lectinas, Gasteroides.

ABSTRACT

The research work was carried out in the Yaxe community, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, a community with a great biodiversity of species, among which wild mushrooms stand out. The objective of this work was to analyze a fungus of the genus *Myriostoma sp.* which belongs to the gasteroid fungi, and whose most important potential use is as a cicatrizant. This

species presents a globose endoperidium that, thanks to its numerous orifices, allows the dispersion of the spores. The fruiting bodies of *Myriostoma sp.* were collected in "Lachigocha", an area with a warm semi-dry climate. The samples obtained were washed with 5% sodium hypochlorite and then with sterile distilled water. Fragments of the carpophores were placed for growth in different culture media: Malt Extract Agar (MEA), Sabouraud Dextrose Agar (SDA), Orange Serum Agar (OSA), Potato Dextrose Agar (PDA). From the solid media cultures, the presence of lectins and the identification of metabolites were evaluated with colorimetric tests. It was observed that the fungus presented an abundant growth of white mycelium in the different culture media, being in orange serum agar where the growth was more uniform; the presence of lectins and alkaloids was detected. This report is the first record of *Myriostoma sp.* in the area.

Index words: *Myriostoma*, In vitro culture, Metabolites, Lectins

INTRODUCCIÓN

El estado de Oaxaca alberga una gran cantidad de especies, comprende diferentes climas dando lugar a una gran biodiversidad, sin embargo, existen comunidades como la comunidad de Yaxe, perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos ubicado en el estado de Oaxaca, donde no se tiene un registro de los recursos forestales no maderables. Esta comunidad posee un bosque de encino con clima templado subhúmedo y seco cálido semiseco, que alberga gran biodiversidad con especies de hongos silvestres, siendo gasteroides la mayoría de los hongos encontrados. Dada la importancia y el interés actual de los hongos silvestres como alimentos nutraceuticos y de potencial biotecnológico, se ha tratado de establecer condiciones para su cultivo y propagación. Bo, Velázquez y Kuhar (2021) menciona que existen hongos silvestres que liberan esporas a través de una polvera, es decir, no la liberan a través del himenio. Kuhar, Castiglia y Papinutti (2013) indican que la liberación de las esporas puede ser de dos formas, la primera es al secarse el cuerpo fructífero, la

gleba se abra y libera las esporas, o bien, que la gleba se convierta en un líquido pegajoso el cual es utilizado por algunos insectos como alimento, llevándose las esporas en su cuerpo esparciéndose en el camino , clasificados en géneros como los *Myriostoma*, *Calvatia*, *Geastraceae*, *Lycoperdon*, *Tulostomatales*, *Sphaerobolus*, *Geastrum*. Marco, Suárez y Robledo (2018) mencionan que una de las propiedades medicinales presentadas por estos géneros, es su uso para la cicatrización como es el caso de *Myriostoma coliforme*, *Bovista cunninghamii*, *Calvatia cyathiformis*, *Calvatia fragilis*, *Disciseda candida*, *Mycenastrum corium*, *Scleroderma bovista*. Esta propiedad se puede deber a la presencia de lectinas o metabolitos secundarios, debido a que estos tienen una participación activa en las propiedades antioxidantes, antiviral, antitumoral, antibacteriana, entre otras.

Algunas de estas especies fúngicas tienen relación con el ambiente ya que favorecen la formación de micorrizas, esta simbiosis entre el árbol y la especie fúngica ayuda a establecer condiciones óptimas entre ambos para mejorar el crecimiento, como es el caso de *Pisolithus tinctorius* (Pera, Parladé y Alvarez, 1994; Martin y Pais, 2004; Gomes et al. 2013), esta especie en particular además de ser comestible en etapa joven y de un sabor muy intenso que se puede usar para condimentar guisos, es utilizada como pigmento y posee propiedades antialérgicas (Jiménez-Nieva, Sánchez-González y Caetano-Sánchez, 2022).

Estos hongos en etapa joven tienen importancia en el patrón alimentario ya que son consumidos con frecuencia, así como las especies de *Lycoperdon perlatum* que poseen propiedades terapéuticas y antimicrobianas, y producen β -glucanos (Akpi, Odoh, Ideh y Adobu, 2017; Díaz-Talamantes, Burrola-Aguilar, Estrada-Zúñiga y Zepeda-Gómez, 2021).

Hedavoo (2020) y Díaz-Talamantes, Burrola-Aguilar, Aguilar-Miguel y Mata (2017) mencionan que existen especies como *Calvatia cyathiformis* y *Calvatia fragilis* que son consumidas ampliamente en países como la India, al igual Jiménez-Nieva, Sánchez-González

y Caetano-Sánchez (2022) en su investigación registraron que *Bovista aestivalis*, *Phallus impudicus* tienen sabor similar al rábano, poseen compuestos antirreumáticos y contra la epilepsia, *Rhizopogon luteolus* y *Rhizopogon roseolus* poseen propiedades antibacterianas (Jiménez-Nieva, Sánchez-González y Caetano-Sánchez, 2022; Sevindik y Bal, 2022).

Cortés-Pérez, Pérez-Pacheco, Yescas-Arreola y Ramírez-Cruz (2022) demostraron que las especies del género *Scleroderma* como *Scleroderma texense* tienen uso culinario en la Sierra Norte de Oaxaca, Jiménez-Nieva, Sánchez-González y Caetano-Sánchez (2022) registraron que *Astraeus hygrometricus* no posee interés culinario, sin embargo, es utilizado en medicina alternativa como cicatrizante en casos de quemaduras. La forma de dispersión que tienen todas estas especies fúngicas a través de la gleba permite que su distribución en el ambiente sea más amplia, contribuyendo al ecosistema produciendo una gran cantidad de cuerpos fructíferos jóvenes que son usados como alimento; así mismo facilita la reproducción del micelio en medios de cultivo *in vitro* por medio de las esporas, las cuales son conservadas en condiciones óptimas. Dado el impacto económico, cultural, biotecnológico y alimenticio que presentan estas especies, es importante establecer condiciones de cultivo *in vitro* para reproducirlas en forma de micelio como es el caso de *Lycoperdon perlatum* y *Pisolithus tinctorius* y así obtener los beneficios de sus propiedades medicinales y en la formación de micorrizas (Pera, Parladé y Alvarez, 1994; Akpi, Odoh, Ideh y Adobu, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La comunidad de Yaxe pertenece al municipio de Ocotlán de Morelos, Oaxaca, se localiza en las coordenadas geográficas entre los paralelos 16° 39' y 16° 46' de latitud norte; los meridianos 96° 24' y 96° 30' de longitud oeste; altitud entre 1 400 y 2 500 m (INEGI, 2010).

Cultivo *in vitro* en medio sólido

Una vez colectadas las muestras del hongo en la comunidad de Yaxe, se procedió a la preparación para su propagación *in vitro*. El aislamiento se realizó en una campana de flujo laminar, donde el cuerpo fructífero del hongo se cortó en secciones de aproximadamente 1 cm² con un bisturí, lavando una parte con hipoclorito de sodio (NaClO) al 5% y lo restante con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 3%, las fracciones se enjuagaron con agua estéril y se colocaron para su crecimiento en medios Agar extracto de malta. Del crecimiento activo de una placa, se realizó la inoculación en los siguientes medios con discos de agar de 5 mm de medio sólido en el centro de la placa: agar extracto de malta (AEM), agar dextrosa Sabouraud (ADS), agar suero de naranja (ASN), agar Dextrosa y papa (ADP) manteniendo en incubación a temperatura de 25° C.

Ensayo de actividad hemaglutinante (AH)

La prueba se realizó en una placa de micro titulación de fondo cóncavo, se colocaron 50 µL de PBS en cada pozo de la placa, posteriormente se añadieron 50 µL de la muestra (muestra obtenida del medio de cultivo) efectuando diluciones dobles seriadas con un volumen final de 50µL. Se adicionó a cada pozo 25 µL de eritrocitos humanos al 3%. Como control, en los primeros pozos se colocó PBS y suspensión al 3% de eritrocitos humanos del grupo 0 Rh+. Las lecturas se realizaron después de una hora de reposo a temperatura ambiente. Los resultados se registraron como positivo (pozos con hemaglutinación) y negativo (no presenta hemaglutinación). La mayoría de las lectinas aglutinan eritrocitos de todos los grupos sanguíneos, las que son específicas aglutinan eritrocitos humanos preferentemente de un determinado grupo sanguíneo.

Tamizaje fitoquímico

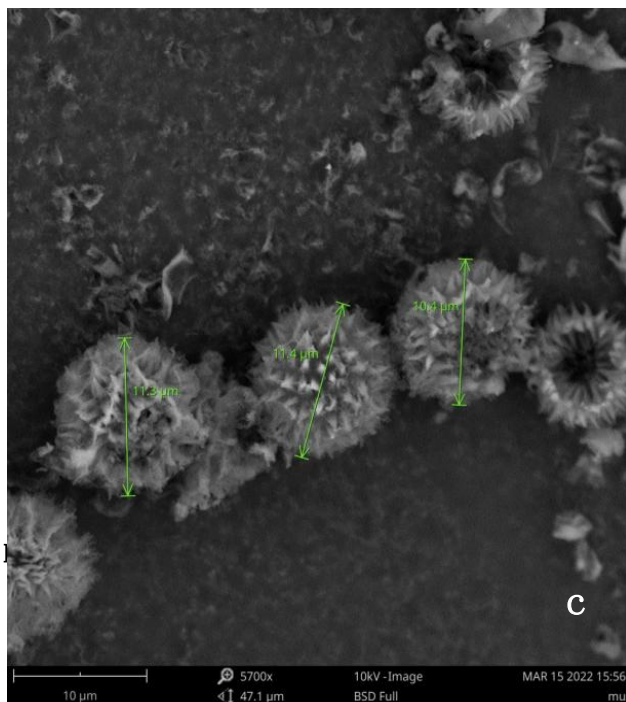
Para la identificación de metabolitos en el extracto del hongo, el micelio del hongo se maceró en PBS (buffer de fosfato salino) en una relación 1:2 y se incubó durante 24 h con agitación constante, posteriormente se centrifugó para recuperar el sobrenadante. Se utilizaron agentes cromógenos para las pruebas colorimétricas en la identificación de metabolitos, considerando como prueba positiva las siguientes coloraciones: alcaloides (precipitado café-naranja), flavonoides (xantonas y flavonas, amarillo-rojo; flavonoides, café-naranja; antocianinas, azul; chalconas; purpura rojizo), saponinas (si la altura de la espuma es >0.5cm por 30 minutos), taninos (ácido gálico azul-negro; catequina, verde; compuesto fenólicos; azul), cumarinas (azul-violeta), quinonas (rojo-violeta), glucósidos cardiotónicos (rojo oscuro) (Koneman et. al., 2014; Casamtjana, 2018; Oliveros et. al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción

Esta especie silvestre fue encontrada en el paraje conocido como “Lachigocha” (Figura 1) en una zona con clima seco cálido semiseco; la ubicación del hongo fue: Latitud: 33.7058147; Longitud: -111.01865184. Yaxe, Ocotlán de Morelos Oaxaca. En la zona se encontraron otras especies fúngicas como *Arachnion álbum*. *Myriostoma sp* está formado por un cuerpo fructífero con una capa externa que se abre formando una estrella de color marrón parduzco (Figura 1a, 1b, 1d), endoperidio con numerosos estomas o bocas circulares por donde expulsa las esporas (Figura 1d). Las esporas son globosas, marcadamente verrugosas de diámetro 11.03 μm (Figura 1 c). Se ha reportado este género por primera vez en São Paulo, SP, Brasil, en el 2020 y en Bolivia en el año 2019, y en 2021 en Italia (Maillard y Rocabado, 2019; Trierveiler-Pereira y Gugliotta, 2020; Perini et al., 2021). Hernández (1974) realizó los primeros registros de este género en los estados de Guerrero e Hidalgo, los cuales cuentan con una biodiversidad fúngica muy extensa.

En la comunidad de Yaxe, actualmente solo se consumen las especies de hongos silvestres *Agaricus campestris* y *Marasmius oreades*, los cuales son consumidos principalmente en mole



Cultivo *in vitro*

El cultivo fue realizado con un disco de agar de 5 mm sobre el medio de cultivo correspondiente. El hongo presentó un crecimiento considerable en los cuatro medios de

cultivo con presencia de un micelio de color blanco, y desarrollo abundante, de forma circular, consistencia suave. En los medios de cultivo ASN y ADS se presentó un crecimiento más rápido, sin embargo, en el medio de cultivo ASN se obtuvo un crecimiento más uniforme, el crecimiento en estas placas corresponde a un periodo de 2 semanas (Figura 2).

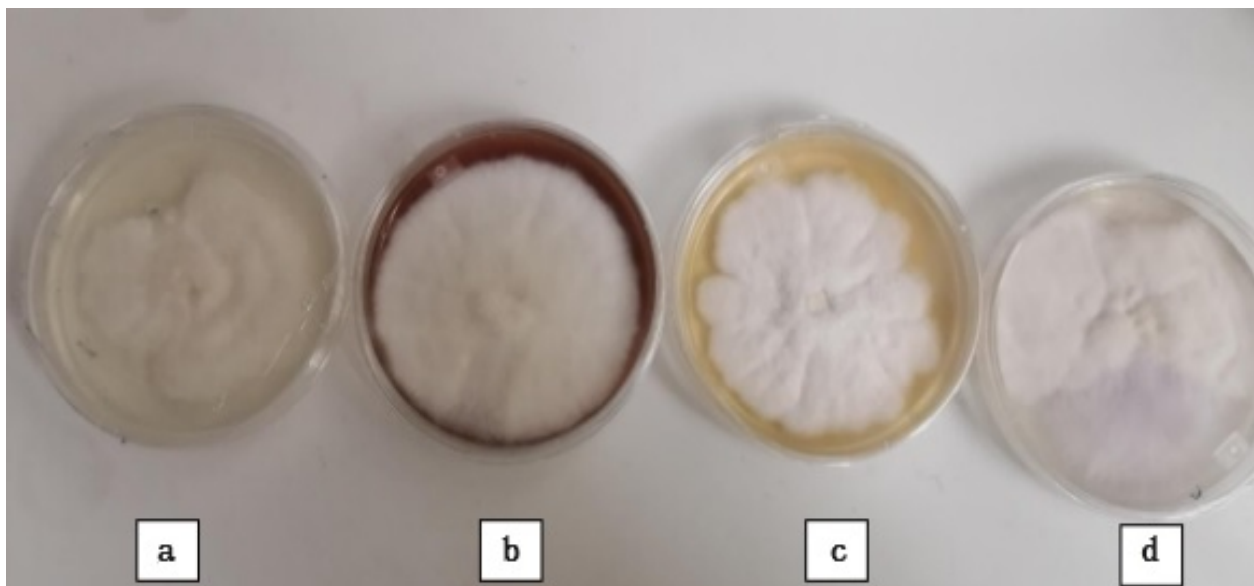


Figura 2. Crecimiento micelial de *Myriostoma* en medios de cultivo en agar. a (ADP), b (ASN), c (AEM), d (ADS). Se observa abundante micelio blanco en todos los medios, principalmente en B.

Actividad Hemaglutinante (HA)

Las lectinas de origen fúngico se han aislado del micelio obtenido en medios de cultivo *in vitro*, esporas y cuerpos fructíferos. En este caso, una vez obtenido el micelio en los diferentes medios de cultivo, este fue retirado para realizar la búsqueda de lectinas por hemaglutinación. Se observó que en el medio de agar suero de naranja se presenta actividad de lectina de 5 pozos (Figura 3).

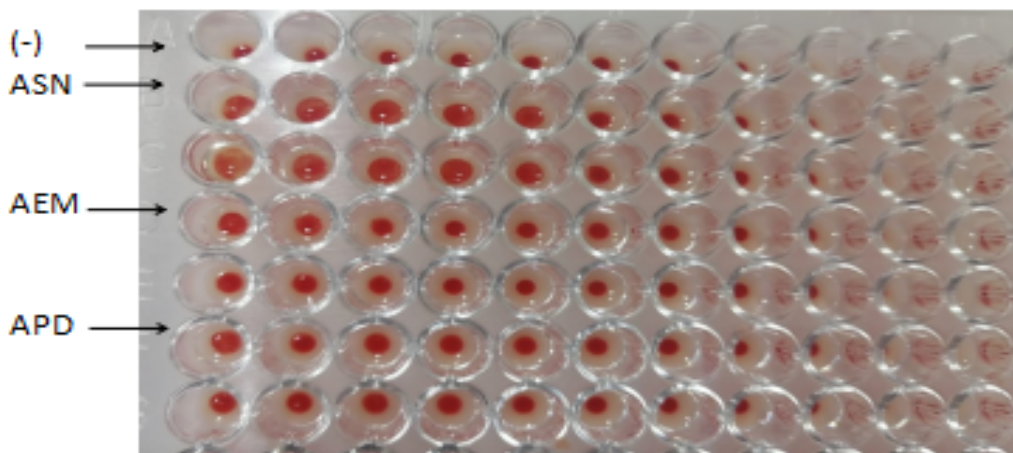


Figura 3. Actividad de lectina de *Myriostoma sp.* en diferentes medios de cultivo. Placa de micro titulación correspondiente a la actividad de lectina presentada por *Myriostoma sp.* en cultivos de 2 semanas. La fila del control negativo (-) contiene 50 µL de PBS y 25 µL de eritrocitos. La segunda y tercera fila contienen 50 µL de medio de cultivo ASN con eritrocitos, se observan 6 pozos de actividad; cuarta y quinta fila contienen AEM con eritrocitos, se observan dos pozos de actividad; sexta y séptima fila contienen ADP con eritrocitos, se observa un pozo de actividad; octava fila contiene ADS con eritrocitos, se observa un pozo de actividad. Se emplearon eritrocitos humanos tipo 0+ al 3% en todos los casos.

A través de los años se han analizado diferentes especies de hongos en la búsqueda de lectinas debido a sus propiedades biológicas, sin embargo la obtención de hongos silvestres ha sido una limitante debido a que solo se producen en ciertas épocas del año, es por ello que se ha optado por el cultivo *in vitro* de estas especies, ya que son una fuente de nuevas lectinas debido a sus potenciales usos médicos y biotecnológicos; y a sus propiedades antitumorales, antibacterianas y anti proliferativas. Actualmente se han extraído lectinas a partir del micelio de hongos silvestres que han sido reconocidos por sus usos medicinales como el caso de *Ganoderma applanatum*, la cual tiene afinidad a azúcares como arabinosa, glucosa, manosa, galactosa, maltosa, fructosa, N-acetil-D-glucosamina y *Trametes versicolor* con afinidad hacia galactosa (Mikiashvili, Elisashvili, Wasser, Nevo, 2006; Davitashvili, Kapanadze, Kachlishvili y Khardziani, Elisashvili, 2008).

Tamizaje fitoquímico

Se ha realizado identificación de metabolitos en carpóforos de especies de hongos silvestres, así como en medios de cultivo *in vitro*, el realizar el cultivo en medios sólidos o líquidos asegura un mayor control de la cantidad de biomasa producida en un

determinado tiempo, a su vez el utilizar cultivos de fermentación ayuda a tener control de pH, cantidad de biomasa y facilita el acceso ya que los hongos silvestres solo se producen por temporada. En la tabla 1 se resumen los metabolitos encontrados en el medio de cultivo de *Meryostoma sp.* donde (-) indica ausencia; (+) presencia débil; (++) presencia moderada; (+++) presencia significativa; ASN: agar suero de naranja; PDA: agar papa dextrosa; AEM: agar extracto de malta; nd: no detectado. Se identificó la presencia de alcaloides que, de acuerdo a la clasificación de los metabolitos secundarios y sus propiedades farmacológicas, en el grupo de los alcaloides se encuentran compuestos como quinolina, isoquinolina, indol, tropano, quinolizidina, piperidina, purina, pirrolizideno; algunos exhiben actividad biológica, pero la mayoría son muy tóxicos. Sin embargo, se ha reportado que algunos alcaloides funcionan como relajantes musculares, tranquilizantes, antitusivos o analgésicos (Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009).

Tabla 1. Tamizaje fitoquímico de *Myriostoma* en cultivo ASN

Grupo Químico	
Alcaloides	Flavonoides, Saponinas, Taninos, Cumarinas, Quinonas, Glucósidos cardiotónicos
+++	-

Obtener cultivos *in vitro*, en medios líquidos, y establecer las condiciones óptimas para el crecimiento de *Myriostoma sp* (temperatura, cantidad de medio, pH) nos permitirá tener un mayor control y rendimiento para la extracción de los metabolitos.

CONCLUSIONES

Este hongo a pesar de poseer un cuerpo fructífero pequeño al liberar esporas a través de la gleba facilita su reproducción en medios de cultivo debido a la conservación de las

esporas, así mismo realizando las pruebas de identificación *Myriostoma sp*, presenta actividad de lectina y se identificó la presencia de un metabolito secundario del grupo de los alcaloides el cuál podría ser la causante de ese propiedad medicinal cicatrizante, sin embargo, es necesario realizar pruebas piloto en medio de cultivo líquido y evaluar condiciones óptimas para la extracción del metabolito.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, por su apoyo brindado en los permisos de recolección de especies silvestres de hongos.

LITERATURA CITADA

- Akpi, U. K., Odoh, C. K., Ideh, E. E. & Adobu, U. S. (2017). Antimicrobial activity of *Lycoperdon perlatum* whole fruit body on common pathogenic bacteria and fungi. Africa Journal of Clinical and Experimental Microbiology, 18(2), 79-85. DOI: <https://doi.org/10.4314/AJCEM.V18I2.4>
- Ávalos- García, A & Pérez-Urria Carril E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología). 2(3):119-145. <http://darwin.bio.ucm.es/revistas/index.php/reduca-biologia/issue/archive>
- Bo, C., Velázquez, M. S. & Kuhar, J. F. (2021). Los hongos Gasteroides; Boletín Biológica; Boletín Biológica; 45; 7-2021; 31-33. <http://hdl.handle.net/11336/166664>
- Casamtjana, N. (2018). Glucósidos cardiotónicos. Centro de información del medicamento. Colegio oficial de farmacéuticos de Barcelona. ISSN 0213-9324, Vol. 16, N°. 4 (ABR), 2002, págs. 90-92
- Cortés-Pérez, A., Pérez-Pacheco, C. K., Yescas-Arreola, E. & Ramírez-Cruz, V. (2022). Primer registro de *Scleroderma texense* (Boletales, Sclerodermatinae) como una especie comestible en la Sierra Sur de Oaxaca, México. Scientia Fungorum, 52, e1386. DOI: <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1386>

Davitashvili, E. ; Kapanadze, E., Kachlishvili, E., Khardziani, T., Elisashvili, V. (2008).

Evaluation of higher basidiomycetes mushroom lectin activity in submerged and solid-state fermentation of agro-industrial residues. *Int. J. Med. Mushrooms*, 10, 171-179.

DOI: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v10.i2.80>

Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar C., Aguilar-Miguel, X., Mata G. (2017). Crecimiento

miceliar in vitro de hongos comestibles silvestres de alta montaña en el centro de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(3), 369-383.

2017. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.12.067>

Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar, C., Estrada-Zúñiga, M. E. & Zepeda-Gómez, C. (2021).

Obtención de β -glucanos de esporomas silvestres y micelio in vitro de *Lycoperdon perlatum*. *Scientia fungorum*, 52. DOI: <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1409>

Gomes, F., Machado H., San Martin E., Portugal A. & Canhoto J.M (2013). Mycorrhizal

synthesis between *Pisolithus arhizus* and adult clones of *Arbutus unedo* in vitro and in nursery. *Journal of Forestry Research* 24, 659-670. 201. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11676-013-0364-7>

Hedavoo, G. B. (2020). Especies de Calvatia: Bolas de hojaldre comestibles silvestres de

la región de Amravati (MS)”. *Plantae Scientia*, 3 (4), 30-34. DOI:

<https://doi.org/10.32439/ps.v3i4.30-34>

Hernández, R. (1974). Nuevas localidades del género Myriostoma en México. *Scientia*

Fungorum, (8), 71-72. DOI: <https://doi.org/10.33885/sf.1974.2.434>

Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información

geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Yaxe, Oaxaca clave geoestadística 20561

https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20561.

(10 de agosto del 2023)

- Jiménez-Nieva, F. J., Sánchez-González, F. de A. & Caetano-Sánchez C. (2022). Hongos. Ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva. En: Biología de Huelva: naturaleza, biodiversidad, bioindicadores y biomarcadores. Huelva: Universidad de Huelva, p. 145-186. ISB 978-84-18984-95-2. <http://hdl.handle.net/10272/21313>
- Koneman, W.M, Allen, S.D, Janda W.M., Schreckenber, P.C. & Winn, W.C. (2004). Diagnóstico Microbiológico. Editorial Panamericana, Buenos Aires, pp. 565-620.
- Kuhar, J.F; Castiglia, V. C., Papinutti & V. L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos; PAO; Revista Boletín Biológica. 28; 10-2013: 11-18. <http://hdl.handle.net/11336/7765>
- La Chiusa L. (2019). El gran libro de las setas de España y Europa. Parkstone Internacional. 2019
- Maillard, O. & Rocabado, D. (2019). Nuevos registros de hongos gasteroides (Agaricomycetes, Basidiomycota) para Bolivia². Bol. Soc. Micol. Madrid, 43.
- Marco, F., Suárez, M. E. & Robledo G. (2018). Hongos útiles Y tóxicos Según Los Yuyeros De La Paz Y Loma Bola (Valle De Traslasierra, Córdoba, Argentina). Boletín De La Sociedad Argentina de Botánica 53(2): 319-38. DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n2.20588>.
- Martins, A., & Pais, M. S. (2004). Nutrição mineral em plantas micorrizadas e não micorrizadas de *Castanea sativa* Mill com o fungo *Pisolithus tinctorius*: I. Teores de N, P e K ao longo de 90 dias de micorrização in vitro. In I Congresso Ibérico de Ciência do Solo. Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/6418>
- Mikiashvili, N.A., Elisashvili, V., Wasser, S.P., Nevo, E. (2006). Comparative study of lectin activity of higher basidiomycetes. Int. J. Med. Mushrooms, 1, 31 - 38. DOI: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v8.i1.30>

- Oliveros-Bastidas, A., Cordero, I., Paredes, D., Buendía, D., & Macías-Domínguez, F. A. (2018). Extracción y cuantificación de cumarinas mediante HPLC-UV en extractos hidroetanolicos de semillas de *Dipteryx odorata*. Revista Latinoamericana de Química, Naucalpan de Juárez, v. 39, n. 1-2, p. 17-31. ISSN 0370-5943. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-59432011000100002&lng=es&nrm=iso.
- Pera, J., Parladé J., & Alvarez I. F. (1994). Eficacia del tipo de inóculo de *Pisolithus tinctorius* en la formación de micorrizas en *Pinus pinaster* y *Pseudotsuga menziesii*. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, 3(1), 19-29. DOI:<https://doi.org/10.5424/517>
- Perini, C., Salerni E., Cantini, D, Antonini, D, Antonini, M., Bistocchi, G & Angelini, P. (2021). New insights confirming the presence of *Myriostoma coliforme* in Italy” . Czech Mycology, 73(2). DOI: <https://doi.org/10.33585/cmy.73208>
- Sevindik, M. & Bal. C. (2022). Chemical Characterization, Antibacterial, Antifungal, Antioxidant and Oxidant Activities of Wild Mushrooms *Rhizopogon luteolus* and *Rhizopogon roseolus*. Biology Bulletin, 49(Suppl 1), S101-S108. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062359022130180>
- Trierweiler-Pereira, L. & Gugliotta, A. D. M. (2020). Registro do gênero *Myriostoma* (Geastraceae, Basidiomycota) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo, SP, Brasil. Hoehnea, 47, e512019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-51/2019>

ANEXOS

(OTROS TRABAJOS ENVIADOS
PARA SU PUBLICACIÓN)



ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <alma.ps@oaxaca.tecnm.mx>

Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum

ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <alma.ps@oaxaca.tecnm.mx>
Para: cidici_editorial@toluca.tecnm.mx

2 de agosto de 2023, 1:34

Comité Editorial del 2do. Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería:

Me permito poner a su consideración la siguiente propuesta de artículo:

"Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum"

Para lo cual envío el documento en formato PDF y Word.

Quedo atenta a sus comentarios y observaciones. Agradezco de antemano la atención y consideración a nuestro trabajo. Les envío un cordial saludo.

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago

SNI Nivel I

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca

alma.ps@oaxaca.tecnm.mx

alma.ps@itoaxaca.edu.mx

2 adjuntos

 **Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum.docx**
83K

 **Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum.pdf**
174K



ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <alma.ps@oaxaca.tecnm.mx>

Artículo Divulgación

Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería

3 de octubre de 2023,

<cidici_editorial@toluca.tecnm.mx>

16:33

Para: ALMA DOLORES PEREZ SANTIAGO <alma.ps@oaxaca.tecnm.mx>

Estimado Autor-Autora:

¡Felicidades! En nombre del Comité editorial del programa CIDiCI-2023 nos complace informarle que su documento con la propuesta:

“Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de Solanum tuberosum”

ha sido aceptado para su presentación en formato Oral del "Congreso Internacional de Divulgación de la Ciencia y la Ingeniería 2023.”

NOTA: La aceptación o rechazo final será condicionada por la atención prestada a las observaciones que se presentan al final de este correo incluyendo el índice de similitud según sea el caso, enviando el artículo final con las correcciones adjuntas en un periodo no mayor a 7 días.

Atentamente

Comité editorial del CIDiCI-2023

Retroalimentación de los Autores:

Escribir el término de cronopotenciometría correctamente.

Mejorar la presentación de su figura, aumentar el tamaño de letra de los ejes y disminuir el tamaño del título.

Identificación electroquímica de la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum*

Salinas Cruz, Aarón David¹, Robledo Taboada, Luis Humberto¹, Sánchez Medina, Marco Antonio¹, García Montalvo, Iván Antonio¹, Hernández Bautista, Emilio¹, Gochi Ponce, Yadira², Pérez Santiago, Alma Dolores¹

¹Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

²Instituto Tecnológico de Tijuana, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tijuana, Baja California, México.

alma.ps@oaxaca.tecnm.mx

Resumen. Las técnicas electroquímicas permiten transducir fenómenos fisicoquímicos producidos por un analito en señales de utilidad analítica. La crono potenciometría permite identificar modificaciones superficiales en nanomateriales como por ejemplo los nanotubos de carbono funcionalizados con lectinas, así como interacciones moleculares específicas como lectina-carbohidrato y antígeno-anticuerpo. Es importante desarrollar técnicas innovadoras que permitan identificar este tipo de interacciones, dada su importancia actual en aplicaciones biomédicas. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar mediante crono potenciometría la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) con su azúcar específico (GlcNAc). Se comprobó la actividad de la lectina STL mediante pruebas de hemaglutinación en placa empleando eritrocitos humanos tipo O, A y B, corroborando la actividad específica de lectina (AEL) mediante ensayos de inhibición con diferentes azúcares. Posteriormente se realizó la funcionalización de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) empleando 150 µL de suspensión en PBS pH 7.2 y mezclándola con 600 µL de solución 1 mg.mL⁻¹ de lectina STL, agitando y manteniendo a 4°C durante 24 h, la mezcla se centrifugó a 10000 rpm por 1 h y se lavó repetidamente. Se generaron crono potenciogramas estándar para evaluar los nanomateriales, incluyendo NTCPM purificados, funcionalizados e incubados con GlcNAc. Se comprobó que la lectina STL empleada se encuentra activa. Los crono potenciogramas obtenidos permitieron detectar la funcionalización de los NTCPM con la lectina STL, siendo posible identificar la interacción de la lectina STL con GlcNAc de manera cualitativa y cuantitativa, con sensibilidad y especificidad.

Palabras clave: nanotubos de carbono, lectinas, interacción lectina-carbohidrato, electroquímica.

1. Introducción

Los dispositivos electroquímicos son capaces de transducir señales biológicas, permitiendo obtener información analítica útil [1]. Los nanotubos de carbono (NTC) son estructuras tubulares que poseen propiedades importantes para diversas aplicaciones, una característica importante de los NTC es la posibilidad de funcionalizarlos con diferentes moléculas biológicas [2]. Las propiedades de los NTC funcionalizados con moléculas que poseen sitios activos de reconocimiento molecular específico como las lectinas, permiten el montaje de bioconjugados, funcionando como transportadores de carga y electro-conductores, los cuales pueden ser caracterizados mediante métodos electroquímicos [3].

Los estudios alrededor de las lectinas han tomado relevancia, aunque se espera que este campo siga creciendo en cuanto a la traducción de los descubrimientos clínicos y el potencial desarrollo de aplicaciones biológicas y biomédicas. Las lectinas vegetales son candidatos prometedores como elementos de reconocimiento molecular y celular [4]-[6].

Por lo tanto, es importante continuar desarrollando e innovando técnicas electroquímicas que permitan caracterizar nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados con lectinas, detectando la modificación superficial de los nanomateriales, así como identificar la interacción lectina-carbohidrato del bioconjugado. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar mediante crono potenciometría la interacción lectina-carbohidrato en nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) con su azúcar específico (GlcNAc).

2. Fundamentos teóricos

Los nanotubos de carbono (NTC's) son alótopos del carbono, como el grafito y el diamante, descubiertos accidentalmente por S. Iijima, confundiendo en un principio con fullerenos. Su estructura puede derivarse de una lámina de grafeno enrollada sobre sí misma, por ello los diámetros y geometría interna pueden variar [7]. La funcionalización química es la modificación de propiedades por la adsorción de átomos o moléculas en las paredes exteriores o interiores de los NTC's. Derivado de este proceso, se pueden modificar las propiedades físicas de la superficie, mejorando su solubilidad y dispersión, las cuales son importantes para sus aplicaciones biológicas y biomédicas [8].

Las lectinas son un grupo de proteínas y glicoproteínas de origen no inmune, que poseen por lo menos un dominio no catalítico reversible y específico para azúcares tales como monosacáridos, glicoproteínas, glicolípidos, entre otros [9]. Para diferenciarlas de enzimas específicas a carbohidratos, también se define a las lectinas como proteínas de unión a carbohidratos que no modifican al receptor al establecer la unión [10]. En plantas, estas moléculas se encuentran presentes en su mayoría en los cotiledones y endospermos de las semillas en un 2 a 10% del total de proteína de éstas. Se sugiere que estas moléculas tienen diferentes funciones: regulación fisiológica, defensa contra el ataque de microorganismos, proteínas de reconocimiento simbiótico, entre otras [11]. Diversos estudios con numerosas lectinas vegetales han demostrado poseer actividad antitumoral y actividad anticancerígena [4].

La crono potenciometría (CP) es una técnica electroquímica, en la que se aplican al electrodo de trabajo diferentes valores constantes de corriente eléctrica, midiendo el potencial resultante entre ambos electrodos (trabajo y auxiliar). Debido a la disminución de la concentración del material electroactivo alrededor del electrodo de trabajo, el potencial cambia con el tiempo. Cuando la concentración es suficientemente pequeña, se observa un salto de potencial hacia el valor de otro sistema redox [12].

3. Desarrollo del trabajo

Determinación de actividad de lectina

Pruebas de hemaglutinación con lectinas purificadas

Se realizaron pruebas de hemaglutinación con la lectina purificada de *Solanum tuberosum* (Sigma-Aldrich®), efectuando diluciones dobles seriadas en una placa de microtitulación de fondo cóncavo, empleando *buffer* salino de fosatos pH 7.2 (PBS), adicionando a cada pozo 25 µL de una suspensión de eritrocitos (O, A y B) al 3%. La placa se agitó y se dejó reposar. Se tomaron como positivo la aglutinación de eritrocitos y como negativo la sedimentación de estos. Se completó esta actividad mediante ensayos de inhibición de la hemaglutinación con soluciones 0.4 M de los azúcares: 1) D-Ribosa, 2) D-Xilosa, 3) D-Glucosa y 4) N-Acetil-D-Glucosamina (Sigma-Aldrich®).

Síntesis de bioconjugado NTCPM-Lectina.

Se dispersaron 100 µg de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) oxidados y purificados (Sigma-Aldrich®) empleando PBS pH 7.2.

Se tomó una alícuota de 150 µL y mezclándola con 600 µL de solución 1 mg mL⁻¹ de lectina de *Solanum tuberosum* en PBS pH 7.2. En seguida, el bioconjugado se centrifugó, recuperando el sobrenadante para verificar la actividad de la lectina. El pellet de NTCPM funcionalizados se lavó dos veces con PBS pH 7.2, almacenando a 4°C hasta su utilización. Se realizaron pruebas de hemaglutinación con el bioconjugado para corroborar la funcionalización.

Caracterización de materiales y generación de curvas estándar

La caracterización de los materiales se realizó mediante el potencióstato Origaflex OGF01A empleando una celda cónica de vidrio con los siguientes electrodos: Electrodo de trabajo: filamento de platino (Griffin & George Laboratory Equipment), Electrodo de referencia: Filamento de platino (Origalys Electrochem) y Electrodo auxiliar: filamento de plata (Griffin & George Laboratory Equipment). Se empleó crono potenciometría con reversión de corriente a dos pasos como técnica de caracterización electroquímica. Para el procesamiento, análisis y visualización de datos se empleó el software Origamaster 5® versión 2.2.0.1. Se prepararon seis muestras con los materiales utilizados en este

estudio, tomando 150 μL de cada muestra (volumen de funcionalización) y se disolvieron en 5 mL de PBS pH 7.2 el cual se utilizó como electrolito de prueba en la medición potenciométrica, siendo las principales: NTCPM purificados, NTCPM funcionalizados con STL y NTCPM funcionalizados e incubados con N-Acetil-D-Glucosamina.

Resultados y discusión

La lectina de *Solanum tuberosum* (STL) presentó actividad hemaglutinante para los eritrocitos tipo O, A y B con títulos de 10, 9 y 9 pozos positivos respectivamente. Se observó mayor AEL de la lectina STL en las pruebas con eritrocitos tipo O, esto debido a la especificidad de la lectina para el azúcar N-Acetil-D-glucosamina [13]. El bioconjugado NTCPM-STL presentó actividad de lectina, corroborando la funcionalización y la actividad de la lectina en la superficie del nanotubo. Se obtuvieron potenciogramas característicos con patrones diferenciables en la forma de la onda entre cada muestra [14], [15]. Por su naturaleza química el PBS pH 7.2 resultó el electrolito adecuado para las pruebas, al contar con una caída de voltaje menor, proporcionando el mejor contexto electrolítico para detectar diferencias de potencial atribuibles a la presencia de compuestos tales como nanotubos de carbono, proteínas y azúcares [16]. Se pudo observar una diferencia significativa en la forma de la onda al comparar NTCPM purificados, funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) y en presencia de N-Acetil-D-Glucosamina (Fig. 1).

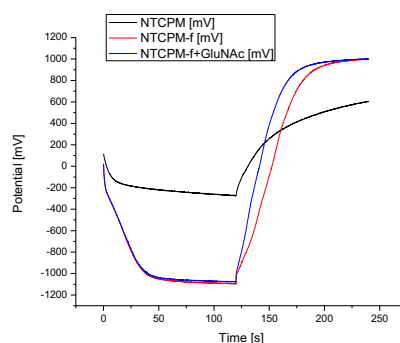


Fig. 1. Crono potenciograma comparativo NTCPM purificados, funcionalizados y en presencia de GlcNAc: barrido 1 (negro) NTCPM purificados, barrido 2 (azul) NTCPM funcionalizados con STL y barrido 3 (rojo) NTCPM en presencia de GlcNAc.

Se pudo observar una diferencia significativa en la forma de la onda al comparar NTCPM purificados, funcionalizados con la lectina de *Solanum tuberosum* (STL) y en presencia de N-Acetil-D-Glucosamina (Fig. 8.9). Los NTCPM purificados presentaron la menor caída de voltaje, tomando en cuenta que se encontraban en mayor concentración en el electrolito ($100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) en comparación con los nanotubos funcionalizados ($0.02 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) [17], [18].

4. Conclusiones

La crono potenciometría, permite identificar la interacción lectina-carbohidrato entre la lectina STL adherida a la superficie del nanotubo de carbono de pared múltiple y el azúcar N-Acetil-D-Glucosamina, desde el punto de vista cualitativo (forma de la curva) y cuantitativo (parámetros electroquímicos), con sensibilidad y especificidad. Es necesario continuar la experimentación electroquímica probando con la modificación de diferentes variables, por ejemplo: el tipo de experimento, los tipos de electrodos, los parámetros iniciales del experimento, la concentración de los analitos y la preparación de las muestras.

5. Referencias

1. Thevenot, D., Toth, K., Durst, R., Wilson, G.: Electrochemical biosensors: Recommended definitions and classification. In: Biosens Bioelectron, pp. 1216-131 (2001).
2. Andrade, G., López, L., Sáenz, A.: Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. In: Rev Mex Cienc Farm, pp. 9-18 (2012).

3. Zhang, X., Teng, Y., Fu, Y., Zhang, S., Wang, T., Wang, C., Jina, L., Zhang, W.: Lectin-based electrochemical biosensor constructed by functionalized carbon nanotubes for the competitive assay of glycan expression on living cancer cells. In: *Chem Sci*, pp. 2353-2360 (2011).
4. Castillo-Villanueva, A., Abdullaev, F.: Lectinas vegetales y sus efectos en el cáncer. In: *Rev Invest Clin*, pp. 55-64 (2005).
5. Coulibaly, F., Youan, B.: Current status of lectin-based cancer diagnosis and therapy. In: *AIMS Molecular Science*, pp. 1-27 (2017).
6. Khan, F., Khan, M.: Fungal Lectins: Current Molecular and Biochemical Perspectives. In: *International Journal of Biological Chemistry*, pp. 1-20 (2011).
7. Iijima, S.: Helical microtubules of graphitic carbon. In: *Nature*, pp. 56-58 (1991).
8. Enyashin, A., Ivanovskii, A.: Functionalization of carbon nanotubes by covalently bonded graphite nanoplatelets: a theoretical study. In: *Mendeleev Commun*, pp. 199-201 (2007).
9. Gupta, G.: Animal lectins: form, function and clinical application. In: Ed. Springer Link (2012).
10. Sharon, N., Lis, H.: Lectins. Dordrecht. In: Ed. Springer Netherlands (2007).
11. Pusztai, A.: Plant lectins. In: Cambridge: Cambridge University Press (1991).
12. Molina, A., González, J., Morales, I.: Reversal and cyclic chronopotentiometry with exponential current-time functions at spherical Electrodes. Reversibility effects and experimental verification. In: *Collect Czech Chem Commun* (2003).
13. Arbeláez, C.: Sistema de grupo sanguíneo ABO. In: *Med Lab*, pp. 329-47 (2009).
14. Das, B., Toledo-Carrillo, E., Li, G., Stähle, J., Thersleff, T., Chen, J., et al.: Bifunctional and regenerable molecular electrode for water electrolysis at neutral pH. In: *J Mater Chem A*, (2023).
15. Cánovas, R., Parrilla, M., Blondeau, P., Andrade, F.: A novel wireless paper-based potentiometric platform for monitoring glucose in blood. In: *Lab Chip*, (2017).
16. Harris, A., Newbold, C., Carter, P., Cowan, R., Wallace, G.: Using chronopotentiometry to better characterize the charge injection mechanisms of platinum electrodes used in bionic devices. In: *Front Neurosci*; 13:380, (2019).
17. Hassan, S., Galal-Eldin, A., Amr, A., Al-Omar, M., Kamel, A.: Single-Walled carbon nanotubes (SWCNTs) as solid-contact in all-solid-state perchlorate ISEs: applications to fireworks and propellants analysis. In: *Sensors*, (2019).
18. Izadi, N.: Electrochemical Analysis of Proteins at Charged Interfaces (Tesis doctoral). In: Institute of Biophysics, Czech Academia of Science, v.v.i, (2022).



14 de septiembre de 2023

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago
PRESENTE

Me es grato informarle que hemos recibido el documento electrónico titulado “**14-kDa trypsin inhibitor in maize and its wild relatives**”, mismo que será sometido a un proceso anónimo por pares de revisión científica y editorial coordinado por la Revista Mexicana de Fitopatología (RMF) para su posible publicación.

Se le asignó la clave: **RMF/2309-2**, con la cual haremos referencia durante el proceso de revisión y será usted el canal de comunicación en su carácter de autor de correspondencia.

Le agradezco la confianza en la RMF, órgano de difusión de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, para la publicación de sus actividades de investigación.

Reciba un atento y cordial saludo,

Atentamente,

Dr. Gustavo Mora Aguilera
Editor en Jefe

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.



Identification of the gene related to pathogenesis-10 in *Zea mays ssp. parviglumis* and *Zea diploperennis*

Journal:	<i>The Plant Pathology Journal</i>
Manuscript ID	PPJ-OA-09-2023-0120
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	03-Sep-2023
Complete List of Authors:	Hernández Morales, José; Universidad Autonoma Benito Juarez de Oaxaca Facultad de Medicina, Centro de investigación, Facultad de Medicina UNAM-UABJO Sánchez Medina , Marco ; Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación Pina Canseco, María; Universidad Autonoma Benito Juarez de Oaxaca Facultad de Medicina, Centro de Investigación, Facultad de Medicina UMAN-UABJO Rosas Murrieta, Nora; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular Vásquez Luis, Patricia ; Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación Pérez Santiago, Alma; Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación
Keyword:	Bet v 1, <i>pr</i>-10, teosinte

SCHOLARONE™
Manuscripts

1 **Identification of the gene related to pathogenesis-10 in *Zea mays* ssp. *parviglumis* and *Zea***
2 ***diploperennis***

3

4 José Luis Hernández-Morales^a, Marco Antonio Sánchez-Medina^b, María del Socorro Pina-
5 Canseco^a, Nora Hilda Rosas-Murrieta^c, Patricia Vásquez-Luis^b and Alma Dolores Pérez-
6 Santiago^b

7

8 ^aResearch Centre Medicine UNAM-UABJO, Faculty of Medicine, Benito Juárez Autonomous
9 University of Oaxaca, Avenida San Felipe del Agua (2,69 km), C.P. 68020 Oaxaca. México. ^b

10 National Technological Institute of Mexico / Technological Institute of Oaxaca, Avenida Ing.
11 Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca. México. ^c

12 Biochemistry and Molecular Biology Laboratory. Meritorious Autonomous University of
13 Puebla, 4 Sur 104 Centro Histórico, C.P. 72000. Puebla. México.

14

15 Correspondence should be addressed to Alma Dolores Pérez-Santiago:
16 alma.ps@oaxaca.tecnm.mx. Oaxaca de Juárez, Oaxaca. C.P. 68030. Telephone: +52
17 9512299730

18

19 Gene *pr-10* in teosintes

20

21

22 Abstract

23 The PR-10 protein gene has been identified and evaluated in maize, but not in its wild relatives.
24 The objective of this study was to identify and partially sequence the *pr-10* gene in teosintes:
25 *Zea mays* ssp. *parviglumis*, *Zea diploperennis*, as well as conical type corn. Oligonucleotides
26 for endpoint PCR were designed from conserved regions and sequences homologous to the
27 maize *pr-10* gene. The genetic material was isolated from coleoptiles. The oligonucleotides
28 were designed to amplify in nucleotide region 119-628 corresponding to the LOC100192117
29 gene of the maize B73. The *in-silico* analysis of the sequences confirmed the presence of the
30 *pr-10* gene in the teosintes, these nucleotide sequences consist of two exons interrupted by an
31 intron. A phylogenetic tree showed the sequences in a monophyletic group. The partial amino
32 acid sequence of ssp. *parviglumis* presented the highest percentage of identity with the
33 reference sequence (AY953127). In the amino acid sequences, a region rich in glycine was
34 revealed, reported with ribonucleolytic activity. Nucleotide analysis of the *pr-10* gene, showing
35 intraspecific and interspecific genetic variability. The amino acid sequences showed the typical
36 folding of the Bet v 1 subfamily, is a member of plant pathogenesis-related proteins.

37
38 **Keywords:** Bet v 1, *pr-10*, maize, protein, teosinte.

40 Introduction

41 Pathogenesis-related (PR) proteins (PRp) are defined as proteins encoded in response to
42 infection by pathogens or stress by plants (Jain and Kumar, 2015). These proteins have been
43 classified into 17 different families, PR-1 to PR-17, based on their primary structure,
44 serological activity, and biological activity (Liu and Ekramoddoullah, 2006). One of the most
45 represented groups of genes related to pathogenesis is those of the PR-10 class. PR-10 proteins

46 are members of a multigene family, and they often occur in clusters at specific loci after gene
47 amplification and duplication events (Jain and Kumar, 2015).

48 The first report of a *pr-10* gene was in parsley, in this was established the PR-10 class
49 (Somssich et al., 1988). Reports PR-10 proteins have been added in grasses, in species of the
50 Poaceae family such as *Phyllostachys heterocycla* (Peng et al., 2010) and *Aegilops tauschii*
51 (Zimin et al., 2017). Also, in species of economic importance such as *Sorghum bicolor* (Lo et
52 al., 1999), *Oryza sativa* (Jwa et al., 2001), *Hordeum vulgare* (Steiner-Lange et al., 2003), *Zea*
53 *mays* (Chen et al., 2006), *Triticum aestivum* (Zhang et al., 2010), and *Erianthus arundinaceus*
54 (Chakravarthi et al., 2016).

55 PR-10 proteins are similar in size, total charge, and amino acid sequence (Wen et al., 1997).
56 The deduced sequence ranges from 154 to 163 residues with molecular masses around 16.6 to
57 17.5 kDa (Hoffmann-Sommergruber et al., 1997). The *pr-10* genes generally consist of two
58 exons interrupted by a conserved 76–359 bp intron inserted in triplet 62 as observed in the
59 *Betula verrucosa*, *Corylus avellana*, and *Malus domestica* sequences. The open reading frame
60 of the *pr-10* genes ranges from 465 to 480 bp (Hoffmann-Sommergruber et al., 1997). Although
61 the sequences of the PR-10 proteins diverge considerably, a well-conserved sequence motif is
62 known as the phosphate-binding loop (GXGGXG). This could be functions as a nucleotide-
63 binding site, also it is involved in RNase activity for some PR-10 proteins (Liu and
64 Ekramoddoullah, 2006).

65 Chen *et al.*, (2006) evaluated the *pr-10* gene and showed an increase in its expression when
66 faced with *Aspergillus flavus* infection, the study reports that the recombinant protein expressed
67 in *Escherichia coli* and the extracts of leaves of transgenic tobacco plants, that express *pr-10*
68 of maize, have ribonucleolytic activity *in vitro* and inhibition of the growth of *A. flavus*.

69

70 The low expression of *pr-10* in maize evidenced a greater sensitivity to heat stress and a higher
71 concentration of aflatoxins, besides showed significantly higher colonization of *A. flavus*
72 compared to the non-silenced control (Chen et al., 2009). Of the members of the genus *Zea*, of
73 the family Poaceae, only in maize has the *pr-10* gene been identified and evaluated; even
74 though there are other ecologically important members such as the teosintes. In these species,
75 identification of resistance genes, has not been studied. For this reason, the objective of the
76 study is to identify nucleotide sequences, predict a protein sequences and analyze the
77 phylogeny of *pr-10* gene in two the teosintes, the *Zea mays* ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley
78 and *Zea diploperennis* Iltis, Doebley & Guzmán, and in the conical type of *Zea mays* L.

79

80 **Materials and Methods**

81 **Polymerase Chain Reaction (PCR)**

82 Teosintes & maize's germplasm was donated by M.C. Flavio Aragón Cuevas, Researcher in
83 Genetic Resources at the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research
84 (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]-Oaxaca,
85 Mexico). Genomic DNA was extracted from the coleoptiles of *Zea mays* ssp. *parviglumis*, *Zea*
86 *diploperennis*, and conical type maize, with the method proposed by Keb-Llanes et al. (2002).
87 The amount of DNA obtained was quantified with NanoDrop (Thermo Scientific, Nano Drop
88 2000). The purity of the DNA was analyzed by the standard absorbance ratio for DNA (260/280
89 nm). The oligonucleotides were designed from conserved regions of sugarcane *pr-10* mRNA
90 sequences (KY213889), sorghum (AY751553), and maize (AY953127) with the PRIFI online
91 software (<https://services.birc.au.dk/prifi/>). The selected sequences were: forward
92 AACAGCTGGACCCTCGAGAT and reverse TAGTTGTAGGCGTCGGGGTT, they were
93 named PR-10zea.. For the Polymerase Chain Reaction (PCR), Master Mix 2X (Promega,
94 catalog number: M7502) was used following the manufacturer's instructions, the

95 oligonucleotides were adjusted to a final concentration of 2 $\mu\text{M}/\mu\text{L}$ and the genomic DNA was
96 adjusted to a final concentration of 10 $\text{ng}/\mu\text{L}$. The program in the thermal cycler was: an initial
97 denaturation of 94° C for 5 minutes, 30 cycles; with denaturation of 94° C for 2 minutes,
98 alignment of 59° C for 30 seconds and, extension at 72° C for 34 seconds; final extension at
99 72° C for 5 minutes.

100

101 **Purification of the PCR products**

102 The purification of the PCR products was carried out with the GeneJET Gel Extraction Kit
103 (Thermo Scientific) from the 1% agarose gel, according to the manufacturer's instructions.
104 Clones of *Zea mays* ssp. *parviglumis* (PR-10P), *Zea diploperennis* (PR-10D), and maize (PR-
105 10M) were sent to the Institute of Biotechnology (Instituto de Biología [IBt]) - UNAM
106 for sequencing using the Sanger method.

107

108 **Analysis of the sequences, prediction of their nucleotide and amino acid structure**

109 Nucleotide sequences were analyzed with the Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)
110 (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) to find regions of similarity between biological
111 sequences stored at the National Center for Biotechnology Information (NCBI). Pairwise
112 alignment of sequences using the EMBOSS Needle tool
113 (https://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss_needle/) for sequence identity. Structure prediction
114 of nucleotide sequences and amino acid sequence prediction was performed with the plant gene
115 search engine FGENESH (<http://www.softberry.com>) and this structure and amino acid
116 precision was corroborated in the National Center for Biotechnology Information (NCBI)
117 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) when depositing the nucleotide sequences.

118

119 **Phylogenetic analysis**

120 The multiple alignment of the sequences obtained for the analysis of phylogenetic relationships
121 were performed with the MUSCLE tool of the European Molecular Biology Laboratory
122 (EMBL) (<https://www.embl.org/>) that uses multiple sequence comparison by logarithmic
123 expectation. . The phylogenetic relationships and the construction of the tree were carried out
124 with the Mega 11 program (<https://www.megasoftware.net/>). The evolutionary history was
125 inferred using the Maximum Likelihood method and the Tamura-Nei model.

126

127 **Results**

128

129 **Identification of the *pr-10* gene in the teosintes: *Zea mays* ssp. *parviglumis* & *Zea*** 130 ***diploperennis***

131 To identify the *pr-10* gene, *Zea mays* ssp. *parviglumis*, *Zea diploperennis*, and conical type
132 maize we purified and amplified a 563 bp region PCR. The three purified PCR products were
133 sequenced. Figure 1 shows the PCR products of 563 bp, negative control, and a actin gene as
134 positive product of 900 bp. The sequences were deposited in the National Center for
135 Biotechnology Information as follows *Zea mays* ssp. *parviglumis* access number: MW604720;
136 *Zea diploperennis* access number: MW604721; conical maize access number: MW604722.

137 The nucleotide sequences were analyzed with the BLAST tool. To recognize the most
138 significant sequences of *pr-10*, an E-value of 0.0 was considered. Using the E-value, a
139 similarity greater than 97% was obtained with the *pr-10* gene of maize. MW604720 presented
140 an identity of 99.80% and a coverage of 100% with the AY953127.1 reference sequence, in
141 addition, it presented identity of 92.09% and 91.57% and a coverage of 100% with the
142 sequences of *Saccharum arundinaceum* (access number KY213889.1 and KP284557),
143 respectivel, considering an E-value of 0.0. The MW604721 sequence only aligned with
144 AY953127, presented identity of 97.56% and a coverage of 98%. The MW604722 sequence

145 presented identity of 98.04% and a coverage of 99% with the AY953127 reference sequence
146 of *Zea mays*, with the sequences KY213889 and KP284557, presented an identity 91.80% and
147 91.44%, respectively; 99% coverage for both sequences.

148 The EMBOSS Needle tool aligned the nucleotide sequences and found that the AY953127
149 sequence has an identity percentage of 70.4%, 66.9%, and 70.08 with the partial sequences of
150 ssp. *parviglumis*, *Zea diploperennis*, and maize, respectively. While the sequence of ssp.
151 *parviglumis* has an identity percentage of 94.3 and 95.7% with *Zea diploperennis* and maize,
152 respectively. The sequence of *Zea diploperennis* and maize share 91.4% identity.

153

154 **Conserved organization of the structural region of the *pr-10* gene**

155 The partial sequence of ssp. *parviglumis* (MW604720) was 503 bp. According to the
156 FGENESH program, it is composed of two partial exons separated by an intron of 93 bp, an
157 open reading frame of 410 bp. Meanwhile, the sequence recovered from *Zea diploperennis*
158 (MW604721) was 487 bp and is composed of two exons separated by a 99 bp intron; with an
159 open reading frame of 388 bp. The maize sequence (MW604722) was 498 bp, it comprises two
160 partial exons with an open reading frame of 409 bp and an intron of 89 bp. In Figure 2 the
161 aforementioned nucleotide and amino acid sequences are illustrated with the AY953127
162 reference sequence.

163 Multiple alignment of the introns of MW604722, MW604720, and MW604721 with the
164 AY953127 maize reference sequence, it was observed that the three introns have an equivalent
165 location to the introns in the reference sequence and presented the splice sites of exons 5' AG-
166 GT and 3' AG-TC. The introns showed a content of 41.94%, 40.40%, and 41.57% of AT,
167 respectively. In Figure 3, shows the genus *Zea* alignment with related sequences; *Saccharum*
168 *arundinaceum* (KY213889 and KP284557) and *Sorghum bicolor* (AY751554, AY751551,
169 AY751553, and AY751552). These three genera belong to the Poaceae family and were

170 compared with the sequence of *Betula verrucosa* (Z72430), representative of the subfamily of
171 proteins 10 with Bet v 1 domain to which the PR10 proteins belong.

172 The four sequences of the genus *Zea*, the two sequences of the genus *Saccharum* and the four
173 of the genus *Sorghum* shared the 3' AG-TC splice site, while *Betula verrucosa* presented a 3'
174 AG-GC splice site. Regarding size, the sequence of ssp. *parviglumis* showed 93 bp, as well as
175 the reference sequence, while the conical type maize presented 89 bp, 4 bp less than AY953127.
176 The sequence of *Zea diploperennis*, on the other hand, presented 99 bp; 6 bp more than
177 AY953127 and 10 bp more than the conical type maize. Differences in intron size were
178 observed in the two *Saccharum* sequences as in the maize sequences. All aligned sequences
179 shared a more or less regular intron size of 89 to 99 bp.

180

181 **Phylogenetic relationship in nucleotide sequences of *Zea mays* ssp. *parviglumis***
182 **(MW604720) *Zea diploperennis* (MW604721) and conical maize (MW604722) with other**
183 ***pr-10* sequences**

184 To establish the phylogenetic relationship of the sequences obtained from ssp. *parviglumis*,
185 *Zea diploperennis*, *Zea mays*, and sequences of some species of the main genera genetically
186 closest to maize, within the Poaceae family, the maximum likelihood method was used. For
187 the analysis *Betula verrucosa*, *Malus domestica*, and *Corylus avellana* sequences were
188 included to have an extensive study in *pr-10* sequences. In the tree of Figure 4, it can be seen
189 that the three sequences were grouped with the AY953127 reference sequence. *Zea*
190 *diploperennis* had an later origin than the maize sequence and ssp. *parviglumis*. The four
191 sequences of the genus *Zea* shared an origin with the genera *Saccharum* and *Sorghum*. The *pr-*
192 *10* gene of wheat, on the other hand, appeared before the genera *Zea*, *Saccharum*, and *Sorghum*;
193 according to the tree. The genera of the Poaceae family diversified their *pr-10* gene after *Betula*
194 *verrucosa*, *Malus domestica*, and *Corylus avellana*.

195 **Comparative analysis of the PR-10 amino acid sequences of teosinte with the proteins of**
196 **the Poaceae family**

197

198 From the nucleotide sequences obtained, in silico translation was carried out with the
199 FGENESH program, and they were compared with the sequences of the PR-10 proteins of the
200 Poaceae family. The partial amino acid sequence of ssp. *parviglumis* was similar to the
201 reference sequence. Instead, amino acid changes were identified in MW604722, the first at
202 position 72, Serine (Ser) by Arginine (Arg); and the second at position 146, Asparagine (Asn)
203 by Lysine (Lys). Five sites with changes: A74E, R114S, W115V, M116V and D149E were
204 found in MW604721 (Figure 2).

205 The multiple alignment (Figure 5) of the amino acid sequences of ssp. *parviglumis*
206 (URX65327), *Zea diploperennis* (URX65328), conical type maize (URX65329) and the
207 reference maize PR10 protein (AAY29574) with sequences from the genera: *Saccharum*
208 (ARE72291), *Panicum* (RLN41266), *Sorghum* (AAW83207, AAW83208, AAW83209,
209 AAW83210), *Triticum* (ACG68733, QEQ43328) and *Lolium* (AEO11775) of the Poaceae
210 family, and a sequence of the genus *Betula* (CAA96539), *Malus* (CAA96537) and *Corylus*
211 (CAA96549) revealed the glycine-rich conserved region known as P-loop (GXGXXG) in all
212 sequences. This domain is typical of the Bet v I superfamily and is conserved in distant
213 homologs, Significant residues were also identified upstream and downstream of the P loop.

214

215 **Discussion**

216 The PR-10zea oligonucleotide set assisted to identify the partial sequence of the *pr-10* gene in
217 the *Zea mays* ssp. *parviglumis*, *Zea diploperennis*, and in conical type maize. The partial
218 sequences share 66.9-70.08% similarity with the reference sequence. The ssp. *parviglumis*

219 sequence shares an identity percentage of 94.3 and 95.7% with *Zea diploperennis* and maize,
220 respectively. The sequences of *Zea diploperennis* and maize have 91.4% identity.
221 *Zea* introns (AY953127, MW604722, MW604720, and MW604722) are located at position
222 249-348 of the reference sequence and have a similar splice site between them with the two
223 sequences of *Saccharum* and the four of *Sorghum*; while *Betula verrucosa* has a 3'AG-GC
224 splice site (Wen et al., 1997). The calculation of the AT content (40.40 - 41.94%) of the *Zea*
225 sequences is lower than those calculated for the *Saccharum* (46.07 and 46.81%) and *Sorghum*
226 (46.81, 45.74, 44.44, and 48.31%) sequences, although the latter were more diverse, they are
227 located between the percentages of the *Saccharum* genus. For *Betula verrucosa*, a content of
228 80.43% of AT was reported, common for plant introns (Hoffmann-Sommergruber et al., 1997).
229 In the identified sequences of teosintes and AY953127, the lowest percentage of AT of the
230 aligned sequences is observed, followed by the *Saccharum* and *Sorghum* genera, it could be
231 due to a characteristic of each genus and probably from the Poaceae family.
232 *Zea mays* ssp. *parviglumis* intron has 93 bp same as the reference sequence. On the other hand,
233 the sequence of *Zea diploperennis* has 99 bp, 6 bp more than AY953127. While conical type
234 maize has 89 bp, 4 bp less than AY953127. This difference in the size of the *pr-10* intron has
235 been reported in *Malus domestica* where the *pr-10* sequences form subfamilies, based on the
236 size, presence, or absence of the intron (Gao et al., 2005). In the case of *Betula pendula*, out of
237 32 isolated sequences, 13 genes were confirmed, supported by the presence of a different intron
238 (Schenk et al., 2006) and in *Vitis vinifera*, out of 13 *pr-10* sequences presented a variable length
239 of 102 -201 bp and one of 431 bp between its introns (Lebel et al., 2010).
240 The phylogenetic tree reveals that the partial nucleotide sequences of *pr-10* congregated in a
241 monophyletic group, where it is shown that the sequence of ssp. *parviglumis* teosinte is more
242 related to the reference sequence than the maize sequence and the *Zea diploperennis* teosinte
243 sequence. More detailed studies are necessary to know all the *pr-10* sequences in maize and

244 teosintes, and to verify if the sequences obtained correspond to different subfamilies of the
245 gene; this could explain the separation of the maize sequence with the reference one, as well
246 as the separation between the two species of teosintes. Greater variability is observed between
247 the two species of teosintes, something similar has been reported in the genus *Betula* where it
248 was confirmed that the variability is generally smaller between subfamilies of *pr-10* of the
249 same species than those of different species (Schenk et al., 2009). The tree also shows that the
250 *Zea* sequences share an origin with the *Saccharum* and *Sorghum* genera, while the *Triticum*
251 sequences have an earlier origin. The sequences of *Betula verrucosa*, *Malus domestica*, and
252 *Corylus avellana* are grouped as expected (Wen et al., 1997) and show their origin before the
253 sequences of the Poaceae family.

254 By multiple alignment of the three partial amino acid sequences, sites with residue changes are
255 observed in PR-10M and PR-10D. In a more extensive alignment, in addition to the *Zea*
256 sequences, *Saccharum*, *Panicum*, *Sorghum*, *Triticum*, *Lolium*, and *Betula* sequences were
257 included; the P-loop (GXGXXG) is highlighted. This domain is typical of the Bet v 1 subfamily
258 and is still conserved in distant homologs (Jain and Kumar, 2015), since it is reported in a great
259 diversity of plants (Soh et al., 2012). The Bet v 1 domain identified in the partial sequences
260 and sequences of the Poaceae family, differs from the canonical structure of the P-loop thus its
261 *in-vitro* RNase activity is not clear (Biesiadka et al, 2002). The first proposed biochemical
262 activity for PR-10 proteins was ribonuclease, this activity was demonstrated for the first time
263 in ginseng (Moiseyev et al., 1994). Later, it was shown in other members of the Bet v 1
264 subfamily, including maize (Chen et al., 2006).

265

266 **Conflicts of Interest**

267 No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

268

269 **Acknowledgments:** To CONACyT for the scholarship granted for doctoral studies (No.
270 486849). To the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP-
271 Oaxaca, Mexico) for donating the germplasm used in this study.

272

273 **References**

274 Biesiadka, J., Bujacz, G., Sikorski, M. M. and Jaskolski, M. (2002). Crystal structures of two
275 homologous pathogenesis-related proteins from yellow lupine. *Journal of molecular*
276 *biology* 319:1223-1234.

277 Breiteneder, H., Pettenburger, K., Bito, A., Valenta, R., Kraft, D., Rumpold, H., ... and
278 Breitenbach, M. (1989). The gene coding for the major birch pollen allergen Betv1, is
279 highly homologous to a pea disease resistance response gene. *The EMBO journal*
280 8:1935-1938.

281 Chakravarthi, M., Syamaladevi, D. P., Harunipriya, P., Augustine, S. M. and Subramonian, N.
282 (2016). A novel PR10 promoter from *Erianthus arundinaceus* directs high constitutive
283 transgene expression and is enhanced upon wounding in heterologous plant systems.
284 *Molecular biology reports* 43:17-30.

285 Chen, Z. Y., Brown, R. L., Damann, K. E. and Cleveland, T. E. (2010). PR10 expression in
286 maize and its effect on host resistance against *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin
287 production. *Molecular Plant Pathology* 11:69-81.

288 Chen, Z. Y., Brown, R. L., Rajasekaran, K., Damann, K. E. and Cleveland, T. E. (2006).
289 Identification of a maize kernel pathogenesis-related protein and evidence for its
290 involvement in resistance to *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin production.
291 *Phytopathology* 96:87-95.

292 Ekramoddoullah, A. K. (2004). Physiology and molecular biology of a family of pathogenesis-
293 related PR-10 proteins in conifers. *Journal of Crop Improvement* 10:261-280.

- 294 Gao, Z. S., Van de Weg, W. E., Schaart, J. G., Schouten, H. J., Tran, D. H., Kodde, L. P., ...
295 and Gilissen, L. J. W. J. (2005). Genomic cloning and linkage mapping of the Mal d 1
296 (PR-10) gene family in apple (*Malus domestica*). *Theoretical and Applied Genetics*
297 111:171-183.
- 298 Hoffmann-Sommergruber, K., Vanek-Krebitz, M., Radauer, C., Wen, J., Ferreira, F., Scheiner,
299 O. and Breiteneder, H. (1997). Genomic characterization of members of the Bet v 1
300 family: genes coding for allergens and pathogenesis-related proteins share intron
301 positions. *Gene* 197:91-100.
- 302 Jain, S. and Kumar, A. (2015). The pathogenesis related class 10 proteins in plant defense
303 against biotic and abiotic stresses. *Adv Plants Agric Res.* 3: 00077.
- 304 Jwa, N. S., Agrawal, G. K., Rakwal, R., Park, C. H. and Agrawal, V. P. (2001). Molecular
305 cloning and characterization of a novel jasmonate inducible pathogenesis-related class
306 10 protein gene, JIOsPR10, from rice (*Oryza sativa* L.) seedling leaves. *Biochemical*
307 *and Biophysical Research Communications* 286:973-983.
- 308 Keb-Llanes, M., González, G., Chi-Manzanero, B. and Infante, D. (2002). A rapid and simple
309 method for small-scale DNA extraction in Agavaceae and other tropical plants. *Plant*
310 *Molecular Biology Reporter* 20:299-300.
- 311 Liu, J. J. and Ekramoddoullah, A. K. (2006). The family 10 of plant pathogenesis-related
312 proteins: their structure, regulation, and function in response to biotic and abiotic
313 stresses. *Physiological and molecular plant pathology* 68:3-13.
- 314 Lo, S. C. C., Hipskind, J. D. and Nicholson, R. L. (1999). cDNA cloning of a sorghum
315 pathogenesis-related protein (PR-10) and differential expression of defense-related
316 genes following inoculation with *Cochliobolus heterostrophus* or *Colletotrichum*
317 *sublineolum*. *Molecular plant-microbe interactions* 12:479-489.

- 318 Moiseyev, G. P., Beintema, J. J., Fedoreyeva, L. I. and Yakovlev, G. I. (1994). High sequence
319 similarity between a ribonuclease from ginseng calluses and fungus-elicited proteins
320 from parsley indicates that intracellular pathogenesis-related proteins are ribonucleases.
321 *Planta* 193:470-472.
- 322 Moons, A., Prinsen, E., Bauw, G. and Van Montagu, M. (1997). Antagonistic effects of abscisic
323 acid and jasmonates on salt stress-inducible transcripts in rice roots. *The Plant Cell*
324 9:2243-2259.
- 325 Park, C. J., Kim, K. J., Shin, R., Park, J. M., Shin, Y. C. and Paek, K. H. (2004).
326 Pathogenesis-related protein 10 isolated from hot pepper functions as a ribonuclease in
327 an antiviral pathway. *The Plant Journal* 37:186-198.
- 328 Peng, Z., Lu, T., Li, L., Liu, X., Gao, Z., Hu, T., ... and Jiang, Z. (2010). Genome-wide
329 characterization of the biggest grass, bamboo, based on 10,608 putative full-length
330 cDNA sequences. *BMC plant biology* 10:1-13.
- 331 Pnueli, L., Hallak-Herr, E., Rozenberg, M., Cohen, M., Goloubinoff, P., Kaplan, A. and Mittler,
332 R. (2002). Molecular and biochemical mechanisms associated with dormancy and
333 drought tolerance in the desert legume *Retama raetam*. *The Plant Journal* 31:319-330.
- 334 Schenk, M. F., Cordewener, J. H., America, A. H., Van't Westende, W. P., Smulders, M. J. and
335 Gilissen, L. J. (2009). Characterization of PR-10 genes from eight *Betula* species and
336 detection of Bet v 1 isoforms in birch pollen. *BMC plant biology* 9:1-15.
- 337 Schenk, M. F., Gilissen, L. J., Esselink, G. D. and Smulders, M. J. (2006). Seven different
338 genes encode a diverse mixture of isoforms of Bet v 1, the major birch pollen allergen.
339 *BMC genomics* 7:1-15.
- 340 Soh, H. C., Park, A. R., Park, S., Back, K., Yoon, J. B., Park, H. G. and Kim, Y. S. (2012).
341 Comparative analysis of pathogenesis-related protein 10 (PR10) genes between fungal
342 resistant and susceptible peppers. *European Journal of Plant Pathology* 132:37-48.

- 343 Somssich, I. E., Schmelzer, E., Kawalleck, P. and Hahlbrock, K. (1988). Gene structure and in
344 situ transcript localization of pathogenesis-related protein 1 in parsley. *Molecular and*
345 *General Genetics MGG* 213:93-98.
- 346 Steiner-Lange, S., Fischer, A., Boettcher, A., Rouhara, I., Liedgens, H., Schmelzer, E. and
347 Knogge, W. (2003). Differential defense reactions in leaf tissues of barley in response
348 to infection by *Rhynchosporium secalis* and to treatment with a fungal avirulence gene
349 product. *Molecular plant-microbe interactions* 16:893-902.
- 350 Sylvain, L., Paul, S., Bernard, W. and Pascale, M. (2010). Characterisation of the *Vitis vinifera*
351 PR10 multigene family. *BMC Plant Biology* 10:1-13.
- 352 Vanek-Krebitz, M., Hoffmannsommergruber, K., Machado, M. L. D., Susani, M., Ebner, C.,
353 Kraft, D., ... and Breiteneder, H. (1995). Cloning and sequencing of Mal d 1, the major
354 allergen from apple (*Malus domestica*), and its immunological relationship to Bet v 1,
355 the major birch pollen allergen. *Biochemical and Biophysical Research*
356 *Communications* 214:538-551.
- 357 Wen, J., Vanek-Krebitz, M., Hoffmann-Sommergruber, K., Scheiner, O. and Breiteneder, H.
358 (1997). The potential of Betv1 Homologues, a nuclear multigene family, as phylogenetic
359 markers in flowering plants. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 8:317-333.
- 360 Yu, X., Ekramoddoullah, A. K. and Misra, S. (2000). Characterization of Pin m III cDNA in
361 western white pine. *Tree physiology* 20:663-671.
- 362 Zhang, G., Li, Y., Zhang, Y., Dong, Y., Wang, X., Wei, G., ... and Kang, Z. (2009). Cloning
363 and characterization of a pathogenesis related protein gene TaPR10 from wheat induced
364 by stripe rust pathogen. *Scientia Agricultura Sinica* 42:110-116.
- 365 Zimin, A. V., Puiu, D., Luo, M. C., Zhu, T., Koren, S., Marçais, G., ... and Salzberg, S. L.
366 (2017). Hybrid assembly of the large and highly repetitive genome of *Aegilops tauschii*,

367 a progenitor of bread wheat, with the MaSuRCA mega-reads algorithm. *Genome*
368 *research* 27:787-792.

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

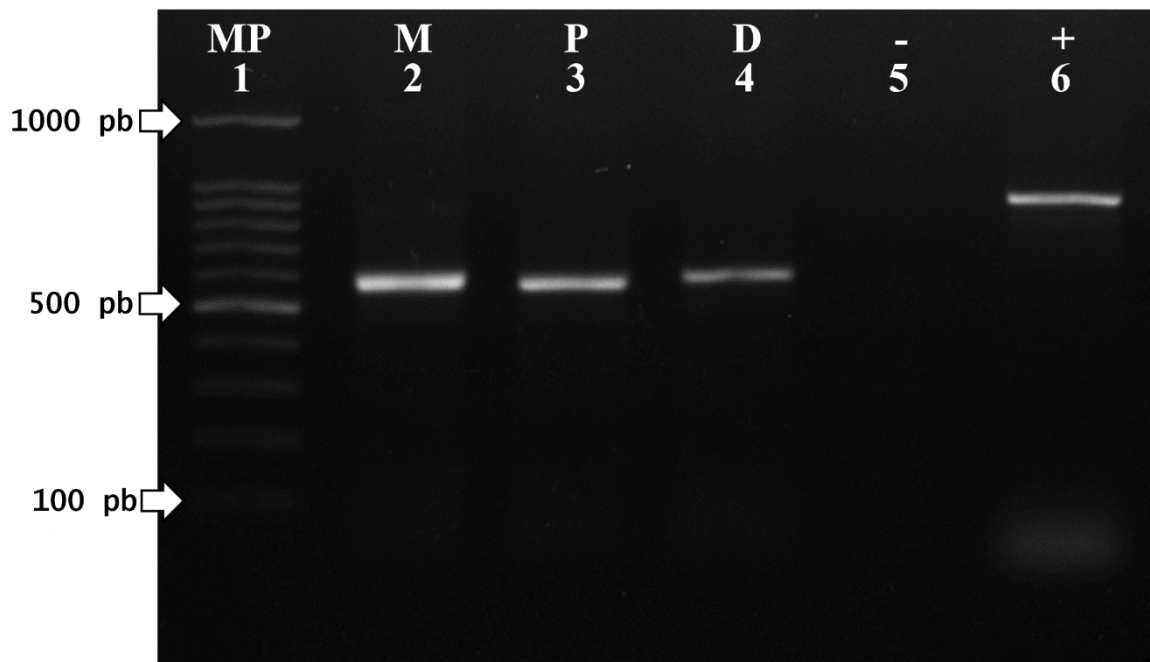
389

390

391

For Review Only

392



393

394 Fig. 1. Products of the *pr-10* gene obtained by PCR. Lane 1 (MP): molecular weight marker;
395 lane 2 (PR-10M), 3 (PR-10P), and 4 (PR-10D): are the 563 bp products of maize, *Zea mays*
396 *ssp. parviglumis*, and *Zea diploperennis*; respectively. Lane 5: negative control; Lane 6: 900
397 bp product of the actin gene used as a positive control.

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

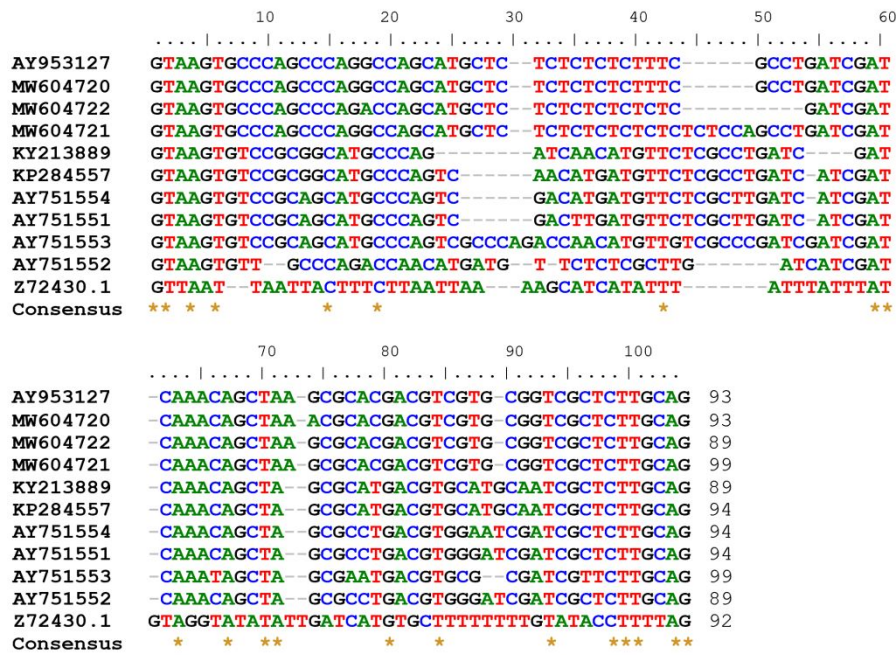


410

411 Fig. 2. Amino acid prediction of the MW604722, MW604720, and MW604721 sequences. The
 412 sequences were aligned to the AY953127 *Zea mays* reference sequence. Line: the non-coding
 413 region.

414

415



416

417

418 Fig. 3. Alignment of introns of the genera *Zea* (AY953127, MW604722, MW604720,419 MW604721), *Saccharum* (KY213889, KP284557), *Sorghum* (AY751554, AY751551,420 AY751553, AY751552), and *Betula* (Z72430).

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433



434

435 Fig. 4. The evolutionary history was inferred by using the Maximum Likelihood method and
 436 Kimura 2-parameter model [1]. The tree with the highest log likelihood (-1977.33) is shown.
 437 The percentage of trees in which the associated taxa clustered together is shown next to the
 438 branches. The tree is drawn to scale, with branch lengths measured in the number of
 439 substitutions per site. Evolutionary analyses were conducted in MEGA11.

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

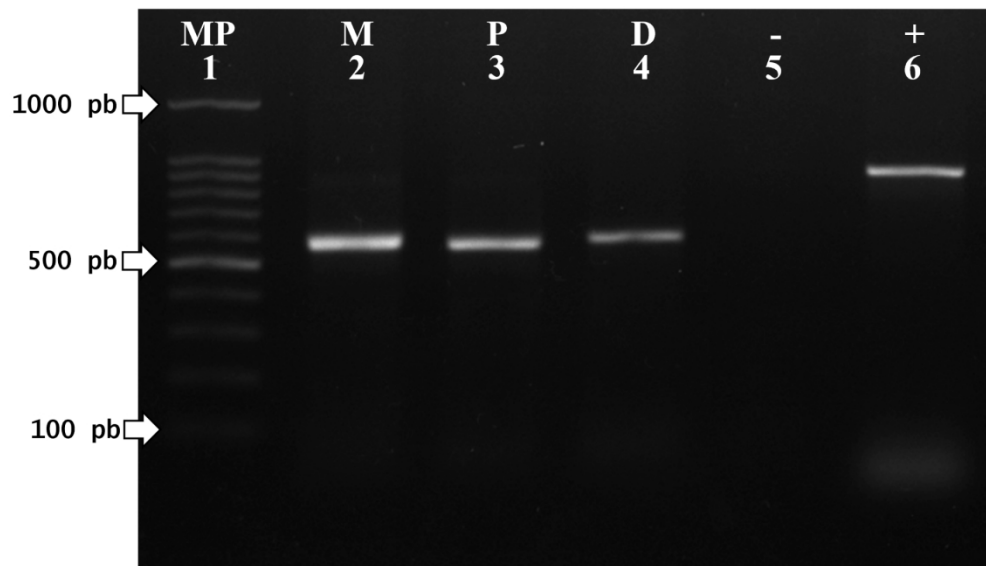


Fig. 1. Products of the *pr-10* gene obtained by PCR. Lane 1 (MP): molecular weight marker; lane 2 (PR-10M), 3 (PR-10P), and 4 (PR-10D): are the 563 bp products of maize, *Zea mays* ssp. *parviglumis*, and *Zea diploperennis*; respectively. Lane 5: negative control; Lane 6: 900 bp product of the actin gene used as a positive control.

1336x763mm (38 x 38 DPI)

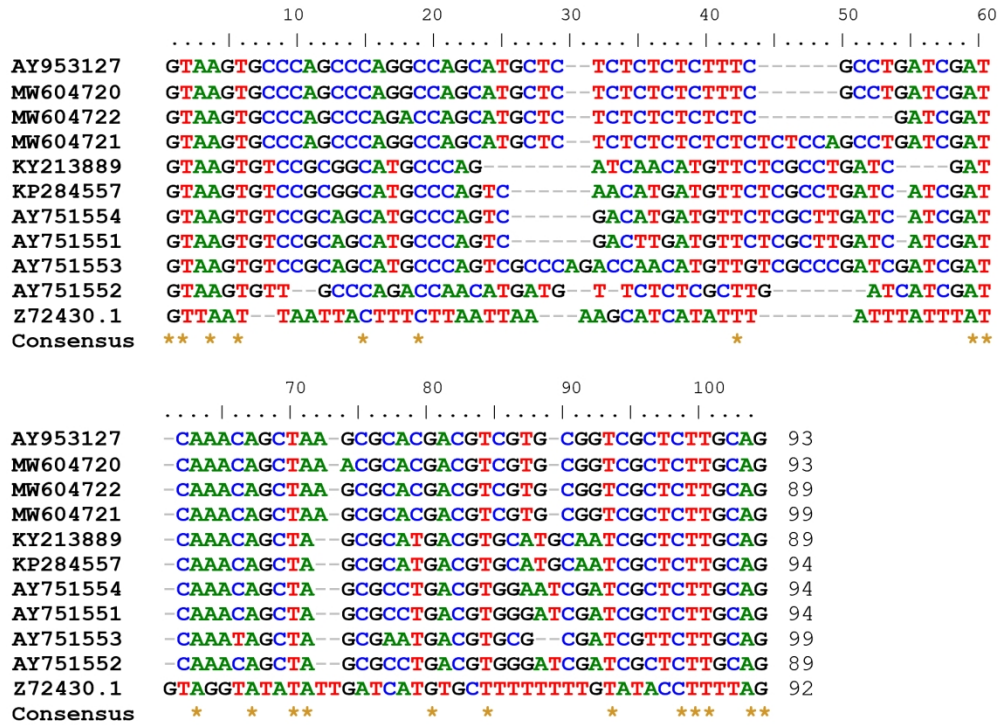


Fig. 3. Alignment of introns of the genera *Zea* (AY953127, MW604722, MW604720, MW604721), *Saccharum* (KY213889, KP284557), *Sorghum* (AY751554, AY751551, AY751553, AY751552), and *Betula* (Z72430).

1323x983mm (38 x 38 DPI)

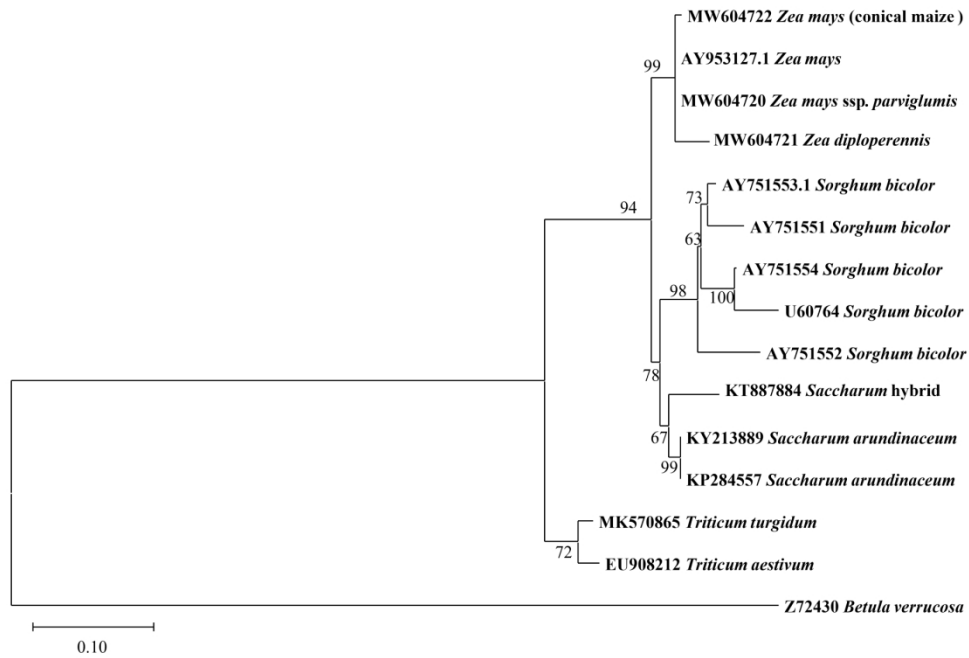


Fig. 4. Phylogenetic analysis using the Maximum Likelihood method and the Kimura 2-parameter model, based on the coding regions of *Zea*, *Saccharum*, *Sorghum*, *Triticum* and *Betula*. The tree is drawn to scale and branch lengths were measured based on the number of substitutions per site. Evolutionary analyzes were performed on MEGA11.

1336x890mm (38 x 38 DPI)

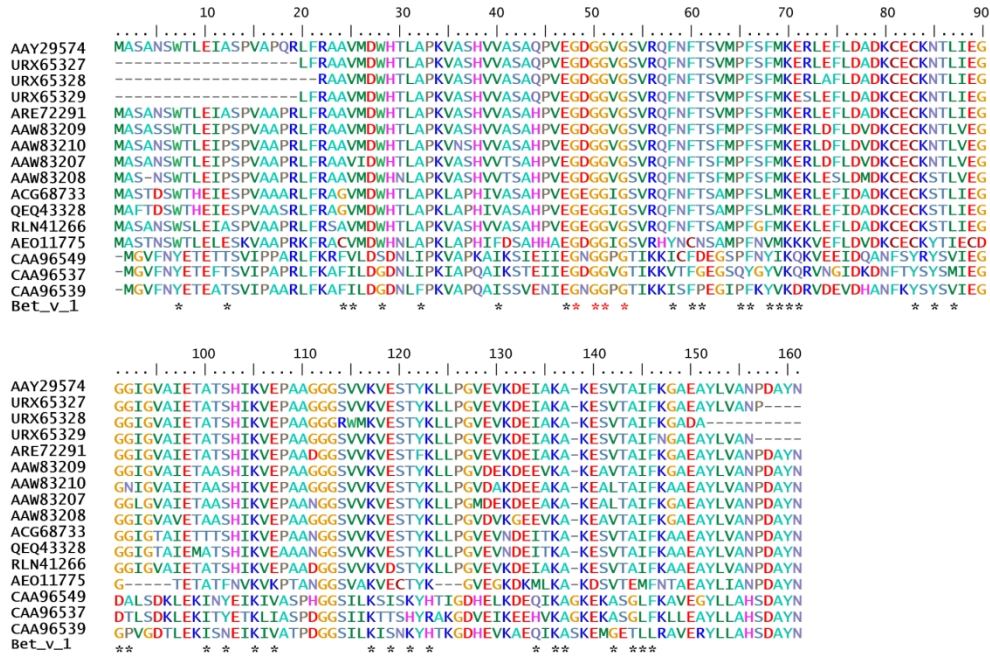


Fig. 5. Multiple amino acid alignment of ssp. *parviglumis* (URX65327), *Zea diploperennis* (URX65328), conical type maize (URX65329) and the reference maize (AAY29574) with pathogenesis-related proteins 10 of *Saccharum* (ARE72291), *Sorghum* (AAW83207, AAW83208, AAW83209, AAW83210), *Triticum* (ACG68733, QEQ43328), *Panicum* (RLN41266) and *Lolium* (AEO11775) of the Poaceae family, and a sequence of the genus *Betula* (CAA96539), *Malus* (CAA96537) and *Corylus* (CAA96549). Black asterisks: ligand-binding Bet v 1 sites. Red asterisks: phosphate-binding site.

1336x897mm (38 x 38 DPI)

Dr. Rubén Doroteo Castillejos
Subdirector académico

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago
Docente

NOMBRE DEL TRABAJO
V INFORME ALMA 16-10.pdf

AUTOR
ALMA PEREZ

RECuento DE PALABRAS
9499 Words

RECuento DE CARACTERES
55829 Characters

RECuento DE PÁGINAS
52 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
5.4MB

FECHA DE ENTREGA
Oct 16, 2023 10:59 AM CST

FECHA DEL INFORME
Oct 16, 2023 11:00 AM CST

● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

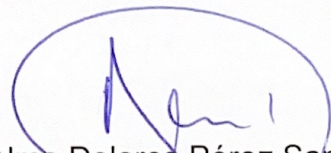
- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 9% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado



Dr. Rubén Doroteo Castillejos
Subdirector Académico



Dra. Alma Dolores Pérez Santiago
Docente



SEP
SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN
PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉX.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

● 18% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 9% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	docplayer.es Internet	2%
2	acapulco.tecnm.mx Internet	1%
3	scielo.org.mx Internet	<1%
4	siglo.inafed.gob.mx Internet	<1%
5	repositorio.udec.cl Internet	<1%
6	repositorioinstitucional.uabc.mx Internet	<1%
7	itvictoria.edu.mx Internet	<1%
8	ugt-andalucia.com Internet	<1%

9	dspace.utpl.edu.ec Internet	<1%
10	colposdigital.colpos.mx:8080 Internet	<1%
11	msdmanuals.com Internet	<1%
12	jovenesenlaciencia.ugto.mx Internet	<1%
13	periodicos.ufac.br Internet	<1%
14	Universidad de Guadalajara on 2022-12-06 Submitted works	<1%
15	Tingting Zhou, Wenkang Hu, Zhengbin Yang, Jiamin Li, Xuefeng Zeng. "... Crossref	<1%
16	finanzasoaxaca.gob.mx Internet	<1%
17	University of Mosul on 2023-07-05 Submitted works	<1%
18	unisucre.edu.co Internet	<1%
19	micobotanicajaen.com Internet	<1%
20	javeriana.edu.co Internet	<1%

21	frontiersin.org	Internet	<1%
22	hal.archives-ouvertes.fr	Internet	<1%
23	bva.colech.edu.mx	Internet	<1%
24	es.scribd.com	Internet	<1%
25	rdu.iquimica.unam.mx	Internet	<1%
26	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	Internet	<1%
27	naturalezaytecnologia.ugto.mx	Internet	<1%
28	nlist.inflibnet.ac.in	Internet	<1%
29	revistas.proeditio.com	Internet	<1%
30	Universidad Internacional Isabel I de Castilla on 2021-03-08	Submitted works	<1%
31	University of Oxford on 2016-09-09	Submitted works	<1%
32	tesis.ipn.mx	Internet	<1%

33	colibri.udelar.edu.uy	Internet	<1%
34	quimicaviva.qb.fcen.uba.ar	Internet	<1%
35	geox.udistrital.edu.co	Internet	<1%
36	intl.jbc.org	Internet	<1%
37	CONACYT on 2017-12-22	Submitted works	<1%
38	Dagoberto Durán Hernández, Olivia Tzintzun Camacho, Onécimo Grima...	Crossref	<1%
39	UNIV DE LAS AMERICAS on 2021-01-09	Submitted works	<1%
40	researchgate.net	Internet	<1%
41	Universidad San Francisco de Quito on 2013-02-06	Submitted works	<1%
42	coursehero.com	Internet	<1%
43	Universidad de Almeria on 2020-05-20	Submitted works	<1%
44	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo on 2020-11-11	Submitted works	<1%

45	documents.mx Internet	<1%
46	dspace.ups.edu.ec Internet	<1%
47	revistas.uptc.edu.co Internet	<1%
48	ipn on 2021-10-24 Submitted works	<1%
49	scribd.com Internet	<1%
50	hdl.handle.net Internet	<1%
51	repositorioinstitucional.buap.mx Internet	<1%
52	searchworks.stanford.edu Internet	<1%
53	diarioelnortino.cl Internet	<1%