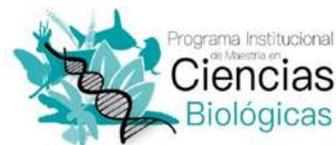




**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA

“PRESIDENTE JUÁREZ”

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA TEMÁTICA: BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

FERMENTACIÓN SÓLIDA DE GRANOS DE MAÍZ CON *Hericium erinaceus*;

POTENCIAL NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO

TESIS DE MAESTRÍA

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Biológicas

PRESENTA:

Ing. María Belén Quiroz Aguiñiga

Director

Dr. Pedro Antonio García Saucedo

Codirector

Atahualpa Guzmán de Casa

Uruapan, Michoacán, agosto de 2024



**FERMENTACIÓN SÓLIDA DE GRANOS DE MAÍZ CON
Hericium erinaceus; POTENCIAL NUTRIMENTAL Y
NUTRACÉUTICO**

TESIS

Que somete a consideración y aprobación del H. Jurado examinador como

requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Ing. María Belén Quiroz Aguiñiga

Dr. Pedro Antonio García Saucedo

Director

MC. Atahualpa Guzmán de Casa

Codirector

Dra. Berenice Yahuaca Juárez

Sinodal

Dr. Rafael Salgado Garciglia

Sinodal

Dra. Consuelo de Jesús Cortez Penagos

Sinodal

Esta tesis de maestría titulada **FERMENTACIÓN SÓLIDA DE GRANOS DE MAÍZ CON *Hericiium erinaceus*; POTENCIAL NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO** se realizó en el Laboratorio de Bromatología Frutícola de la Facultad Agrobiología “Presidente Juárez” de la UMSNH, bajo la asesoría del Dr. Pedro Antonio García Saucedo y la coasesoría del MC. Atahualpa Guzmán de Casa. Así mismo se contó con el apoyo del MC. Enrique Ramírez para la realización de las pruebas cromatográficas en el Laboratorio de Fitobioquímica a cargo del Dr. Jorge Molina Torres del departamento de Biotecnología y Bioquímica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato.

“Esta tesis es un viaje que emprendí hace tiempo, un viaje de aprendizaje, crecimiento y transformación. Un viaje lleno de retos, dudas e incertidumbre, pero también momentos llenos de satisfacción, este trabajo es un homenaje a mi potencial, fuerza, coraje y capacidad para lograr lo imposible”

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma mater, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a mi Facultad, por todo lo aprendido durante mi estancia como estudiante.

A mi asesor, el Dr. Pedro García, a quien respeto y admiro, por toda la confianza y el apoyo que me brindó para poder realizar y concluir mi investigación, por la confianza de abrirme las puertas de su laboratorio. Gracias.

Al MC. Atahualpa Guzmán, por la confianza, apoyo y guía para la elaboración de esta investigación. Gracias por la paciencia, enseñanza profesional y personal que sembró en mí durante mi formación. Gracias.

A la MC. Teresita Ávila por todos los consejos dados para desarrollar este proyecto y por todo su apoyo y amor brindado, gracias.

A mis compañeros del laboratorio Adriana, Eréndira, Giovanni, por todo su apoyo brindado y por su amistad, gracias.

A mis alumnos Abril y Fernando por confiar en mí, por dejarme guiarlos en su desarrollo de sus experimentos de tesis y por su amistad brindada, gracias.

A Erwin Navarrete por incursionarme en este mundo de la investigación, gracias por cada consejo y apoyo brindado, gracias.

A Cristina Vega por todo el apoyo dado a pesar de la distancia gracias por nunca dejarme caer y alentarme siempre. Te quiero.

A mi comité sinodal por todos los consejos y recomendaciones dadas para la elaboración y culminación de este proyecto.

Al CINVESTAV Irapuato

Al CONACHYT.

DEDICATORIA

A mis Padres Antonio y María les agradezco infinitamente todo su amor, confianza y apoyo incondicional, por tener siempre las palabras acertadas para confortarme y guiarme

A mi hermana Fátima por siempre estar presente siempre, protegerme, soportarme y velar siempre por mí en mis malos momentos.

A mis abuelas Antonia y Victoria por todo su apoyo y amor brindado en cada momento.

A Ivan por siempre creer en mí, apoyarme en cada decisión, alentarme y acompañarme en cada uno de los momentos en esta travesía, gracias por estar siempre presente en estos dos años.

A Adán Mora †, Jovita Lemus† y Gerardo Ruíz † aunque ya no están físicamente con nosotros fueron parte importante para iniciar esta aventura, gracias por todo el amor y consejos dados; sus enseñanzas continúan guiándome y sé que estarían orgullosos de al fin culminar esta meta. Siempre los llevo en mi corazón, este logro es también para ustedes, hasta el cielo.

Gracias, por tanto.

Los amo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
I RESUMEN GENERAL	<i>i</i>
II ABSTRACT	<i>ii</i>
III INTRODUCCIÓN	1
IV REVISIÓN DE LITERATURA	2
4.1 ALIMENTACIÓN EN EL MUNDO	2
4.1.1 Seguridad alimentaria	2
4.1.2 Soberanía alimentaria	3
4.2 BIOTECNOLOGÍA	3
4.2.1 Biotecnología en alimentos	3
4.2.2 Alimentos funcionales	4
4.2.3 Actividad nutraceútica	4
4.2.3.1 Polifenoles	5
4.2.3.1.1 Clasificación	6
4.2.3.2 Terpenos	7
4.2.3.2.1 Clasificación	7
4.2.4 Actividad antioxidante	8
4.3 MAÍZ (<i>Zea mays</i>)	9
4.3.1 Origen	10
4.3.2 Descripción botánica	10
4.3.3 Clasificación de las razas del maíz	10
4.3.4 Valor nutricional y propiedades	12
4.3.5 Importancia económica	13
4.4 HONGOS BASIDIOMICETOS COMO FUENTE DE ALIMENTO	13

4.4.1	Valor como alimentos funcionales	15
4.4.2	Importancia de los hongos comestibles silvestres en México	15
4.4.3	<i>Hericium erinaceus</i> .	17
4.4.3.1	Características morfológicas y taxonomía	17
4.4.3.2	Sustratos empleados para su producción y cultivo	18
4.4.3.3	Valor nutricional	18
4.4.3.4	Compuestos bioactivos	19
4.3.3.5	Propiedades funcionales y medicinales	20
4.5	FERMENTACIÓN SÓLIDA	21
4.5.1	Sustratos y condiciones	21
4.5.1.2	Fuente fermentativa	22
4.6	En la industria	23
4.6.1	Ganadería	23
4.6.1.2	Farmacéutica	24
4.6.1.3	Alimentaria	24
4.7	TECNICAS CROMATOGRÁFICAS	25
4.7.1	Cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC)	25
V	JUSTIFICACIÓN	27
VI	HIPÓTESIS	27
VII	OBJETIVOS	27
7.1	Objetivo general	27
7.1.2	Objetivos específicos	27
VIII	MATERIALES Y MÉTODOS	28
8.1	Material fúngico	28
8.2	Material vegetal	28
8.3	Fermentación sólida	28
8.3.1	Procesamiento de las muestras para su análisis	29
8.4.	Análisis proximal	29
8.4.1	Contenido de materia seca	29
8.4.2	Contenido de grasas	30
8.4.3	Contenido de proteínas	30

8.4.4	Contenido de carbohidratos	30
8.4.5	Contenido de fibra cruda	31
8.4.6	Contenido de cenizas	31
8.4.8	Determinación de elementos	32
8.5	Evaluación del potencial nutraceutico	32
8.5.1	Determinación del contenido de fenoles totales	33
8.5.2	Ensayos de actividad antioxidante utilizando radicales cromógenos sintéticos	33
8.6	Evaluación de la inhibición de especies reactivas de importancia biológica	35
8.7	Desarrollo del perfil cromatográfico	36
IX	ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
X	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
10.1	Fermentación sólida	37
10.2	Análisis proximal	38
10.2.1	Contenido de proteína	38
10.2.2	Contenido de cenizas	41
10.2.3	Contenido de grasas	41
10.2.4	Contenido de fibra cruda	41
10.2.5	Contenido de carbohidratos.	42
10.3	Cuantificación del contenido de elementos	43
10.4	Evaluación del potencial nutraceutico	45
10.4.1	Determinación del contenido de fenoles totales	45
10.5	Evaluación de la actividad antioxidante	47
10.5.1	Evaluación de la inhibición de los radicales cromógenos sintéticos	47
10.5.1.1	Inhibición del radical ABTS ^{•+} y DPPH [•]	47
10.6	Evaluación de la inhibición de especies reactivas de importancia biológica	47
10.6.1	Capacidad secuestradora del radical hidroxilo (OH [•]) y peroxilo ROO [•])	47
10.7	Cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC)	52
10.7.1	HPTLC Derivatizados	54
10.7.2	Análisis de conglomerados y mapas de calor	56
XI	CONCLUSIONES	63
XII	LITERATURA CITADA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Componentes nutraceuticos en alimentos y su función en el cuerpo ..	5
Figura 2	Principales compuestos fenolicos	6
Figura 3	Maíz (<i>Zea mays</i>) color rojo y morado	9
Figura 5	Hongos más cultivados en México	14
Figura 6	Hongos comestibles de Michoacán	16
Figura 7	<i>Hericiium erinaceus</i>	17
Figura 8	Estructura de Erinacina A	19
Figura 9	Condiciones y sustratos para realizar fermentación sólida.	22
Figura 10	Fermentación sólida (FES) de maíz rojo con <i>Hericiium erinaceus</i>	38
Figura 11	Fermentación sólida (FES) de maíz morado con <i>Hericiium erinaceus</i>	38
Figura 12	Conglomerado y mapa de calor de los resultados del análisis de macronutrientes	43
Figura 13	Conglomerado y mapa de calor de los resultados del análisis de micronutrientes	44
Figura 14	Dendrograma de silmilitud y conglomerado jerárquico de la capacidad inhibitoria de OH•, ROO•, ABTS•+, DPPH• Y CFT	50
Figura 15	Biplot de un análisis de componentes principales de los ensayos OH•, ROO•, ABTS•+, DPPH• Y CFT	51
Figura 16	Cromatografía de capa fina observados con luz UV 454 y UV 366 nm	53
Figura 17	Cromatografía de capa fina derivatizados con <i>p</i> -anisaldehído y observado a luz visible y luz UV 366 nm	55
Figura 18	Codificación de los resultados de cromatografía de capa fina	57
Figura 19	Análisis de los resultados HPTLC del proceso fermentativo de maíz con <i>Hericiium</i> sp.	60
Figura 20	Conglomerado jerárquico de los cromatogramas sin derivatización	61

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Razas de los maíces mexicanos	11
Tabla 2	Composición nutrimental del cuerpo fructífero y biomasa del micelio de <i>H. erinaceus</i>	18
Tabla 4	Uso de la fermentación sólida en la industria alimentaria	25
Tabla 5	Tratamientos experimentales	29
Tabla 6	Resultados del análisis proximal del maíz y hongo sin fermentar y el producto fermentado	40
Tabla 7	Resultados obtenidos del contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante DPPH• Y ABTS• ⁺	46
Tabla 8	Resultados de la capacidad secuestradora de los radicales biológicos Hidroxilo (OH•) y Peroxilo (ROO•)	48
Tabla 9	Relación de bandas de la fermentación de maíz por <i>Hericiium</i> sp. observadas en la HPTLC	59

RESUMEN GENERAL

Se describen para México más de 450 macromicetos comestibles y medicinales, posicionándose como segundo lugar a nivel mundial con mayor diversidad de hongos comestibles. A pesar de su amplio uso, aún son escasos los estudios formales sobre el valor nutrimental y nutracéutico. En México solo algunas especies nativas de los géneros *Flamulina*, *Pleurotus*, *Neolentinus* han sido cultivadas a escala piloto con el objetivo de producir basidiocarpos, de los cuales recientemente se ha determinado su composición nutrimental y propiedades nutraceúticas. Entre la diversidad de hongos comestibles nativos, con múltiples beneficios a la salud, destaca el basidiomicete *Hericium erinaceus*, el cual crece de manera silvestre en bosques de nuestro país y aunque ha sido cultivado de forma experimental para la producción de cuerpos fructíferos, no se ha caracterizado desde el punto de vista nutrimental y nutracéutico. La fermentación sólida es una herramienta biotecnológica que se caracteriza por ser un proceso de biotransformación de sustratos sólidos (semillas, residuos agroindustriales) mejorándose la producción e incrementando sus propiedades funcionales. La producción de basidiocarpos de hongos saprófitos, como *H. erinaceus* se logra a partir de la fermentación de residuos agroforestales y alternativamente pueden cultivarse en semillas comestibles y utilizarse estas como materia prima para elaborar alimentos funcionales. De este modo, el objetivo de este proyecto fue determinar la composición nutrimental y valor nutracéutico de semillas de maíz rojo y azul fermentadas con dos cepas de *H. erinaceus* una comercial y una silvestre. El valor nutrimental se determinó mediante los análisis proximales de contenido de grasas, proteínas, fibra cruda, ceniza, carbohidratos y contenido mineral; mientras que para la actividad antioxidante se evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales y la inhibición de los radicales cromógenos sintéticos ABTS^{·+} y DPPH[·] y de los radicales Biológicos ROO[·] y OH[·]. Con la fermentación del maíz con ambas cepas de *Hericium* incrementó el contenido de proteínas de una 40-60% respecto al maíz no fermentado; así mismo, se observó que al utilizar salvado de trigo y sales minerales en la fermentación mejora de las propiedades nutraceúticas del maíz con ambas cepas de *H. erinaceus* al incrementar el contenido de compuestos fenólicos y la inhibición de los radicales DPPH[·] y ABTS^{·+}. Estos resultados obtenidos nos aportan evidencias para implementar el producto fermentado con *H. erinaceus* como un nuevo alimento funcional.

Palabras clave: Fermentación sólida, hongos comestibles, alimento funcional

ABSTRACT

In Mexico, more than 450 edible and medicinal macromycetes are described, placing it as the second country in the world with the greatest diversity of edible fungi. Despite their extensive use, formal studies on their nutritional and nutraceutical value are still scarce. In Mexico, only a few native species from the genera *Flamulina*, *Pleurotus*, and *Neolentinus* have been cultivated on a pilot scale with the aim of producing basidiocarps, whose nutritional composition and nutraceutical properties have recently been determined. Among the diverse native edible fungi with multiple health benefits, the basidiomycete *Hericium erinaceus* stands out. It grows wild in forests of our country and, although it has been experimentally cultivated for the production of fruiting bodies, it has not been characterized from a nutritional and nutraceutical standpoint. Solid fermentation is a biotechnological tool characterized by being a process of biotransformation of solid substrates (seeds, agro-industrial waste), which improves production and enhances functional properties. The production of basidiocarps of saprophytic fungi like *H. erinaceus* is achieved through the fermentation of agroforestry waste, and alternatively, they can be cultivated on edible seeds and used as raw material for producing functional foods. Thus, the objective of this project was to determine the nutritional composition and nutraceutical value of red and blue corn seeds fermented with two strains of *H. erinaceus*, one commercial and one wild. Nutritional value was determined through proximate analyses of fat, protein, crude fiber, ash, carbohydrates, and mineral content; while antioxidant activity was assessed by evaluating total phenolic content and inhibition of synthetic chromogenic radicals ABTS^{•+} and DPPH[•], as well as biological radicals ROO[•] and OH[•]. Fermentation of corn with both strains of *Hericium* increased protein content by 40-60% compared to unfermented corn; additionally, it was observed that using wheat bran and mineral salts in the fermentation improved the nutraceutical properties of corn with both strains of *H. erinaceus* by increasing phenolic compound content and inhibition of DPPH[•] and ABTS^{•+} radicals. These results provide evidence to implement the fermented product with *H. erinaceus* as a new functional food.

III. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una gran diversidad de especies de hongos posicionándose en el segundo lugar a nivel mundial. (Kong.,2022) Son más de 450 hongos macromicetos comestibles y medicinales que se han utilizado de forma tradicional por diferentes grupos étnicos del país (Pérez-Moreno et al., 2020). A pesar de su amplio uso, aún son escasos los estudios formales sobre el valor nutrimental y nutracéutico. El cultivo de hongos macromicetos comestibles en México se ha realizado más de 70 años y actualmente se estima una producción superior a 46 mil toneladas anuales de *Agaricus*, *Lentinula* y *Pleurotus* principalmente. Solo algunas especies nativas de México de los géneros *Flamulina*, *Pleurotus*, *Neolentinus* han sido cultivadas a escala piloto con el objetivo de producir basidiocarpos y recientemente algunos de ellos se ha determinado su composición nutrimental y propiedades nutracéuticas (Martínez- Carrera et al.,2002). Entre la diversidad de hongos comestibles silvestres de nuestro país se encuentra *Hericium erinaceus* que se caracteriza por sus propiedades nutrimentales y múltiples beneficios a la salud (Jiang et al., 2014) y no ha sido considerado para la producción a gran escala de cuerpos fructíferos, ni caracterizado su contenido nutrimental y nutracéutico. Una de las semillas de mayor importancia alimenticia en México y Latinoamérica, es el maíz, del cual nuestro país es centro de origen (SIAP, 2007). Entre las variedades con mayor potencial nutracéutico y alto consumo regional se incluyen las de grano rojo y azul, con un importante contenido de antocianinas y flavonoides (Salinas-Moreno et al.,2014). Por otro lado, la fermentación sólida (FES) es una herramienta biotecnológica que se caracteriza por biotransformar sustratos sólidos (semillas, residuos agroindustriales) efectuado por bacterias, levaduras y hongos en ausencia de agua libre, mejorándose la producción e incrementando su potencial nutrimental y nutraceútico. El proceso fermentativo puede destinarse para producir metabolitos secundarios (alimenticios, farmacéuticos o industriales) y/o biomasa del organismo (Ruíz-Leza et al., 2007). La producción de hongos saprófitos, como *Hericium*, se logra a partir de la fermentación de residuos agroforestales; además pueden cultivarse en semillas comestibles y utilizarse como materias primas para la elaboración de alimentos funcionales, constituyendo una alternativa biotecnológica útil en aspectos de seguridad alimentaria. Por lo que, el objetivo de este proyecto fue evaluar la FES de semillas de maíz utilizando cepas de *Hericium erinaceus* de origen comercial y silvestre para determinar cambios en sus propiedades nutricionales y nutracéuticas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. ALIMENTACIÓN EN EL MUNDO

El hambre y la desnutrición ha aumentado en los últimos 10 años a nivel mundial, como resultado del debilitamiento de la economía y la presencia de problemas ambientales, sociales y sanitarios (OMS,2021). Estos factores han ocasionado modificaciones en la seguridad alimentaria. El incremento de los niveles de hambruna observados en todo el mundo se atribuye a los elevados costos de los alimentos, las importaciones y la escasa disponibilidad de insumos agrícolas (FAO et al., 2021). Además de estos desafíos, la degradación de las tierras cultivables debido a la erosión y la sequía está en constante aumento, lo que limita los espacios destinados a la producción de alimentos para la creciente población mundial (FAO y GTIS et al., 2016).

Para mejorar la situación de la seguridad alimentaria, es esencial explorar nuevas alternativas que permitan generar alimentos funcionales con un valor nutritivo significativo, logrando altos niveles de producción en áreas reducidas, en periodos de tiempo cortos y a bajo costo. Una de estas alternativas sostenibles y de gran relevancia en la economía circular es el uso de la biotecnología de la producción de hongos comestibles que muestra una tendencia de crecimiento anual del 10% (Cano-Estrada et al., 2016).

4.1.1 Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria implica asegurar que las comunidades tengan acceso, capacidad de producción, obtención y consumo de alimentos que sean seguros, nutritivos y en cantidades suficientes para satisfacer sus necesidades dietéticas, promoviendo así un estilo de vida dinámico y saludable (EC-FAO, 2008; FAO, 2004). En México, alrededor de una cuarta parte de la población del país enfrenta dificultades para acceder a una alimentación adecuada, principalmente debido a los elevados costos de los alimentos. En consecuencia, en los últimos años, la seguridad alimentaria se ha convertido en uno de los temas más críticos en el país.

El crecimiento demográfico y los cambios climáticos han exacerbado la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria (Urquía-Fernández, 2014). Para asegurar la seguridad alimentaria, es necesario desarrollar estrategias que garanticen el suministro de alimentos en

diversas comunidades, especialmente porque muchos alimentos solo están disponibles en determinadas temporadas del año, como es el caso de los hongos comestibles.

4.1.2 Soberanía alimentaria

La soberanía alimentaria hace referencia al derecho de las comunidades para determinar su propia alimentación y producción de alimentos, los cuales deben ser seguros, nutritivos y suficientes para satisfacer las necesidades de las comunidades (López y De la Torre, 2022). Es necesario que cada comunidad desarrolle nuevos programas que defiendan los modelos tradicionales de producción agropecuaria, así como el consumo y la comercialización de alimentos (Windhuf y Jonser, 2005). Para lograr la soberanía alimentaria, es necesario llevar a cabo una reforma agraria que garantice a todas las personas el acceso a la tierra, sin distinción de género, religión, raza o clase social. En este sentido, la soberanía alimentaria implica la protección de los recursos naturales, especialmente la tierra, el agua, las semillas y las razas de animales, así como la preservación de la diversidad biológica, minimizando el uso de agroquímicos (Windhuf M y Jonser, 2005).

4.2. BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología se refiere al uso de organismos vivos, sistemas biológicos o derivados de estos para crear o modificar productos y procesos para usos específicos (Hernández, 2010). La biotecnología ha dado lugar a una serie de productos y procesos innovadores, como medicamentos, cultivos genéticamente modificados, biocombustibles, enzimas industriales y alimentos con la finalidad de mejorar su calidad nutrimental para utilizarse como alimentos funcionales (Santos et al., 2012)

4.2.1 Biotecnología en alimentos

La biotecnología en la actualidad ha tenido un papel importante en la mejora de alimentos mediante diferentes técnicas biotecnológicas (Velázquez-Campoy, 2018). Estas técnicas van desde el mejoramiento genético de plantas (transgénicos), alimentos funcionales (enriquecidos con probióticos, ácidos grasos o antioxidantes), y la fermentación que se utiliza para generar una gran variedad de alimentos (yogurt, queso, pan, cerveza y vino) es una práctica antigua que se ha utilizado para generar alimentos funcionales como el kimchi, tofu, chucrut y kéfir, todos ricos en probióticos (Lugo et al., 2022). La biotecnología aplicada a los

alimentos no sólo tiene como finalidad aumentar la producción, mejorar o modificar la funcionalidad, sino también atender la demanda de los consumidores para obtener productos con un importante valor nutracéutico. (Santos et al.,2012)

4.2.2 Alimentos funcionales

El término "alimento funcional" se acuñó en la década de 1980 en Japón para referirse a cualquier alimento que contenga compuestos biológicamente activos con la capacidad de mejorar la salud de la población y reducir el riesgo de desarrollar ciertas enfermedades. Estos alimentos pueden ser naturales o modificados en su composición o naturaleza (Beltrán, 2016). Los alimentos funcionales pueden contener ingredientes activos como vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, fibra dietética y antioxidantes, así como compuestos bioactivos como fitoquímicos, probióticos y prebióticos (Arias et al., 2018; Villamil et al.,2020)

Los alimentos funcionales ofrecen al consumidor ciertos beneficios para la salud que pueden incluir la mejora digestiva, fortalecer el sistema inmunológico, promover la salud cardiovascular, regular la glucosa en sangre, reducir inflamación, mejorar la salud ósea y cerebral, promover la salud de la piel entre algunos otros (Villamil et al.,2020; Zamora y Barbosa, 2021). Dentro de los alimentos que se consideran como funcionales están los hongos comestibles debido a que aportan diversos beneficios a la salud, los cuales pueden utilizarse para tratar diferentes enfermedades, fortaleciendo así la seguridad alimentaria (Martínez-Carrera et al., 2010; Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016).

4.2.3 Actividad nutracéutica

Los nutracéuticos son componentes de los alimentos o parte de los alimentos que proporcionan beneficios para la salud y que han sido asociados a la prevención y/o disminución de enfermedades (Figura 1) (Rojas et al.,2015; Pérez, 2006). Se conoce la existencia de un gran número de nutracéuticos, entre los que se incluyen proteínas, carbohidratos, lípidos, así como micronutrientes como metales y algunos componentes

biológicos producidos por el metabolismo secundario de plantas, hongos y bacterias (Rojas et al., 2015).

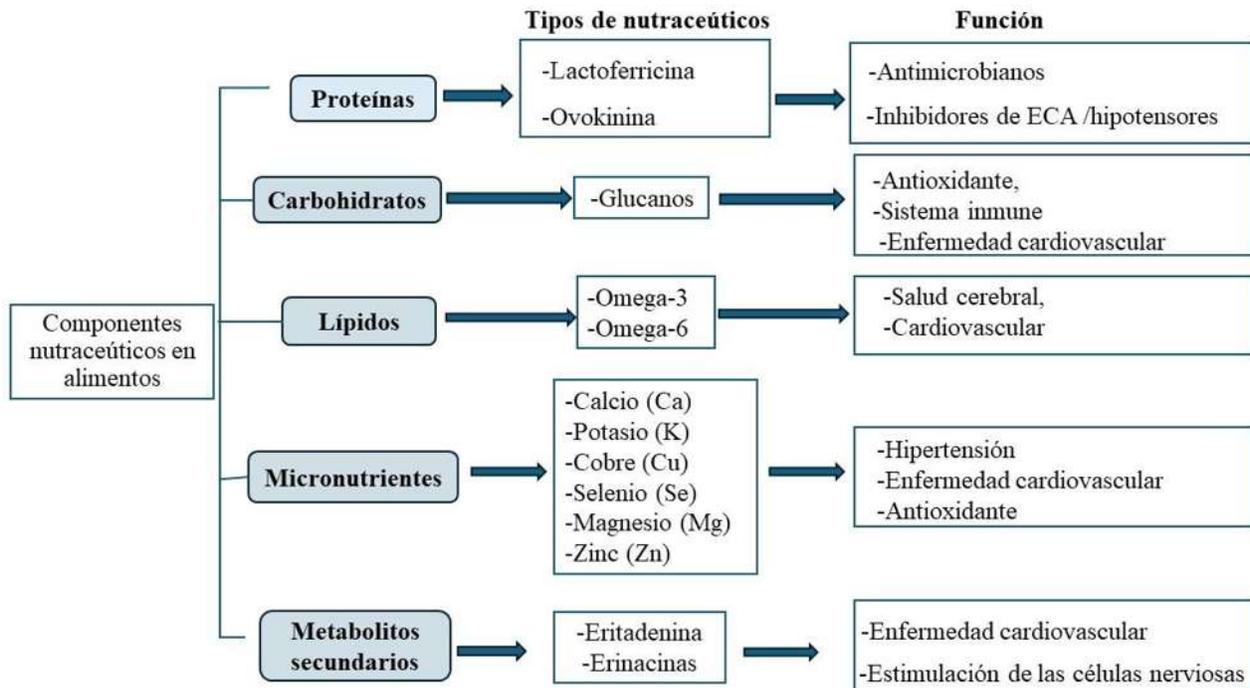


Figura 1. Componentes nutraceuticos en alimentos y su función en el cuerpo. Extraído de Hartmann y Meisel, 2007. Food-derived peptides with biological activity.

Entre los metabolitos secundarios o fitoquímicos con actividad nutraceutica se encuentran moléculas como los isotiocianatos, flavonoides, organosulfurados, terpenoides y polifenoles. Estos últimos se caracterizan por ser el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal y por contener mecanismos de protección: antioxidantes, antibacterianas, hipotensivas, hipocolesterolémicas, antiinflamatorias, anticarcinogénicas (Quiñones et al., 2012; Restrepo et al., 2017)

4.2.3.1 Polifenoles

Los polifenoles son un grupo de compuestos bioactivos ampliamente distribuidos en alimentos de origen vegetal y fúngicos, que se diferencian de otros grupos de metabolitos secundarios por la presencia en su estructura de al menos un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático (benceno) (Syracuse y Ruberto, 2014). Estos compuestos son capaces de reducir radicales debido a su estructura química; los grupos hidroxilo pueden donar un electrón a los

radicales y los anillos aromáticos pueden estabilizar los radicales aroxilo formados (Reséndiz-Trejo et al., 2020).

4.2.3.1.1 Clasificación

Los polifenoles son generalmente divididos en flavonoides y no flavonoides (Figura 2). Los flavonoides comparten un esqueleto de carbono común de dos anillos de benceno (anillo A y B) unidos por una cadena lineal de tres carbonos que forman un anillo de pirano cerrado (anillo C) con el anillo A. Éstos a su vez son divididos en diferentes subclases de acuerdo con modificaciones de su anillo central C: flavonoles, flavonas, flavononas, antocianidinas, flavonoles e isoflavonas (Kontogianni, 2014; Viñas y Campillo, 2014).

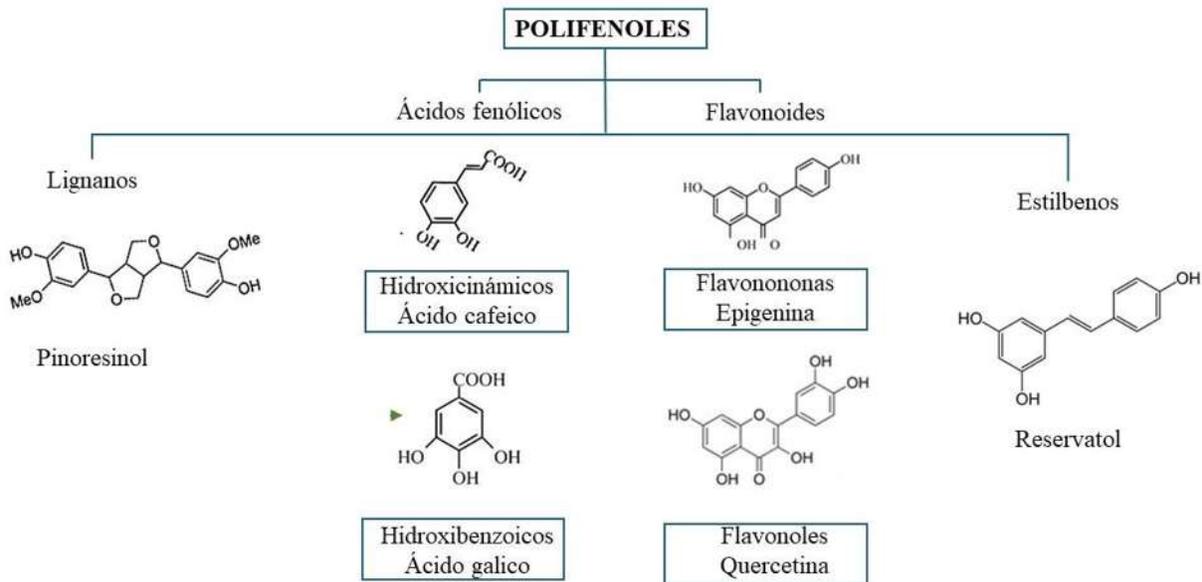


Figura 2. Principales compuestos fenólicos. Esquema extraído de Gómez-Caravaca *et al.*, (2014)

Los flavonoides se pueden encontrar en su forma nativa (aglicón) pero con mayor frecuencia en forma de flavonoides O-glucósidos, donde uno o más de los hidroxilos del aglicón se unen a un azúcar mediante la formación de un enlace O-C, sin embargo, también se pueden encontrar como C-glicósidos donde la glicosilación tiene lugar a través de un enlace C-C mediante la unión directa del azúcar al núcleo básico del flavonoide (Cuyckens et al., 2003).

Los azúcares glicosídicos son generalmente glucosa, galactosa y ramnosa y algunas veces xilosa, arabinosa y ácido glucurónico (Kontogianni, 2014).

En el grupo de los no flavonoides se encuentran los ácidos fenólicos que se subdividen en derivados de ácido hidroxicinámico y derivados de ácido hidroxibenzóico. Los derivados de ácido hidroxibenzóico incluyen a los ácidos: gálico, p-hidroxicinámico, protocatecúico, vanílico y siríngico que presentan una estructura común C6–C1. Los ácidos hidroxicinámicos son más comunes que los ácidos hidrobenczóicos y consisten principalmente de ácidos: p-cumárico, caféico, ferúlico y sináptico, los cuales comparten una estructura común C6 – C3. Otro grupo, son los estilbenos cuyo principal representante es el resveratrol. Por último, encontramos a los lignanos, que se producen por dimerización oxidativa de dos unidades de fenilpropano (Kontogianni, 2014).

4.2.3.2 Terpenos

Los terpenoides o terpenos son un grupo de compuestos isoprenoides que pertenecen al grupo de los lípidos prenoles, se biosintetizan por conjugación de moléculas del isopreno (5 átomos de carbono); además, estos forman una amplia gama de compuestos orgánicos presentes en la naturaleza, encontrándose en plantas, microorganismos y algunos animales. Su diversidad estructural les confiere roles esenciales en la biología vegetal y en industrias como la farmacéutica, cosmética y alimentaria. (Chang et al., 2013). Los terpenos forman parte importante, aunque algunas veces imperceptible, de la cotidianidad del ser humano, son utilizados por sus diferentes propiedades, por ejemplo, saborizantes, pigmentos fotosintéticos, reguladores de crecimiento, de igual manera son reconocidos por sus funciones biológicas como a protección contra el estrés abiótico e interacciones bióticas colorantes, aromáticas, antitumorales, antioxidantes, antibióticos, insecticidas, entre muchas otras más (Chang et al., 2013; Tholl, 2015).

4.2.3.2.1 Clasificación

Los terpenoides, ampliamente distribuidos en la naturaleza y a pesar de su marcada diversidad estructural y funcional, todos ellos comparten un origen común derivado del isopentenil difosfato (IPP) o de su isómero de doble enlace pirofosfato de dimetilalil, conocido como

DMAP (Kitaoka, 2015; Boronat y Rodríguez-Concepción, 2015). Estas moléculas fundamentales constan de 5 átomos de carbono.

Los terpenos se sintetizan a partir de dos rutas metabólicas principales: la vía del mevalonato (MVA) y la vía del metileritritol fosfato (MEP). En el pasado, se consideraba que solo la ruta MVA era responsable de la producción de estos precursores. Sin embargo, hacia finales del siglo pasado, se descubrió una segunda vía (MEP) presente en bacterias (Boronat y Rodríguez-Concepción, 2015). La ruta MVA es predominante en la síntesis de los precursores IPP y DMAP en animales y hongos. (Boronat y Rodríguez-Concepción, 2015)

Estos compuestos pueden adoptar tanto formas lineales como cíclicas y se clasifican en función del número de unidades de dímeros de isopreno que conforman su estructura. El isopreno, compuesto por cinco átomos de carbono y ocho de hidrógeno, actúa como la unidad básica. El primer grupo se subdivide en mono-, sesqui-, di- y triterpenos, que contienen de dos a seis unidades de isopreno. En este grupo se incluyen los carotenoides y sesterpenoides. El segundo grupo abarca a los meroterpenos, los indolditerpenos y los prenilados aromáticos (Schmidt-Dannert, 2015).

4.2.4 Actividad antioxidante

Los antioxidantes son sustancias que se encuentran en los alimentos de consumo diario y tienen la capacidad de prevenir algunos efectos adversos de las especies reactivas, como los radicales libres O_2^- , H_2O_2 , $OH\cdot$, $ON\cdot$, $ONOO\cdot$. Estos compuestos intervienen en reacciones de terminación de cadenas de radicales libres, evitando la oxidación y protegiendo las diferentes funciones fisiológicas en los humanos. Los radicales libres son moléculas responsables del daño oxidativo que está asociado con diversas enfermedades, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, el Alzheimer y el proceso de envejecimiento (Coronado et al., 2015; Villarreal et al., 2019; Granados et al., 2021).

Por lo tanto, la ingesta de alimentos o productos con antioxidantes se recomienda para prevenir estos padecimientos. En este contexto, los hongos comestibles han surgido como alternativas destacadas como fuente de antioxidantes. En los hongos, los metabolitos que presentan actividad antioxidante incluyen las vitaminas C y D, los polisacáridos (β -glucanos), la ergotioneína y los compuestos fenólicos. Estos últimos no solo actúan como antioxidantes,

sino que también exhiben propiedades bioactivas, actuando directamente como antimicrobianos, antivirales, antiinflamatorios, antiparasitarios y anticancerígenos (Novaković et al., 2020; Cruz et al., 2021).

4.3 MAÍZ (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays*) (Figura 3) destaca como el cultivo agrícola más importante en México y es reconocido como uno de los alimentos fundamentales en la dieta del país. La producción anual supera los 30 millones de toneladas, contando con una amplia diversidad de genotipos, incluyendo variantes de maíz de color (SADER, 2023). El maíz tiene una amplia gama de aplicaciones, desde ser utilizado como alimento para el ganado hasta en la fabricación de productos industriales como almidones, edulcorantes, aceites, pigmentos, papel y sustitutos de plástico. Además, se emplea en la producción de medicamentos, cosméticos, solventes, alcoholes y artesanías. También se le otorga un uso espiritual significativo (SADER, 2022).



Figura 3. Maíz (*Zea mays*) color rojo y morado

4.3.1 Origen

El origen del maíz es controversial, sin embargo, se reporta que fue domesticado en cinco regiones (centro-sur de México y Guatemala en Centroamérica) en el sur de México (Oaxaca-Chiapas-Guatemala), en el occidente (Jalisco-Michoacán-Colima-Guanajuato), y en el norte (Chihuahua-Durango) (Kato et al,2009) que podrían ser posibles centros de origen. Además, se han reportado vestigios de semillas de maíz en Tehuacán, Puebla de hace más de siete mil años. Se cree que de nuestro país se dispersó hacia el norte del continente y posteriormente a Europa y Asia.

El maíz es considerado como uno de los cereales más antiguos y es uno de los tres granos básicos que alimentan a la humanidad (ASERCA, 2018). En México, se registran alrededor de 64 razas de maíz, de las cuales 59 son consideradas nativas (CONABIO,2020), entre ellas se encuentran el maíz rojo y morado. Estas razas se clasifican según sus características genéticas, morfológicas y de adaptación.

4.3.2 Descripción botánica

El maíz es un cereal que tiene múltiples clasificaciones: planta monoica, con flores unisexuales y alógama, con un sistema radicular bien definido, al germinar emergen las raíces temporales o embriones que nacen en el primer nudo: Las raíces permanentes nacen en el segundo nudo y las raíces adventicias emergen de los nudos basales de las plantas; el tallo es una caña formada por entrenudos y nudos macizos de longitud variable, gruesos en la base y más delgados en lo superior. Las flores pistiladas se localizan en las 6 yemas florales que emergen de las axilas de las hojas y que durante el proceso de su desarrollo se denomina yema floral pistilada, jilote, elote o mazorca. El fruto o grano del maíz biológicamente es un ovario desarrollado y la semilla es un óvulo fecundado, desarrollado y maduro (Rzedowski, 2001)

4.3.3 Clasificación de las razas del maíz

El término raza se utiliza en el maíz para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común en una amplia gama de entornos, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, lo que permite diferenciarlas como grupos y se nombran a partir de estas características (Tabla 2) (SADER, 2023; CONABIO,2020).

Tabla 1. Los siete grupos en los que se dividen las razas de los maíces mexicanos

1. Cónicos:	Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Cónico Norteño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero de Jalisco, Palomero Toluqueño y Uruapeño.
2. Maduración tardía:	Dzit-Bacal, Comiteco, Coscomatepec, Motozinteco, Olotillo, Olotón, Tehua, Negro de Chimaltenango, Quicheño, Serrano, Mixeño y Serrano Mixe.
3. Sierra de Chihuahua:	Apachito, Azul, Complejo Serrano de Jalisco, Cristalino de Chihuahua, Gordo y Mountain Yellow.
4. Ocho Hileras:	Blando, Onaveño, Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Tablilla de Ocho, Jala, Zamorano Amarillo, Ancho y Bolita
5. Tropicales precoces:	Conejo, Nal-Tel, Ratón y Zapalote Chico
6. Dentados tropicales:	Celaya, Tepecintle, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Vandeño, Zapalote Grande, Nal-Tel de Altura, Pepitilla, Chiquito, Choapaneco y Cubano Amarillo.
7. Chapalote:	Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa y Reventador.

Fuente: CONABIO,2020

4.3.4 Valor nutricional y propiedades

El maíz nativo es reconocido por su amplia gama de sabores y texturas; es una fuente rica en fibra, vitaminas, carbohidratos, proteínas y minerales esenciales (Chí-Sánchez et al., 2021). La fibra presente en el maíz nativo es beneficiosa para mejorar la digestión y prevenir enfermedades como el estreñimiento. Además, contribuye a mantener niveles saludables de colesterol y glucosa en la sangre, lo que puede ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares y la diabetes (Guillén-Sánchez et al., 2014).

En cuanto a las vitaminas los maíces nativos son ricos principalmente en vitamina B (B1, B2, B5, B6) y otras como A, C, E y K1 (Guillén-Sánchez et al., 2014). Dentro de los minerales podemos encontrar el magnesio, fósforo, potasio, hierro, selenio, sodio y azufre (Chí-Sánchez et al., 2021). Los nutrientes presentes en el maíz son fundamentales para el desarrollo y funcionamiento del sistema nervioso, la formación de glóbulos rojos y la salud ósea, entre otros beneficios. Por otro lado, el maíz se distingue por su contenido aminoácidos esenciales y antioxidantes (luteína y zeaxantina). Su posición como alimento básico en la gastronomía mexicana se debe a las importantes propiedades nutricionales que se le atribuyen, las cuales contribuyen positivamente a la salud (Guillén-Sánchez et al., 2014).

Los maíces de colores contienen una amplia variedad de antocianinas, fenoles y flavonoides que poseen propiedades únicas y distintivas. Estas coloraciones son una opción para la obtención de pigmentos naturales sustituyendo a los pigmentos sintéticos. (Wallace y Giusti, 2015) Además, son una fuente importante de antioxidantes, pero su actividad biológica se ve afectada por la luz, oxígeno, pH y altas temperaturas lo que dificulta su utilización (Castro-Enríquez et al., 2020)

En cuanto al maíz de color morado contienen ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, sales de potasio y sodio, azufre y fósforo, y sus compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos contenidos en el maíz morado actúan como antioxidantes, secuestrando especies reactivas de oxígeno e inhibiendo las enzimas productoras de radicales libres. Es relevante destacar que el maíz morado se distingue por tener un contenido más abundante de antocianinas del tipo cianidin-3-glucosa, que constituye su principal pigmento (Guillén-Sánchez et al., 2014).

Por otro lado, el maíz rojo presenta una riqueza notable en antocianinas, flobafenos, β -caroteno, fibra y vitaminas A, E, C, B1 y B3, así como compuestos fenólicos. Estos granos aportan cantidades significativas de almidón, azúcares, proteínas y diversos minerales como, junto con vitaminas esenciales. El maíz rojo presenta una mayor presencia de pelargonidina 3-glucósido y peonidina 3-glucósido, compuestos reconocidos por sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Guillén-Sánchez et al., 2014; Espinosa et al., 2011). Dada su condición de semilla de alto consumo, con un valor nutricional y nutracéutico considerable, se postula como una opción idónea para someterse a procesos de fermentación utilizando *H. erinaceus*.

4.3.5 Importancia económica

El maíz ocupa un lugar de gran importancia en México, tanto en su alimentación, sociedad, cultura y economía. Con una producción que supera los 27 millones de toneladas, el país se posiciona como el octavo mayor productor a nivel mundial. (SADER,2021)

En México, el consumo de maíz está estrechamente ligado a la nixtamalización con cal, un proceso que elimina la cubierta del grano, haciéndolo menos fibroso. Este proceso también crea una masa más elástica, lo que permite la elaboración de tortillas y otros subproductos. Además de mejorar la textura y versatilidad del maíz, la nixtamalización incrementa el contenido de calcio en el alimento, optimiza la asimilación de proteínas y libera la niacina (vitamina B3) presente en el grano (SADER,2020). Por otro lado, el maíz también se utiliza como forrajero y puede ser utilizado para obtención de pigmentos naturales. Sin embargo, a pesar de sus amplios usos se carece de una cultura empresarial, planeación y organización, y cultura financiera (Aguilar-Curiel, 2021).

4.4 HONGOS BASIDIOMICETOS COMO FUENTE DE ALIMENTO

Los macromicetos desempeñan un papel vital en los ecosistemas debido a su forma de obtener nutrientes (Niego et al.,2023). Actúan como saprobios al absorber la materia orgánica muerta de su entorno, pueden ser parásitos de árboles o establecer relaciones simbióticas con las raíces(micorrizas). Algunos son comestibles, otros tóxicos (venenosos). Su actividad contribuye al ciclo de la materia orgánica y pueden impactar la composición de las

comunidades vegetales (Aguirre-Acosta et al., 2014). Están compuestos por hifas ramificadas que forman estructuras reproductivas. (Carrillo, 2003).

Los basidiomicetos constituyen un extenso grupo de hongos que abarca más de treinta mil especies, siendo considerados los hongos más avanzados en términos de complejidad morfológica, gracias a la presencia de basidios, que desempeñan un papel fundamental en reproducción sexual y son un carácter útil en su identificación y clasificación taxonómica (Rojas et al., 2013; Bandala et al., 2020). Este grupo genera cuerpos fructíferos con diversas formas, que pueden incluir píleos y estípites, así como hongos con estructuras como nidos, repisas, coliflores, escobetas, entre otras (Bandala et al., 2020).

Dentro de los basidiomicetos, existe un conjunto de especies que son comestibles y se encuentran entre las más cultivadas comercialmente. Ejemplos: el champiñón (*Agaricus bisporus*), la seta (*Pleurotus spp.*) y el shiitake (*Lentinula edodes*) (Figura 5). Estas especies no solo son apreciadas por su valor culinario, sino que también producen compuestos con diversas actividades beneficiosas para la salud, como propiedades antivirales, antitumorales, antioxidantes, antiinflamatorias y antidiabéticas, entre otras (Rojas, 2013)



Figura 5. Hongos más cultivados en México

4.4.1 Valor como alimentos funcionales

A los hongos comestibles se les ha atribuido un elevado valor gastronómico y económico gracias a sus propiedades medicinales y nutricionales (Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016). Estos hongos no solo destacan por su contenido nutricional, que incluye proteínas, carbohidratos, vitaminas, calcio y hierro, sino que también poseen metabolitos con actividad fisiológica beneficiosa para la salud. Además, se ha observado que pueden ser utilizados en la prevención o tratamiento de enfermedades (Sardar et al., 2017; Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016).

El carácter funcional o nutracéutico de los hongos se atribuye a la presencia de diversos metabolitos bioactivos, tales como lectinas, polisacáridos de alto peso molecular (β -glucanos), heteroglucanos, proteoglucanos, polisacaropéptidos, fenólicos, terpenoides y proteínas fúngicas inmunomoduladoras, entre otros. Estudios han demostrado de manera extensa que estas macromoléculas bioactivas, cuando son purificadas, exhiben propiedades funcionales sin provocar efectos secundarios adversos (Yang et al., 2010, Abdullah et al., 2012; Grandes-Blanco et al., 2021).

4.4.2 Importancia de los hongos comestibles silvestres en México

México se posiciona en segundo lugar en diversidad biológica de hongos macromicetos comestibles, con alrededor de 450 especies que son consumidas y aproximadamente 350 especies utilizadas en la medicina tradicional por diversas etnias del país (Pérez y Ferrera, 1993; López-García et al., 2020; González-Morales et al., 2021). En los últimos años, se ha registrado un notable aumento en el consumo de hongos, atribuido a su valor nutricional y a sus propiedades beneficiosas para la salud humana (Martínez-Carrera et al., 2007).

Las especies más cultivadas y comercializadas en México incluyen *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula* (reishi), y *Ustilago maydis*. (huitlacoche) (Sanchez y Royse, 2002), observando algunas de las especies más representativas en México (Figura 6).



Figura 6. Hongos comestibles de Michoacán

Sin embargo, existen otras especies saprofitas, tanto comerciales como nativas, que presentan potencial para su producción, pero su disponibilidad está limitada a ciertos meses del año. Entre ellas se destacan los géneros *Lepista*, *Lentinula*, *Ganoderma*, *Agaricus* y *Hericium*. Este último, posee un elevado valor cultural, culinario y medicinal mejor conocido como el hongo melena de león y cuenta con el potencial de ser integrado en esquemas de producción (Gaitán-Hernández, 2000; Martínez-Carrera, 2010).

Adicionalmente se ha reconocido el enorme potencial de los hongos silvestres comestibles como una fuente natural para el tratamiento y control de distintas enfermedades degenerativas por sus metabolitos bioactivos naturales (Jiménez et al., 2013), por lo que estos géneros nativos tienen gran potencial para incorporarse en el corto plazo a la producción comercial de los hongos comestibles, funcionales y medicinales en nuestro país (Martínez-Carrera et al. 2010).

4.4.3 *Hericium erinaceus*

Hericium erinaceus (Figura 7) es un hongo comestible y medicinal con potenciales efectos neuroprotectores respecto a su con enfermedades como Alzheimer y Parkinson, entre otras. (Rossi et al., 2018). El cuerpo fructífero de *H erinaceus* se encuentra en diferentes bosques de nuestro país, pero también se puede obtener mediante cultivos controlados. En los últimos años se han aislado metabolitos secundarios característicos de este hongo como son las erinacinas, erinacerinas, erinaceolactonas, glicoproteínas, polisacáridos y esteroides aisladas principalmente del cuerpo fructífero, y se han revisado sus propiedades promotoras de salud (Wang et al., 2019)



Figura 7. *Hericium erinaceus*

4.4.3.1 Características morfológicas y taxonómicas

Hericium erinaceus es un hongo perteneciente al grupo de los Basidiomicetes, a la familia Hericiaceae, orden Russulales y clase Agaricomycetes, *H. erinaceus* (Kirk et al. 2008; Brandalise et al., 2023) tiene una distribución amplia, principalmente en países asiáticos. Comúnmente conocido como hongo melena de león, Yamabushitake o hongo de mono (Pit et al., 2020). *H. erinaceus* puede ser fácilmente reconocido debido a sus notables basidiomas que consisten en numerosas espinas carnosas, generalmente largas, colgantes y distintivas. Inicialmente son blancas, luego se tornan amarillentas y finalmente parduscas con la

madurez. (Thongbai et al.,2015). Las especies del género *Hericiium* se distinguen visualmente por la presencia de ramas ramificadas que soportan espinas de diferentes longitudes, así como por su ocurrencia individual en contraste con múltiples agrupaciones. A nivel microscópico, se diferencian por la presencia de basidiosporas con características amiloides. *H. erinaceus* se le considera un hongo saprófito o parásito débil debido a que se encuentra. con mayor frecuencia en madera muerta (Itmaj et al.,2008;Thongbai et al.,2015)

4.4.3.2 Sustratos empleados para su producción y cultivo

El género *Hericiium* fue domesticado en Shanghái por científicos de la Academia de Ciencias Agrícolas. Actualmente es cultivado en bolsas de plástico con diferentes tipos de sustratos como bagazo de caña de azúcar, aserrín (pino, roble, abedul, caucho, mezclas de aserrín suplementadas con salvado de trigo cáscara de semilla de algodón, olote y paja de arroz y sacarosa, entre otros (Potemsky, 2014).

4.4.3.3 Valor nutricional

Los hongos comestibles se caracterizan por ser un alimento completo debido a que contienen más proteínas que otros alimentos de origen vegetal. Se han realizado análisis bromatológicos de *Hericiium erinaceus* (Tabla 3) del polvo seco del basidiocarpo y la biomasa del micelio del hongo encontrando diferencias.

Tabla 2. Composición nutrimental del basidiocarpo y biomasa del micelio de *H. erinaceus*

Compuesto	Cuerpo fructífero	Biomasa del micelio
Proteína	20.8%	42.5%
Carbohidratos totales	61.1%	42.9%
Cenizas	6.2%	4.4%
Grasa	5.1%	6.3%
Agua	6.2%	3.9%

Fuente: Friedman, 2015.

4.4.3.4 Compuestos bioactivos

Hericium erinaceus contienen compuestos de bioactivos y presenta cinco clases de compuestos orgánicos (erinacinas, compuestos aromáticos, esteroides, alcaloides y lactonas) aislados de los cuerpos frutales y micelio.

Las *hericerinas* son compuestos aromáticos aislados del cuerpo fructífero de *H. erinaceus* donde se han encontrado alrededor de 10 compuestos derivados de estas hericerinas (Friedman 2015). Las erinacinas (Figura 8) pertenecen al grupo de los diterpenoides y se les ha atribuido la capacidad de estimular la síntesis del factor de crecimiento neuronal, (Kolotushkina et al., 2003; Pit et al., 2020) este metabolito se ha aislado de extractos de micelio de *H. erinaceus* con etanol (Friedman 2015) y mediante la técnica de fermentación sólida (Friedman, 2015).

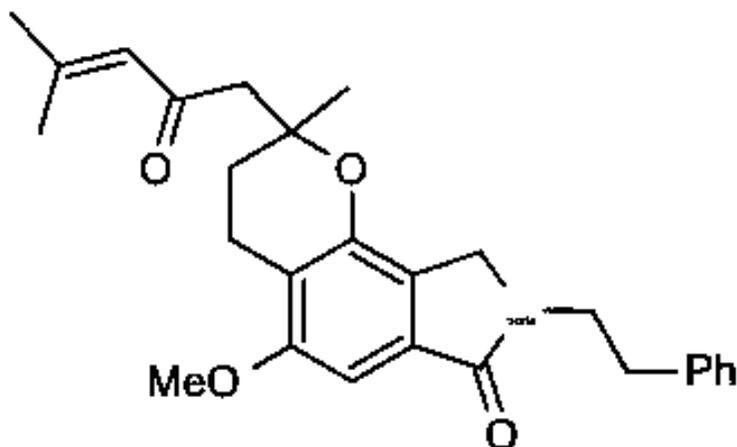


Figura 8. Estructura de Erinacina A

Las hericenonas también están presentes en *H. erinaceus* y pertenecen a los terpenoides, ayudan a regular el eje intestino-cerebro (Pit et al., 2020). Por último, se encuentran los erinaroles que pertenecen al grupo de los esteroides y tienen actividad inhibitoria contra la secreción del factor de necrosis tumoral TNF- α . (Pit et al., 2020)

H. erinaceus también presenta otros compuestos como las erinaceolactonas que presentan actividad reguladora de crecimiento en plantas, también contiene algunas glicoproteínas con actividad heglutinante, polisacáridos como B- glucanos que tiene efectos inmunomoduladores y antioxidantes, esteroides como el ergosterol que ayuda a equilibrar el colesterol en humanos (Friedman, 2015)

4.3.3.5 Propiedades funcionales y medicinales

Se ha evidenciado que los hongos presentan importantes propiedades terapéuticas y se han utilizado como antimicrobianos y antioxidantes. Además, se han utilizado como tratamiento alternativo para algunas enfermedades como diabetes, cáncer por mencionar algunos. *H. erinaceus* presenta compuestos beneficiosos para la salud, como su actividad antioxidante, regulación de los niveles los lípidos en la sangre, reducción de glucosa en sangre. Los polisacáridos de este hongo se registran los β - glucanos que son polisacáridos que se encuentran principalmente en la pared celular de los hongos pueden tener actividad contra el sistema inmune y envejecimiento (Lee et al., 2009; Xu et al., 2010). También podemos encontrar otros metabolitos que tienen actividad antimicrobiana y propiedades antioxidantes tanto en el micelio como en los cuerpos fructíferos (Rendón- Hernández,2015).

Actividad antitumoral e inmunomoduladora

Los polisacáridos encontrados en *H. erinaceus* han mostrado efectos positivos en células tumorales en estudios de laboratorio. Se cree que este efecto se debe a la estimulación del sistema inmunológico, incluyendo la liberación de citocinas como IL-1 β y TNF- α , así como la producción de óxido nítrico. (Thongbai, 2015). Se sugiere que extractos de *H. erinaceus* podrían ser útiles en el tratamiento de varios tipos de cáncer, incluyendo el de esófago, intestino, páncreas y estómago. Los pacientes tratados con *H. erinaceus* han reportado menos efectos secundarios en comparación con la radioterapia y quimioterapia (Thongbai, 2015).

Actividad neuroprotectora

El factor del crecimiento nervioso (NFG) es una proteína que participa en la prevención de la muerte neuronal y promoción del crecimiento de la neuritis, apoya la formación de sinapsis y mejora la función de memoria y es esencial para mantener y organizar la función neuronal (Thongbai et al.,2015). En los últimos diez años, múltiples investigaciones han confirmado que el consumo de *Hericiium erinaceus* muestra una acción sobre el tejido nervioso y puede mejorar las condiciones neuronales en animales afectados por enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer, depresión, Parkinson y lesiones en la médula espinal. Estudios tanto en laboratorio como en animales han mostrado evidencia de

estos efectos neuroprotectores, los cuales son atribuidos a las erinacinas presentes en este hongo (Roda et al., 2021).

4.5- FERMENTACIÓN SÓLIDA

La fermentación en medio sólido (FS), una técnica antigua, implica que los hongos filamentosos colonizan materiales sólidos y semisólidos para su consumo, como el Koji y el Tempeh consumidos en Asia, y quesos como el camembert y el roquefort en Europa (Viniestra-González, 1997); ha demostrado una serie de ventajas económicas sobre los métodos convencionales de fermentación sumergida para la producción de productos de alto valor agregado. La FS se caracteriza por el crecimiento de microorganismos en un sustrato con bajo contenido de humedad, puede ocurrir de forma natural y no aséptica. Para este fin, se han desarrollado y estudiado diversos sistemas de biorreactores con el objetivo de obtener altos rendimientos de productividad a partir de estos bioprocesos (Ruíz-Leza et al., 2007). En la actualidad, representan una alternativa muy prometedora no solo para la producción de alimento animal, sino también para una variedad de usos adicionales, como en el ámbito farmacéutico, la biorremediación y la biodegradación de compuestos peligrosos, entre otros (Singhania et al. 2009). Esta técnica presenta varias ventajas, como un diseño simple y el uso de fermentadores pequeños, un buen rendimiento y bajos requerimientos energéticos, además de producir un producto más estable y económico (Robinson et al., 2001).

4.5.1 Sustratos y condiciones

La fermentación de semillas, residuos y/o desechos agroindustriales busca mejorar y/o alterar la calidad nutricional de forrajes y subproductos agrícolas para su aplicación en la alimentación tanto del ganado y humana (Jiménez-Alfaro et al., 2020; Borrás-Sandoval et al., 2016).

Para lograr una fermentación sólida (FS) exitosa (Figura 9), es esencial supervisar factores críticos como la humedad, el tipo de sustrato, la temperatura, el pH y la actividad del agua (Aw) (Reinoso, 2015; Pastrana, 2009; León-Revelo et al., 2017; Delgado y Barbosa, 2014). Estos parámetros aseguran un adecuado desarrollo micelial y la biotransformación efectiva de los sustratos (Pastrana, 2009).

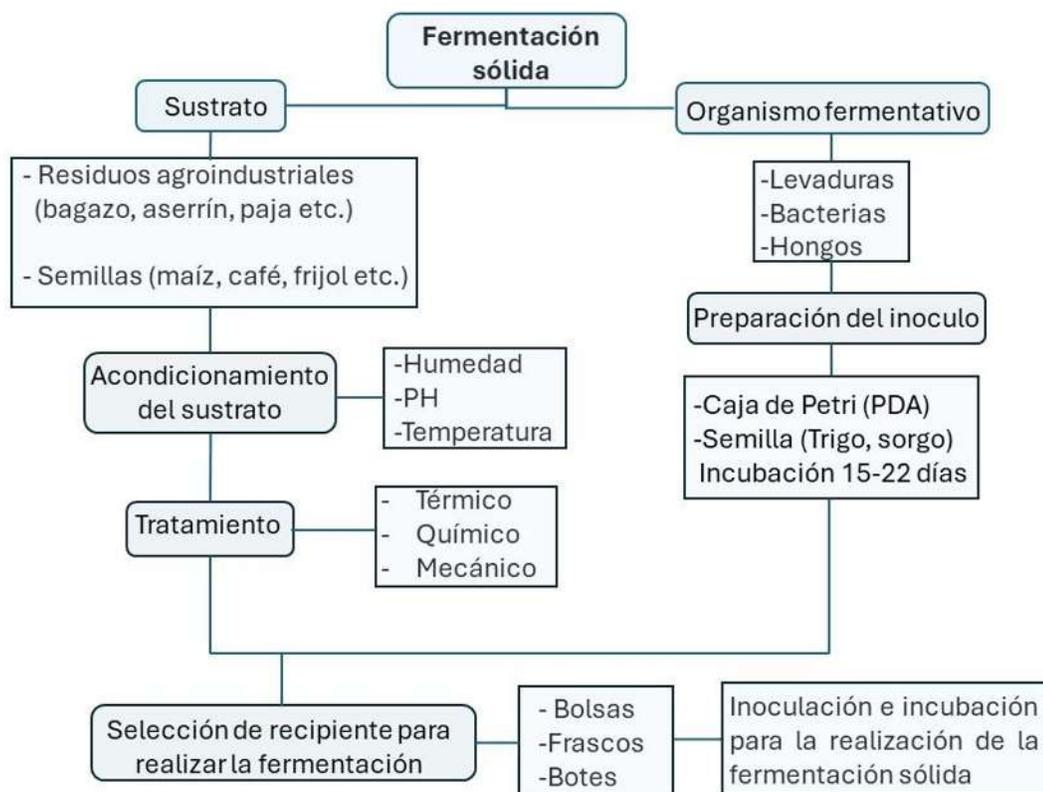


Figura 9. Condiciones y sustratos para realizar la fermentación sólida (Reinoso, 2015; Jiménez-Alfaro et al., 2020; León-Revelo et al., 2017)

4.5.1.1 Fuente fermentativa

La FS consiste en cultivar microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) en un sustrato sólido, en ausencia de agua libre. (Figuroa., 2023). Los microorganismos utilizan la fermentación como fuente de energía y se dividen en dos grupos: anaerobios estrictos u obligados, que no pueden vivir sin oxígeno; y organismos fermentadores que pueden sobrevivir en esas condiciones realizando la respiración anaerobia. Por otro lado, están los organismos anaerobios facultativos, que utilizan la respiración aerobia en presencia de

oxígeno, pero tienen la capacidad de llevar a cabo fermentación o algún tipo de respiración anaerobia (Lehninger, 1990).

4.6 En la industria

La FS de semillas con basidiomicetos ha sido muy poco estudiada, sin embargo, son comunes los trabajos de FS diferentes sustratos como bagazo de caña, manzana y rastrojos con hongos del género *Pleurotus*, *Lentinula* y *Gymnopus*, mismos en los que se ha observado aumento del contenido de fenólicos y actividad antioxidante en los esporocarpos. Además de que se han extraído metabolitos de interés como la eritadenina y β -glucanos (Tabla 1). Estos resultados representan una excelente alternativa para ofrecer alimentos a los consumidores con alto contenido de nutrientes y beneficios para la salud (Nieto-Juárez et al., 2019). Asimismo, estudios muestran que la utilización de diferentes sustratos para cultivar hongos modifica su contenido nutricional y actividad antioxidante (Suárez y Nieto, 2013).

4.5.2 Ganadería

La FS en la producción de alimentos destinados para animales utilizando residuos agrícolas e industriales representan una fuente significativa de biomasa que puede ser aprovechada en la alimentación animal. Además, a través de este proceso los residuos son enriquecidos y más digeribles para los animales. La FES ofrece múltiples ventajas, como la utilización de recursos de bajo costo, la reducción de residuos y la mejora de la calidad de los alimentos para el ganado. Además, contribuye a la sostenibilidad al disminuir la dependencia de los alimentos concentrados y fomentar prácticas agrícolas más sostenibles (Borrás-Sandoval et al., 2016). En este contexto, se han utilizado al hongo comestible *Pleurotus* para fermentar residuos agroindustriales como la caña de azúcar y ésta utilizada en la alimentación de especies de interés pecuario. Durante este proceso se producen enzimas fibrolíticas que favorecen la degradación de la fibra y mejora el proceso de fermentación de la fibra, además el ensilaje de los forrajes fermentados hace disponibles otros compuestos de fácil asimilación que coadyuvan a la conservación de forrajes (Peláez-Acero et al., 2011).

4.5.3 Farmacéutica

La fermentación en estado sólido también ha encontrado aplicación en la industria farmacéutica. Se ha utilizado para la producción de metabolitos secundarios que han desempeñado diferentes papeles en la naturaleza, como potenciales sustancias antiinfecciosas (antibacterianos, antifúngicos, antivirales y antiparasitarios, entre otras). Los metabolitos secundarios se producen en la mayoría de los casos por hongos filamentosos y actinomicetos, pero también por otras bacterias (*Bacillus*, *Pseudomonas*). (Suarez y Nieto, 2013; Díaz-Talamantes).

Dentro de los estudios realizados de la FS se encuentra el de Díaz-Talamantes,(2022), quienes fermentaron *Gymnopus dryophilus* para la obtención de β -Glucanos de especies silvestres de hongos, utilizando harina de maíz y levadura como sustrato. Además, se han obtenido otros compuestos con potencial nutraceutico como algunas enzimas, policétidos, ácidos grasos, polifenoles, flavonoides y terpenoides, entre otros (Suarez y Nieto, 2013).

4.5.4 Alimentaria

La FS se destaca como una biotecnología valiosa en la industria alimentaria (Onteru et al., 2010). A lo largo del tiempo, la FS con hongos filamentosos del grupo ascomicetos ha sido empleada en la preparación de comidas orientales; sin embargo, aún existen muchos aspectos desconocidos acerca de estos procesos fermentativos. En el sector alimentario destinado al consumo humano, es común que la formulación de sustratos para medio de cultivo se base en materiales como granos de cereales, semillas oleaginosas y residuos agrícolas y forestales (Pastrana, 1996).

La FS con hongos basidiomicetos aumenta el contenido nutricional y nutraceutico (Tabla 4), así como para obtener enzimas de importancia comercial generadas por hongos de diferentes géneros, con aplicaciones farmacéuticas (Lizardi-Jiménez y Hernández-Martínez, 2017). Por ejemplo, Mora-Uzeta et al. (2018) obtuvieron una harina de frijol tépari fermentado con *Rhizopus oligosporus*, con mayor digestibilidad proteica *in vitro*, actividad antioxidante, contenido de fenólicos totales y de flavonoides.

Tabla 3. Uso de la fermentación sólida en la industria alimentaria

Tipo de organismo	Sustrato	Tiempo de incubación	Resultados	Referencia
<i>Pleurotus sapidus</i>	Bagazo de Caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.)	15 días	Aumentó de proteína 1,9%	Peláez et al.,2008
<i>Lentinula edodes</i>	Espuma de poliuretano y medio enriquecido con minerales	20h	Liberación de eritadenina a las 168 horas incrementándose 2.8 y 2.4 %	Grandes-Blanco et al.,2021
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Bagazo de manzana	0, 7, 14, 21 y 28 días	Aumento del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante	Ibarra-Cantún et al.,2022
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Rastrojo de maíz y pasto mulato	15 y 30 días	Producción mayor de biogas 30 días y proteína cruda 15 días, contenido de nutrientes	Herrera-Pérez et al.,2021

4.6 TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS

La cromatografía es un método de separación para analizar mezclas complejas. Combina diversas técnicas basadas en la retención selectiva a través de fases móviles y estacionarias (líquidas, gaseosas o sólidas). Su propósito es separar, identificar y cuantificar los componentes de una muestra. (Pássaro et al., 2016; Corzo, 2019).

4.6.1 Cromatografía de capa fina (TLC)

La cromatografía de capa delgada TLC, es una técnica de análisis químico rápida utilizada en química orgánica para separar compuestos en una muestra. Se basa en la adsorción entre

dos fases, permitiendo separar los analitos según sus coeficientes de distribución y la velocidad en que son desplazados por la fase móvil a través de la fase estacionaria. Los compuestos pueden ser identificados por su color o fluorescencia, y su factor de retención (R_f) se calcula usando la fórmula $R_f = D_s / D_f$. Esta técnica es útil para evaluar la pureza de los compuestos, identificar y comparar analitos, y seguir la progresión de una reacción (Pássaro et al., 2016; Corzo, 2019; Vallejo-Rosero et al., 2021).

En la cromatografía, se emplean dos adsorbentes polares: gel de sílice y alúmina. El gel de sílice, con propiedades ácidas, separa compuestos lipofílicos como esteroides y ácidos grasos, mientras que la alúmina, alcalina, se usa para separar vitaminas liposolubles y aminas. Las interacciones dipolo-dipolo y los puentes de hidrógeno entre el soluto y el adsorbente son esenciales en el proceso de adsorción. La elección de la fase móvil, compuesta por eluyentes, se determina según la composición química de la muestra. A veces, se usan sistemas de solventes con diferentes polaridades cuando una fase móvil pura no logra separar eficazmente los componentes (Corzo, 2019).

La cromatografía de capa fina se ha utilizado como técnicas preparativas y para la purificación de diversos compuestos de una muestra de interés estos se aíslan con ayuda de estándares, también puede emplearse como método preliminar para la detección de compuestos con actividad antioxidante tiñendo la placa con el radical DPPH y aquellas bandas que cambian su color de morado a amarillo son aquellas que contienen antioxidantes (Soler-Rivas y col., 2000).

V. JUSTIFICACIÓN

La tradición culinaria ancestral se ha ido perdiendo o modificado por la adopción de nuevos hábitos alimenticios con el consecuente incremento de enfermedades cardiovasculares en toda la población del país. Los hongos forman parte del menú de alimentos del México antiguo y los pobladores conocían sus propiedades nutrimentales y atributos que les permitían usarlos en ceremonias, rituales y con fines terapéuticos. Aunque México está considerado como el segundo país con mayor diversidad de hongos comestibles, su consumo per cápita es menor a 1 kg al año, inferior al consumo mínimo recomendado para un adulto de 1.5 kg al año. *Hericiium erinaceus* es un hongo que presenta propiedades nutrimentales y funcionales importantes para la dieta del mexicano y dada su disponibilidad por tratarse de un hongo silvestre está restringida a ciertos meses del año; por lo anterior, este trabajo propone un sistema de producción de micelio y fermentación sólida de semillas de maíz nativas con el hongo para mejorar el contenido nutrimental y nutracéutico, y proponerlo como alimento funcional que esté a disposición del mexicano en cualquier época del año.

VI. HIPÓTESIS

La fermentación sólida de semillas de maíz con el hongo *Hericiium erinaceus* incrementa el potencial nutricional y antioxidante para emplearse como un alimento funcional.

VII. OBJETIVOS

7.1 Objetivo General

Determinar la composición nutrimental y valor nutracéutico de semillas de maíz fermentadas con *Hericiium erinaceus*

7.1.2-Objetivos específicos

- Comparar la calidad nutrimental de las semillas nativas de maíz y el producto fermentado
- Evaluar la capacidad antioxidante de las semillas nativas y del producto fermentado
- Generar un perfil cromatográfico de compuestos polares de los productos fermentados y semillas

VIII.-MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en la Facultad Agrobiología “Presidente Juárez” en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

8.1 Material fúngico

Se utilizó una cepa *Hericiium erinaceus* comercial de Ndexi y una silvestre colectada del municipio de Zirahuén de depositadas en el cepario del Laboratorio de Bromatología de la Facultad Agrobiología “Presidente Juárez”

8.2 Material vegetal

Se empleó como sustratos para la fermentación maíz rojo y morado obtenidos del rancho San Nicolás, ubicado en San Juan Nuevo, Parangaricutiro, Michoacán.

8.3.-Fermentación sólida

Para llevar a cabo la fermentación sólida, el material vegetal se lavó y se sumergió en agua por 12 horas con la finalidad de que el contenido de humedad del grano aumentara de 12 a 45% (Hughes y Baxter, 2001), posteriormente se eliminó el exceso de humedad y se agregaron 50 g de semilla a 6 frascos por tratamiento, mismos que se esterilizaron a 15 psi por 25 min.

El experimento comprendió tres tratamientos y un grupo de control (Tabla 5); cada uno de ellos fue inoculado con 1 g de semilla de trigo portando micelio de *H. erinaceus* como inóculo, tanto de origen comercial como silvestre. A los tratamientos 2 y 3 se les incorporó una fuente de nitrógeno, utilizando salvado de trigo (Salcedo et al., 2016), y una solución nutritiva con sales minerales y extracto de levadura (Xu et al., 2018). Estos tratamientos fueron incubados en condiciones de oscuridad, y se evaluó el crecimiento micelial de los cultivos a los 40 días

Tabla 5. Tratamientos realizados en la experimentación

Material fúngico	Material Vegetal	Tratamientos	Nomenclatura
<i>Hericium Comercial</i> (Hc)	Maíz rojo (R)	T1= Control: Hongo + maíz	T1 = H c/z- R / M
	Maíz morado (M)	T2= Hongo + maíz + salvado de trigo 5%	T2= H c/z .ST5%-R / M
<i>Hericium Silvestre</i> (Hz)	Maíz rojo (R)	T3= Hongo + maíz + salvado de trigo 10 %	T3= H c/z- ST 10%- R/M
	Maíz morado (M)	T4= Hongo + maíz + sales minerales	T4=H c/z- SM - R/M

8.3.1 Procesamiento de las muestras para su análisis

Las muestras fermentadas fueron pesadas y deshidratadas durante 24 horas. En el caso de los tratamientos de fermentación, se procesaron después de completar el tiempo de incubación. Posteriormente, cada muestra fue molida con la ayuda de una licuadora y tamizada para obtener un polvo completamente fino. Estos polvos fueron colocados en bolsas plásticas debidamente etiquetadas para su análisis posterior.

8.4 Análisis proximal

Se llevó a cabo una comparación del contenido nutricional entre cada tipo de semilla y el producto fermentado. Se determinó la composición proximal, que incluyó el cálculo del porcentaje de humedad, materia seca y la cuantificación de grasas, proteínas, carbohidratos, fibra y cenizas, tanto para las semillas como para el producto fermentado.

8.4.1 Contenido de materia seca

El contenido de materia seca se realizó a partir del método del AOAC 934.01 (2016) peso fresco de las muestras y su peso seco a partir de la fórmula siguiente:

$$MS (\%) = \text{Peso seco (Ps)}/\text{Peso fresco (Pf)}*100$$

8.4.2 Contenido de grasas

En el análisis de contenido de grasa, se utilizó el método Soxhlet (AOAC,1990), basado en la extracción semicontinua con hexano. Se pesaron 3 gramos de muestra seca y se colocaron en un dedal de celulosa con porosidad para facilitar el paso rápido del solvente a través de la muestra. La extracción se llevó a cabo durante aproximadamente 3 horas. Después de completar el tiempo de extracción, se recuperó el solvente y se secó el matraz balón (preacondicionado y pesado previamente) en una estufa a 100°C durante 30 minutos. Luego, se dejó enfriar y se calculó el porcentaje de grasa utilizando la fórmula correspondiente.

$$\% \text{ Grasa} = \text{Peso grasa} / \text{Pi} * 100$$

Pi: peso inicial de la muestra seca

8.4.3 Contenido de proteínas

La determinación de proteínas se llevó a cabo utilizando la metodología de Nessler. Se tomaron 0.2 g de la muestra, 0.1 g de la mezcla reactiva catalizadora de selenio para determinar nitrógeno marca Merck, 0.17 g de ácido salicílico y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Una vez digeridas las muestras en un microkjeldahl se aforaron a 100 ml con agua destilada y se realizó la colorimetría con el reactivo de Nessler. Posteriormente, se dejaron reposar durante 15 minutos para luego leerlas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 440 nm. Finalmente, se compararon los resultados con la curva de calibración para determinar la concentración de proteínas.

8.4.4 Contenido de carbohidratos

Los carbohidratos totales se determinaron por el método de diferencia (AOAC, 1990) que consiste en restar al 100% (Joan-Hwa et al., 2001), el resultado del porcentaje de humedad (H), ceniza (C), grasa (G) y proteínas (P), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carbohidratos totales} = 100 - \%H - \%C - \%G - \%P$$

8.4.5 Contenido de fibra cruda

El análisis de fibra se llevó a cabo mediante el método gravimétrico 962.09 AOAC (1990). Se tomaron 2 g de muestra seca y desengrasada, a los cuales se les añadió 200 mL de ácido sulfúrico al 1.25 % y digirió la mezcla por 30 minutos a 100 °C. Posteriormente, se filtró la solución y se lavó con agua hirviendo hasta alcanzar un lavado neutro. El residuo resultante se colocó en un vaso de 600 mL y se agregaron 200 mL de hidróxido de sodio al 1.25 %, llevándolo nuevamente a ebullición por 30 minutos a 100 °C. Concluido el proceso de hidrólisis, se repitió el filtrado y lavado antes de secar a 105 °C en una estufa hasta obtener un peso constante. La ecuación utilizada para obtener el porcentaje de fibra fue:

$$\% \text{ fibra} = \text{Peso fibra} / \text{Pi seca} * 100$$

Pi seca= peso inicial de la muestra seca

8.4.7 Contenido de cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas (AOAC,1990), se tomaron 2 gramos de muestra seca y se colocaron en un crisol previamente acondicionado y pesado. La muestra se quemó parcialmente en una parrilla y luego en una mufla a 600°C durante dos horas. Después de enfriar, se pesó nuevamente la muestra y el porcentaje de cenizas se calculó utilizando la fórmula:

$$A - B \times 100 / C$$

Donde:

A= Peso de crisol

B= Peso del crisol más la muestra calcinada

C= Peso de la muestra

8.4.8 Determinación de elementos

En el análisis elemental, se tomaron 0.5 g de cada muestra deshidratada del maíz, el hongo sin fermentar y del producto fermentado. Estas muestras se colocaron en tubos para microondas y se les añadieron 8 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) para proceder a la digestión en microondas. Después de completar el tiempo de digestión, se determinaron los macroelementos (calcio, potasio, sodio, magnesio) y micronutrientes (hierro, níquel, cobalto, selenio, manganeso, zinc y cobre) mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

Para la determinación de azufre, se tomó una alícuota de 5 mL, se le añadieron 2 mL de solución acondicionadora y 1 mL de solución de cloruro de bario (BaCl_2) para ser analizado por el método de turbidimetría mediante espectrofotómetro UV-Vis a 410 nm.

En el caso del fósforo (P), se tomó 1 mL de la digestión de microondas y se le añadieron 9 mL de agua destilada y 1 mL de solución metavanadato-molibdato. Finalmente, se leyó por espectrofotómetro UV-Vis a 420 nm.

Para la determinación del nitrógeno total, se llevó a cabo una digestión mediante la metodología Kjeldahl. Se tomaron 0.2 g de la muestra deshidratada, a la cual se le añadieron 0.1 g de mezcla catalizadora de selenio, 0.17g de ácido salicílico y 10 mL de ácido sulfúrico. Posteriormente, se llevó a un digestor Kjeldahl y, una vez completada la digestión, se cuantificó el nitrógeno amoniacal mediante la metodología de Nessler en un espectrofotómetro UV-Vis a 440 nm. El nitrógeno total se calculó a partir de su forma amoniacal.

8.5 Evaluación del potencial nutracéutico

A los productos de fermentación se les evaluó el potencial nutracéutico incluyendo el contenidos fenólicos y actividad antioxidante bajo las siguientes metodologías.

8.5.1 Determinación del contenido de fenoles totales

Preparación de extractos

Obtención de extractos

Las muestras deshidratadas y finamente molidas fueron sometidas a una doble extracción (la primera extracción y 5 mL en la segunda) por maceración en etanol al 80% durante 2 horas en un sonicador de acuerdo con la metodología propuesta por Chandrawanshi et al. (2017). Posteriormente, la recuperación de los extractos se realizó mediante centrifugación a 500 rpm durante 10 minutos.

Determinación del contenido de fenólicos totales

El contenido de fenólicos totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (FC) permitiendo que la mezcla de fosfomolibdato y fosfotungstato reaccionara con antioxidantes fenólicos y polifenólicos durante 15 min y posteriormente se agregó carbonato de sodio e incubó 30 min. Posteriormente, se midió la absorbancia a 765 nm de la mezcla de reacción y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico/g (EAG) de peso seco.

8.5.2 Ensayos de actividad antioxidante utilizando radicales cromógenos sintéticos

La capacidad antioxidante de los extractos y se evaluaron a través de la inhibición de los radicales sintéticos 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH[•]), ácido 2,2-azino-bis-3etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS^{•+}), monitoreada como cambios en la absorbancia a $\lambda=517$ nm, 734 nm y 594 nm respectivamente. Los resultados se expresaron como EC50 (concentración necesaria de extracto para inhibir el 50% del radical DPPH[•]), para el radical ABTS como equivalentes de Trolox o TEAC (por su nombre en inglés Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) (Huang et al., 2017; Sánchez, 2016).

Ensayo DPPH:

Se preparó 100 mL de una solución etanólica (80%) de DPPH. Posteriormente el ensayo se realizó utilizando 20 µL de extracto etanólico, 500 µL de la solución de DPPH y 480 µL de agua para tener una mezcla de 1000 µL de volumen total.

Después de realizada la mezcla a los 30 min se leyó la absorbancia a $\lambda=517$ y comparó con un blanco de la solución de DPPH.

Cálculo de actividad inhibitoria del radical DPPH: Se determinó la actividad antioxidante de los extractos con la siguiente fórmula:

$$\% = \text{Actividad Antioxidante} = (\text{Abs control} - (\text{Abs extracto} - \text{Abs blanco extracto})) / (\text{Abs control}) * 100$$

Donde:

Abs Extracto: Absorbancia de los extractos.

Abs Blanco Extracto: Absorbancia del blanco de los extractos.

Abs control (-): Absorbancia del control negativo.

Utilizando la ecuación obtenida con la curva de calibración de actividad antioxidante vs equivalentes de Trolox (TEAC) se realizaron los cálculos correspondientes.

Ensayo ABTS \cdot^+ :

Se preparó una solución concentrada del radical mezclando 0.0194 g de ABTS \cdot^+ con 0.003 g de persulfato de potasio en 10 mL de agua. Se dejó reaccionar en oscuridad por 12 h. Se preparó 100 mL de solución acuosa del radical ABTS \cdot^+ a una absorbancia de 1.0 a $\lambda=734$ nm. Se mezclaron 300 µL de la solución de ABTS \cdot^+ de 1.0 de absorbancia con 290 µL de agua y 10 µL de extracto etanólico y después de 10 min de reacción se leyó la absorbancia y se comparó con una solución blanco de ABTS \cdot^+ y agua para determinar el % de disminución del radical.

Cálculo de actividad inhibitoria ABTS^{•+}: Utilizando la ecuación obtenida con la curva de calibración se realizaron los cálculos correspondientes con la siguiente ecuación:

% Actividad Antioxidante

$$= \frac{(Abs\ control - (Abs\ extracto - Abs\ blanco\ extracto))}{(Abs\ control)} \times 100$$

Donde:

Abs extracto: Absorbancia de los extractos.

Abs blanco extracto: Absorbancia del blanco de los extractos.

Abs control: Absorbancia del control

8.6 Evaluación de la inhibición de especies reactivas de importancia biológica

La capacidad inhibitoria o secuestradora de los radicales OH• y ROO• se realizó de acuerdo con las modificaciones realizadas por Valencia et al (2018), a los métodos espectrofotométricos correspondientes de acuerdo con lo siguiente:

Capacidad secuestradora del radical hidroxilo (OH•):

Al extracto disuelto en DMSO (1 mL) se le adicionaron 300µL de FeSO₄ (8 mM), 250µL de H₂O₂ (20 mM) y 1 mL de solución de ácido salicílico (3 mM), se incubó por 30 min a 30°C y agregó 450 µL de agua destilada y se leyó la absorbancia a 510 nm

Capacidad secuestradora del radical peróxilo (ROO•):

Se determinó midiendo espectrofotométricamente la oxidación del rojo pirogalol (1.5 mL) a 540 nm y el dihidrocloruro de 2-2'azobis (2-amidino propano) AAPH (25 µL, 600 mM) como generador de radical peróxilo.

8.7 Desarrollo de perfil cromatográfico

Para la elaboración del perfil cromatográfico, se empleó la técnica de Cromatografía en Capa Fina de Alta Resolución (HPTLC). Inicialmente, las muestras deshidratadas y finamente molidas se sometieron a una doble extracción mediante maceración en acetato de etilo, la primera durante 12 horas con agitación y posteriormente se sonicaron durante 2 horas. Los extractos resultantes se recuperaron mediante centrifugación a 500 rpm durante 20 minutos.

Una vez recuperado el sobrenadante, se tomaron 3 mL y se concentraron con gas nitrógeno hasta 400 µl. Después, se aplicaron 5 µl de cada extracto sobre placas de HPTLC de 10x10 cm. La cromatografía se llevó a cabo utilizando una mezcla de solventes Hexano: Cloroformo: Acetona: Ácido Acético (9:10:10:1). Tras evaporarse el solvente, las placas se observaron en un visualizador para TLC a 254 y 366 nm. Posteriormente, las placas se revelaron con una solución de ρ -anisaldehído. Se preparó una solución de 10 mL, la cual se roció sobre la placa y se calentó a 100°C durante 3-5 minutos. Luego, las placas se volvieron a observar bajo luz visible y a 356 nm.

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño experimental se realizará completamente al azar con cinco repeticiones cada uno. Los factores evaluados fueron: *Hericiium erinaceus* (comercial) (A), *Hericiium* (silvestre) (B) con: tiempo de incubación + hongo (T1), maíz + hongo+ salvado de trigo 5 % y 10 % (T2, T3), maíz + hongo+ sales minerales (T4) y se realizaron análisis de varianza con comparativa múltiple de medias (ANOVA), HSD Tukey para diferencias mínima significativas con un intervalo de confianza del 95 %.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Fermentación sólida

Como resultado de la fermentación sólida (FES) de *H. erinaceus* con las semillas de maíz rojo y morado se evidenció pérdida de la pigmentación del maíz, de igual manera se mostró diferencias en la invasión del micelio en los diferentes colores de maíz y cepa utilizada para la FES observándose que a los 40 días de fermentación en el tratamiento control en la fermentación de maíz morado con *Hericiium* comercial (Hc) se observó una mayor invasión a comparación de *Hericiium* silvestre (Hz), mientras que en el maíz rojo la cepa que tuvo una mejor invasión fue la silvestre. En los tratamientos realizados con Salvado de trigo al 5 % y 10 % se observó una invasión del micelio más homogéneo con la fermentación de ambas cepas (Hc y Hz).

Por otro lado, el tratamiento realizado con sales minerales la cepa comercial tuvo una mejor invasión en ambos colores de maíz a comparación de la cepa silvestre. Por lo que los mejores tratamientos que se obtuvieron una invasión completa del micelio en el maíz es el del salvado de trigo al 5 % y 10 %. Se observó que con la fermentación de las dos cepas de Hc y Hz el micelio era denso y algodonoso y cubrió por completo las semillas de maíz. (Figura 10 y 11)

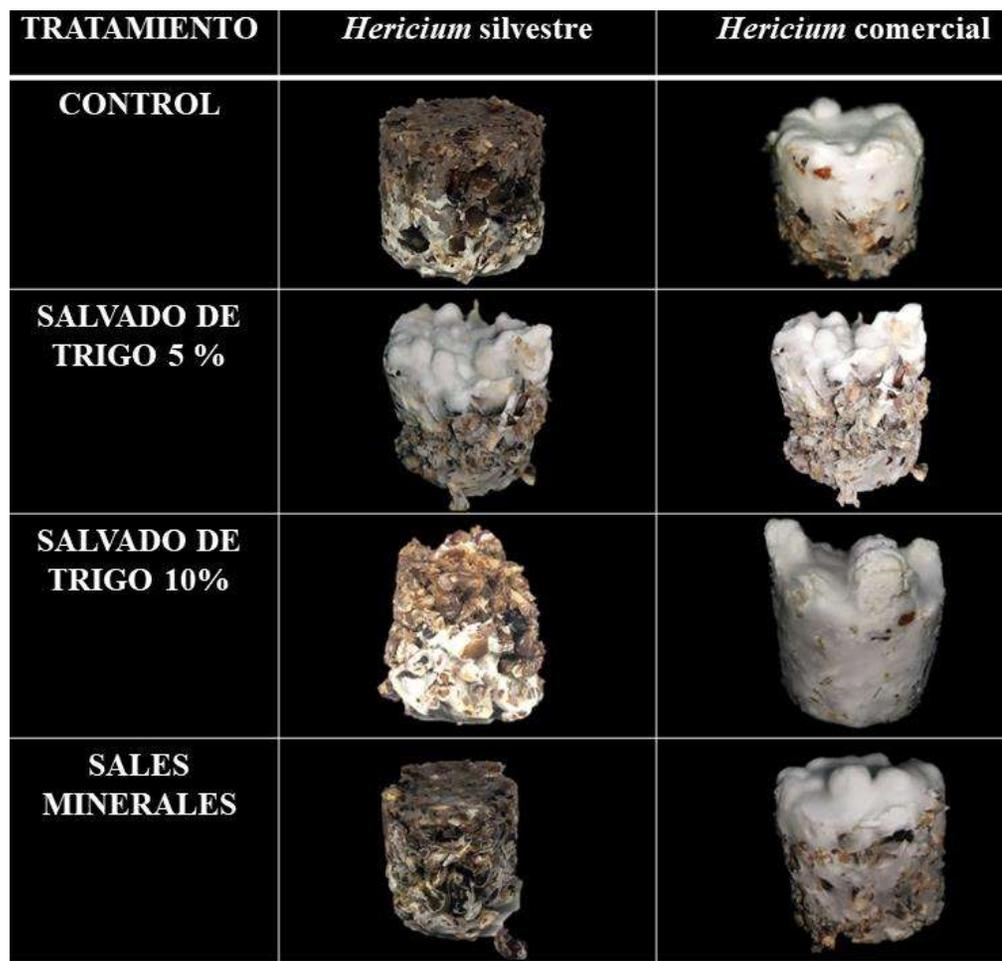


Figura 10. Fermentación sólida (FES) de *Hericium erinaceus* comercial y silvestre en maíz rojo a los 40 días de incubación. Se puede observar la invasión del micelio de las dos cepas utilizadas en el maíz rojo con los cuatro tratamientos utilizados.

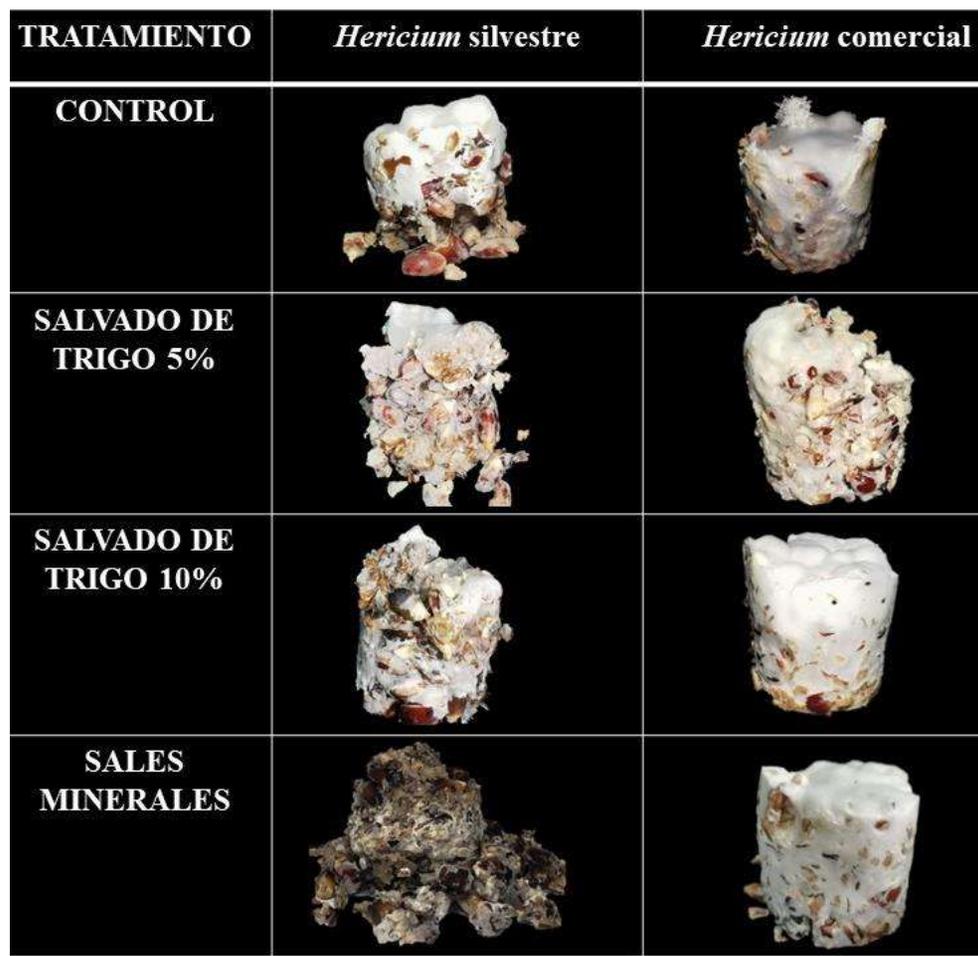


Figura 11. Fermentación sólida (FES) de *Hericium erinaceus* comercial y silvestre en maíz morado a los 40 días de incubación. . Se puede observar la invasión del micelio de las dos cepas utilizadas en el maíz rojo con los cuatro tratamientos utilizados.

10.2 Análisis proximal

Se realizaron los análisis proximales en base seca de cada uno de los materiales utilizados: maíz rojo (R), maíz morado (M), *Hericium* comercial (Hc) y *Hericium* silvestre (Hz); así mismo se obtuvieron los valores proximales de los fermentados de los diferentes tipos de maíz y hongos. En el caso de los resultados de los materiales sin fermentar, al comparar sus valores con otros autores, se encontró que en la mayor cantidad de los casos estuvieron contenidos dentro de lo ya reportado. Por otro lado, y como se ira reportando, los valores obtenidos de las muestras fermentadas no registraron diferencias significativas en comparación a los materiales sin fermentar mientras que, en otros casos, los aumentos pudieron deberse a los suplementos utilizados durante la fermentación (salvado de trigo y sales minerales), indicando que no hubo transformación de material nutrimental para incrementar un nutriente o que no hubo la generación de una nueva biomolécula nutrimental. Además, es importante recalcar que en ningún caso se registró un valor menor al material sin fermentar (Tabla 6).

10.2.1 Contenido de proteína

En el caso del contenido de proteína en las cepas de hongos, *Hc* presentó el mayor porcentaje de proteína con un 13.5 % en contraste con *Hz* (6.6 %); estos resultados se corroboran con lo reportado por Cano-Estrada et al., (2016), quienes reportaron un porcentaje de 13 - 35 % en hongos comestibles.

Para el contenido de proteína en los materiales de maíz sin fermentar, el maíz R presento 6.9 % y el maíz M 7.4 %; incrementando los valores con las muestras fermentadas hasta un 11 % en el maíz R y un 10 % en el maíz M (68 % y 39 % más con respecto al maíz sin fermentar respectivamente). Sin embargo, es posible que este aumento de proteína se deba a la adición de salvado de trigo como fuente de nitrógeno. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bustamante et al, (2008) quienes mencionaron un incremento del contenido de 30.5 % en la fermentación de bagazo de naranja con *Aspergillus niger* indicando que la FES puede ser un método para aumentar el contenido de proteína.

Tabla 6. Resultados del análisis proximal del maíz y hongo sin fermentar y el producto fermentado. SV= Salvado de Trigo Control= Hongo+ maíz. TT= Tratamiento térmico

Tratamientos	Cepa	Maíz	%Humedad	% Materia seca	%Grasas	%Cenizas	%Proteína	%Fibra cruda	% Carbohidratos
	<i>Hericium Comercial</i>		80.8 7.2 b	19.6 8.5 b	3.7±0.53 f	10.3±0.54 a	13.5±0.59 a	24.4 1.3 b	48.87 1.49 e
	<i>Hericium Silvestre</i>		89.9 1.2 a	10.0 0.5 c	4.6±0.7 bcde	10.8 ± 0.30 a	6.6±0.59 d	30 0.13 a	47.7 0.39 e
		Rojo	51.3±1.7 c	47.7±0.5 a	6.3±0.25 a	1.2±0.12e	6.9±0.59 d	1.7 1.3cd	83.7 0.24abc
		Morado	52.3 08 c	48.6 0.5 a	5.5±0.31 abc	1.4±0.17de	7.4±0.59 cd	1.4 0.13 cd	84.05 0.45abc
T1 Control	<i>Hericium Terra (Comercial)</i>	Rojo	52.9 1.7 b	47.0 1.4 a	4.5±0.26 bcde	1.2 0.17 e	7.1±0.59 d	1.1 0.05 cd	85.8 0.79ab
		Morado	50.4 2.2 c	49.5 0.4 a	5.0±0.42 abcd	1.5 0.5e	7.6±0.59 cd	1.5 0.4 cd	84.2 0.49abc
	<i>Hericium Zirahuen (Silvestre)</i>	Rojo	41 2.2 d	58.9 0.2 a	5.9±0.71 ab	1.4 0.18e	7.8±0.59 cd	1.08 0.07 cd	83.8 1.06abc
		Morado	52.3 0.8 c	47.7 0.8 a	5.0±0.35 abcd	1.2 0.05 e	8.2±0.59 bcd	1.01 0.1 cd	84.4 0.4abc
T-2 Salvado de trigo 5%	<i>Hericium Terra (Comercial)</i>	Rojo	51.3 1.7 c	48.6 2.5 a	3.6±0.3 ef	1.3 0.20 e	7.3±0.59 cd	3.6 1.43 c	84.04 1.1abc
		Morado	47.0 1.7 cd	52.9 1.0 a	3.6±0.3 def	1.2 0.05 e	7.2±0.59 d	1.4 0.05cd	86.32 0.8 a
	<i>Hericium Zirahuen (Silvestre)</i>	Rojo	50.3 1.4 c	49.6 1.4 a	4.2±0.32 cde	1.9 0.10cde	11.1±0.59 ab	1.7 0.27 cd	80.9 20.8bcd
		Morado	55.5 3.8 c	44.6 1.7 a	4.7±0.38 bcde	2.4 0.55 bcd	7.2±0.59 d	2.03 0.36 cd	83.48 0.28
T-3 Salvado de Trigo 10%	<i>Hericium Terra (Comercial)</i>	Rojo	56.9 1.7 c	43.0 4.4 a	4.2±0.3 cde	2.6 0.3bc	10.4±0.59 abc	2.6 0.28 cd	79.9 2.9 abc
		Morado	55.5 1.7 c	44.4 3.8 a	4.2±0.6cde	3.0 0.55 b	8.8±0.59 bcd	2.1 0.13 cd	81.6 1.49 abc
	<i>Hericium Zirahuen (Silvestre)</i>	Rojo	52.3 1.3 c	47.6 2.3 a	5.5±0.31 abc	2.6 0.36bc	6.9±0.59 d	1.8 0.17 cd	83.08 1.05cd
		Morado	50.3 1.6 c	49.6 1.4 a	6.2±0.13 a	3.0 0.55b	8.8±0.59 bcd	1.4 0.36 cd	80.41 0.75cd
T-4 Sales minerales	<i>Hericium Terra (Comercial)</i>	Rojo	49.6 1.5 cd	50.2 2.3 a	4.5±0.5 cde	1.1 0.18 e	8.2±0.59 bcd	1.7 0.9 cd	83.4 1.8d
		Morado	48.6 1.5 cd	51.3 1.5 a	5.2±0.21 cde	1.9 0.27cde	6.5±0.59 d	1.9 0.6cd	84.3 1.04 abc
	<i>Hericium Zirahuen (Silvestre)</i>	Rojo	52.1 1.01 c	48.8 1.01 a	5.2±0.15 abc	1.8 0.07cde	8.7±0.59 bcd	0.9 0.15d	83.31 0.9 abc
		Morado	54.4 1.7c	45.4 0.7 a	5.5±0.27abc	1.95 0.27cde	8.4±0.59 bcd	1.2 0.54cd	82.80 1.7 abc

Resultados expresados en porcentaje como media más/menos desviación estándar (X±SD), letras diferentes en la misma línea indican diferencias significativas.

10.2.2 Contenido de cenizas

En los resultados del contenido de cenizas, las cepas de *Hericiium erinaceus* comercial (Hc) y silvestre (Hz) registraron valores de 10.3 % y 10.8 % respectivamente. Cohen et al., (2014) reportaron un valor menor a lo registrado para *H. erinaceus* (6.8%).

El maíz rojo (R) y morado (M) presentaron porcentajes de cenizas del 1.23 % y 1.28 % respectivamente, datos similares los reportaron Cázares-Sánchez., (2015) quienes realizaron análisis proximal en maíces nativos de Yucatan registrando 1.1-1.8 %. Por otro lado, en las semillas fermentadas con Hc y Hz el contenido de cenizas incrementó a valores de 2.6 % y 3 % de contenido de cenizas; este aumento posiblemente se debió al adicionar salvado de trigo al 10 % al proceso fermentativo.

10.2.3 Contenido de grasas

Igualmente, en contenido de grasas en maíz se tuvo un porcentaje de 5 % en maíz morado y un 6 % para maíz rojo, concordando con Valle et al. (2019), quienes para maíz morado reportan un porcentaje de grasas entre 4 y 5 %. Por otro lado, en la cepa de Hc se registró un 3 % y en la cepa Hz un 4.6 %; resultados menores a los obtenidos por Cohen et al., (2014) quienes reportaron un porcentaje de grasa de *Hericiium erinaceus* de un 6 %. La diferencia de estos valores puede deberse al tipo de sustrato utilizado para crecer los basidiocarpos en este trabajo.

En el porcentaje de grasa obtenido en el producto fermentado no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ya que todos los tratamientos fueron similares al maíz sin fermentar, indicando, al menos en este ensayo que la técnica de la fermentación no es una técnica para aumentar el contenido de grasas.

10.2.4 Contenido de fibra cruda

En lo que respecta al contenido de fibra cruda destacaron las cepas de Hc y Hz con valores de 24 % y 30 % respectivamente, resultados similares a lo que reporta Cano-Estrada (2016) para *Pleurotus spp* con un contenido de 22 % de fibra cruda. Por otro lado, el maíz sin fermentar registró un 1.7 %, el maíz morado 1.4 % similar a lo reportado por Chan-Chan et

al., (2021) quienes reportaron porcentajes de fibra cruda en maíces nativos del sur de México de 2-3 %.

Respecto al contenido de fibra cruda de los tratamientos fermentados destacaron los tratamientos de salvado de trigo al 5 y 10 % con maíz rojo fermentados con *Hericiium erinaceus* con un contenido de fibra de 3.6 %y 2.6 % respectivamente, el aumento de contenido de fibra cruda se presume que se debe a la adición del salvado de trigo a la fermentación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Fonseca-López et al., (2018) quienes reportaron un aumento del 11 % en el contenido de fibra cruda y discuten que el aumento se puede deber a la cascarilla de café y otros sustratos utilizados para la fermentación. Por otro lado, los tratamientos de sales minerales y control, se comportaron estadísticamente similares al maíz sin fermentar con un contenido de fibra de 1.4 y 1.7% indicando que no hubo un aumento en el contenido de fibra cruda durante la fermentación solida con *Hericiium*.

10.2.5 Contenido de carbohidratos

En los resultados del contenido de carbohidratos no se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, dentro de los valores registrados se obtuvo que las cepas de Hc y Hz contienen 48.8 y 47.7 % de carbohidratos totales respectivamente. Estos valores estan cercanos de los reportados para hongos 50-65AYAS% (Wani et al., 2010).

Respecto al maíz se obtuvo un 83% de carbohidratos; datos cercanos con lo reportado por Chan-Chan et al. (2021) quienes reportaron 79-82% del contenido de carbohidratos en maíces nativos del sur de México. En el contenido de carbohidratos de los tratamientos fermentados, se obtuvieron valores entre 79-86%, lo cual fue similar al contenido de carbohidratos del maíz sin fermentar indicando que no hubo ningún aumento o disminución de estos durante el proceso fermentativo.

10.3. Cuantificación del contenido de elementos

Se analizó el contenido de 16 elementos en el maíz sin fermentar, las cepas Hc y Hz y el producto fermentado. Los resultados se interpretaron mediante un análisis de conglomerados utilizando el método de Ward (Figura 12) representando un mapa de calor donde el color azul fuerte representa 0.03 ppm del elemento y el rojo 35.21 ppm. El análisis, se realizó en dos partes: Micronutrientes y Macronutrientes. En los resultados de los micronutrientes los elementos que tuvieron una variación entre los tratamientos evaluados fueron zinc (Zn), hierro (Fe), boro (B), cobre (Cu) y manganeso (Mn), registrándose que los tratamientos de la fermentación con mayor contenido de estos elementos fueron los tratamientos de salvado de trigo de 10 y 5 % y los basidiocarpos de Hz y Hc, registrándose un contenido de 14 a 35 ppm.

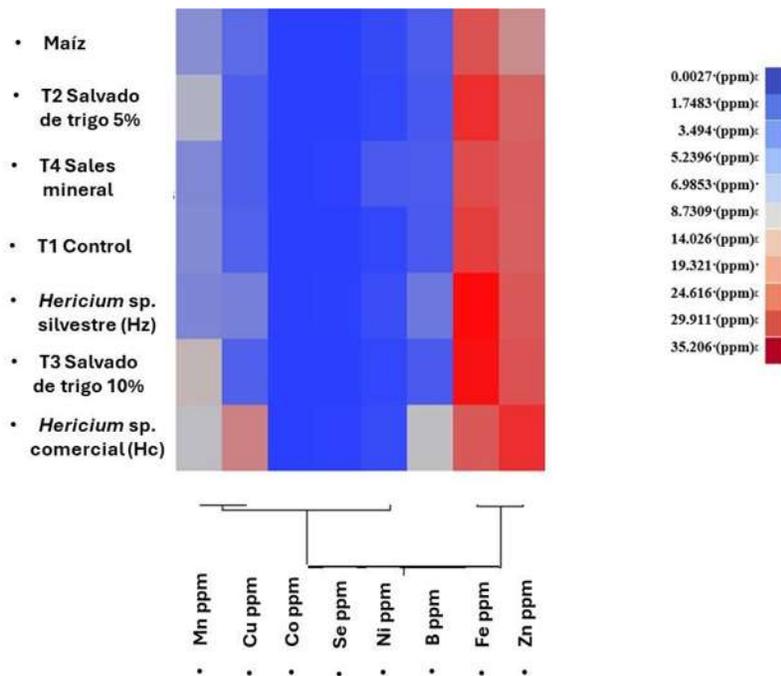


Figura 12. Conglomerado y mapa de calor de los resultados del análisis del contenido de micronutrientes del maíz sin fermentar, hongo y semillas de maíz fermentadas. Conglomerados por el método de Ward. Salvado T= Salvado de Trigo, Control= Hongo+ maíz. En este mapa se observa en color rojo intenso los elementos con mayor abundancia del elemento mientras que en azul más fuerte los elementos con menor abundancia.

Los valores registrados para zinc (Zn) son 14 hasta 35 ppm (en Hc y Hz), siendo Hz quien tuvo mayor cantidad del elemento que Hc y para Fe de 25 hasta 35 ppm (en Hc y Hz), estos elementos fueron más abundantes en Hc que en Hz. Los valores registrados para manganeso son 3.73 hasta 8.73 ppm (en Hc y Hz). Aunque los valores están dentro de los reportados para esto micronutrientes, los trabajos revisados señalan una diversidad de valores que van desde 1.2 ppm hasta 329 ppm para manganeso y valores de 8 a 3904 ppm para Fe, concentraciones que cambian según la especie (Ayaz et al., 2011). Caso similar es para el elemento de Cu, ya que para los hongos comestibles varían desde 3.8 ppm hasta 107 ppm (Ayaz et al., 2011), y en este estudio se reportó 24.616 ppm para Hc y 3.4 ppm para Hz.

Respecto a los resultados de los Macronutrientes (Figura 13) es importante destacar que las cepas de Hc y Hz contienen niveles elevados de potasio (K) (21,318 ppm) y fósforo (P) (5,074.1 ppm). En el elemento de calcio (Ca) se evidenció una pequeña variación en su contenido con el tratamiento cuatro de Sales minerales, esta variación se atribuyó a la solución de sales la cual contenía CaCl_2 , así como de azufre (S).

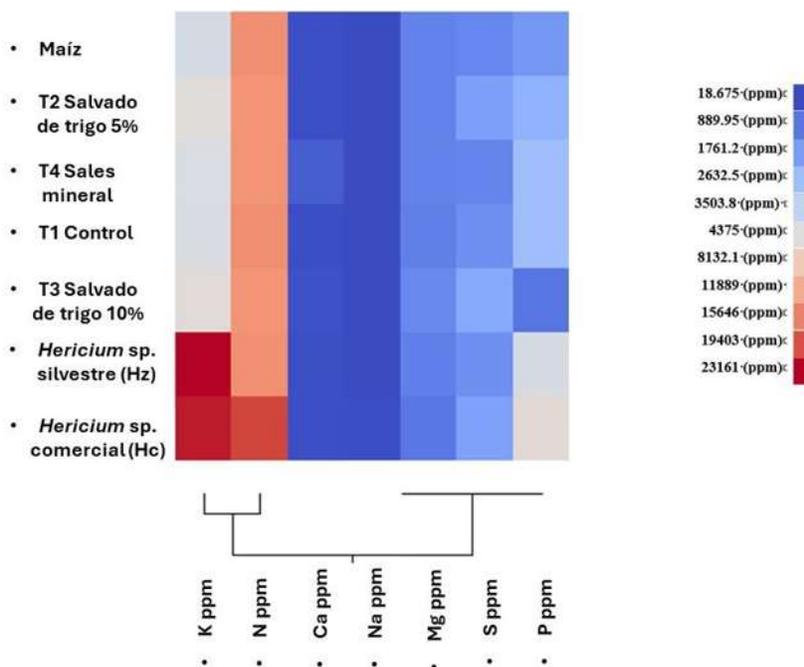


Figura 13. Conglomerado y mapa de calor de los resultados del análisis del contenido de macronutrientes del maíz sin fermentar, hongo y semillas de maíz fermentadas. Conglomerados por el método de Ward con 2 grupos según su similitud. Salvado T= Salvado de Trigo, Control= Hongo+ maíz. En este mapa se observa en color rojo intenso los elementos con mayor abundancia del elemento mientras que en azul más fuerte los elementos con menor abundancia.

El rango de contenido de zinc (Zn) reportado en la literatura para hongos comestibles es de 5.5-253 ppm (Ayaz et al., 2011), y este estudio obtuvo 29.11 y 35.206 ppm. Estos resultados indican que la fermentación sólida no cambia el contenido elemental durante la fermentación ya que, como ya se mencionó anteriormente, estas variaciones de elementos pueden deberse por la adición de soluciones u otros materiales para que se realice la fermentación. Los basidiocarpos de los hongos se caracterizan por contener una buena cantidad de minerales asimilables y éstos pueden variar según la etapa en que se encuentren y el sustrato en que se desarrollan (Gómez-Flores et al., 2020); este estudio indica que los fermentados son fuente importante de elementos esenciales: (K, P, Ca, Mg) y de minerales traza (Fe, Cu, Zn, Mn, Co).

10.4 Evaluación del potencial nutracéutico

10.4.1 Determinación del contenido de fenoles totales

Se analizó el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) en los basidiocarpos de Hc y Hz, mismos que no mostraron diferencias significativas (110.29 y 70.4 mg EAG/100 g de peso seco, respectivamente); de igual manera no se registraron diferencias en los valores del CFT en las semillas de maíz rojo y morado sin fermentar (19.8 y 12.9 mg EAG/100 g de peso seco, respectivamente).

De manera contrastante el maíz M registró un aumento del CFT al ser fermentado tanto con el hongo Hc y Hz, aumentando desde 5.4 hasta 7.2 veces más, respecto al maíz sin fermentar (Tabla 7). Respecto al maíz R se registró un aumento de 3 hasta 3.7 veces más del CFT principalmente con los fermentados con Hc. Estos resultados respaldan la idea de que la fermentación de maíz con *H. erinaceus* es una herramienta biotecnológica que incrementa significativamente el contenido de compuestos fenólicos totales, lo que permite obtener una materia prima con mayor valor nutracéutico; resultados que concuerdan con lo reportado por Ibarra-Cantún et al.,(2022) quienes fermentaron bagazo de manzana con *Pleurotus ostreatus* y a los 28 días registraron un aumento del CFT a los 28 días de FES de 39 hasta 48 mg EAG/100g de peso seco.

Tabla 7. Resultados obtenidos del contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/100g) y actividad antioxidante DPPH[·] Y ABTS^{·+} TEACmg/g

Tratamiento	Polifenoles mg EAG/100g	Inhibición DPPH mg/g TEAC	Inhibición ABTS^{·+} mg/g TEAC
<i>Hericum</i> comercial (Hc)	110.2±0.72 ^a	0.447±0.024 ^{abcd}	0.348±0.004 ^{def}
<i>Hericum</i> Silvestre (Hz)	70.4 ± 0.93 ^{abcd}	0.357±0.020 ^{efg}	0.261±0.038 ^{efgh}
Maíz morado (M)	12.9 ± 0.44 ^d	0.356±0.002 ^{defg}	0.571±0.050 ^{abcd}
Maíz rojo (R)	19.8± 2.3 ^{cd}	0.294±0.001 ^{fg}	0.620±0.004 ^{abc}
T1 M-Hc	47.7 ± 2.04 ^{cd}	0.442±0.018 ^{abcd}	0.194±0.020 ^{fgh}
T1 R-Hc	45.4 ± 1.32 ^{cd}	0.406±0.052 ^{bcde}	0.316±0.071 ^{efg}
T1 M-Hz	93.2 ± 40.8 ^{ab}	0.417±0.051 ^{cde}	0.598±0.088 ^a
T1 R Hz	57.4 ± 33.3 ^{bcd}	0.403±0.0311 ^{abc}	0.571±0.069 ^{abc}
T2 M-Hc-ST 5%	55.5±18.03 ^{bcd}	0.469±0.035 ^{abc}	0.195±0.025 ^{fgh}
T2 R Hc- ST 5%.	59.4±21.1 ^{bcd}	0.466±0.033 ^{bcde}	0.090±0.014 ^h
T2 M Hz ST 5%	70.1±5.8 ^{abcd}	0.421±0.078 ^{def}	0.421±0.137 ^{bcde}
T2 R Hz ST 5%	58.1±13.1 ^{bcd}	0.385±0.027 ^{efgh}	0.400±0.118 ^{cde}
T3 M Hc ST 10%	54.4± 11.1 ^{bcd}	0.507±0.021 ^a	0.321±0.165 ^{ef}
T3 R Hc ST 10%.	52.1 ± 15.8 ^{bcd}	0.451±0.038 ^{abcd}	0.084±0.11 ^h
T3 M Hz ST 10%	60.4±13.32 ^{bcd}	0.451±0.007 ^{abcd}	0.582±0.064 ^b
T3 R Hz ST 10%	47.91±8.4 ^{cd}	0.437±0.018 ^{abcde}	0.578±0.038 ^b
T4 M Hc SM	72.6±38.08 ^{abc}	0.503±0.019 ^a	0.209±0.033 ^{fgh}
T4 R Hc SM	43.4±7.04 ^{cd}	0.486±0.034 ^{ab}	0.141±0.018 ^{gh}
T4 M Hz SM	69.9±5.4 ^{abcd}	0.315±0.015 ^{fg}	0.592±0.084 ^{ab}
T4 R Hz SM	73.7±22.566 ^{abc}	0.275±0.028 ^g	0.541±0.077 ^{bc}

10.5 Evaluación de la actividad antioxidante

10.5.1 Evaluación de la inhibición de los radicales cromógenos sintéticos

10.5.1.1 Evaluación de la inhibición del radical ABTS $^{\cdot+}$ y DPPH $^{\cdot}$

Se analizó la inhibición del radical ABTS $^{\cdot+}$ y DPPH $^{\cdot}$ en los basidiocarpos de Hc y Hz, así como del maíz R y M sin fermentar. En los resultados obtenidos en cuanto a la actividad antioxidante para el radical DPPH $^{\cdot}$, se detectó que diversos tratamientos tanto con el hongo Hz como Hc aumentaron la inhibición del producto final en comparación al material sin fermentar. En relación con el radical ABTS $^{\cdot+}$, los valores detectados con la fermentación del hongo Hc, no superaron los registrados para el maíz sin fermentar y de manera contrastante los tratamientos con Hz mantuvieron los niveles de inhibición ABTS $^{\cdot+}$, esto quiere decir que al menos para este trabajo con las condiciones reportadas que con el uso de Hc no se vio favorecido el incremento de la capacidad antioxidante (Tabla 7). Estos resultados sugieren que según la cepa de hongo utilizada dentro de la fermentación sólida va a influir en el tipo de radicales que darán mayor capacidad antioxidante, sin dejar atrás que las cepas van a responder de manera diferente según las condiciones en las que se establezca la fermentación sólida (Ibarra-Cantún et al.,2022)

10.6 Evaluación de especies reactivas de importancia biológica

10.6.1 Capacidad secuestradora del radical hidroxilo (OH \cdot) y peróxilo (ROO \cdot)

El efecto inhibitorio de los radicales hidroxilo (OH \cdot) y peróxilo (ROO \cdot) analizados en Hc y Hz y en el maíz R y M sin fermentar presentaron diferencias significativas en el análisis estadístico. En la inhibición del radical ROO \cdot la cepa Hz registró una inhibición mayor que Hc (8.58 y 5.58 mg Trolox /pgs respectivamente); mientras que el maíz sin fermentar M presentó mayor inhibición que el maíz R (8.84 y 5.58 mg Trolox/pgs respectivamente). En los tratamientos fermentados en el maíz R se registró un aumento en la inhibición del radical ROO \cdot en los tratamientos de maíz fermentado con Hz (T1 R-Hz, y T2 R-Hz/ST 5%) y Hc (T2 R-Hc/ST 5%); mientras que en los tratamientos fermentados con Hc y Hz (T3 ST 10% Y T4 SM) no mostraron inhibición para este radical. En el maíz M no mejoró la capacidad inhibitoria del radical peróxilo con la fermentación con ninguna de las dos cepas evaluadas (Tabla 8).

Tabla 8.Resultados de la capacidad secuestradora de los radicales biológicos Hidroxilo (OH•) y Peróxilo (ROO•) expresados en mg TEAC/100g

Tratamiento	Hidroxilo (OH•) mg TEAC/100g	Peróxilo (ROO•) mg TEAC/100g
<i>Hericium</i> comercial (Hc)	4.56±0.013 ^e	5.53 ± 0.16 ^{cde}
<i>Hericium</i> Silvestre (Hz)	0.0509±0.002 ^k	8.58±0.247 ^a
Maíz morado (M)	9.43±0.17 ^{cd}	8.84±0.115 ^a
Maíz rojo (R)	8.75±0.24 ^d	5.58± 0.174 ^{cd}
T1 M-Hc	5.13±0.34 ^e	3.68± 0.293 ^g
T1 R-Hc	11.542±0.30 ^b	6.68± 0.500 ^{bc}
T1 M-Hz	11.59±0.001 ^b	4.46± 0.366 ^{efg}
T1 R Hz	4.80±0.059 ^e	9.79±0.189 ^a
T2 M-Hc-ST 5%	9.57±0.3718 ^c	3.40±0.239 ^g
T2 R Hc- ST 5%.	14.42±0.68 ^a	7.19±0.615 ^b
T2 M Hz ST 5%	0.074±0.0007 ^k	6.18± 0.195 ^{bc}
T2 R Hz ST 5%	0.0435±0.036 ^k	9.45± 0.120 ^a
T3 M Hc ST 10%	0.0708±0.061 ^k	4.31±0.4335 ^{fg}
T3 R Hc ST 10%.	0.0449±0.010 ^k	3.48±0.20 ^g
T3 M Hz ST 10%	1.27±0.086 ^j	5.77±0.69 ^{cd}
T3 R Hz ST 10%	1.60±0.134 ^{ij}	4.38±0.47 ^{fg}
T4 M Hc SM	2.13±0.151 ^{hi}	4.05±0.49 ^{fg}
T4 R Hc SM	2.47±0.068 ^{gh}	3.85±0.39 ^g
T4 M Hz SM	2.90±0.088 ^{fg}	4.2±0.1836 ^{fg}
T4 R Hz SM	3.31±0.093 ^f	5.06±0.528 ^{def}

De manera contrastante, la evaluación de la inhibición del radical $\text{OH}\cdot$ en los productos sin fermentar, la cepa Hc evidencio una inhibición mayor que en Hz (4.56 y 0.0509 Trolox /pgs respectivamente); mientras el maíz R y M no se registraron diferencias estadísticas ya que ambos colores de maíz se comportaron similares (8.75 y 9.73 Trolox/pgs respectivamente). Sin embargo, al someterse el maíz R al proceso fermentativo con Hc se evidenció un aumento en la inhibición en los tratamientos T1 R-Hc y T2 R-Hc/ST 5 % (11.542 y 14.42 Trolox /pgs respectivamente). Respecto al maíz M, se evidencio un aumento en los tratamientos T1 M-Hz y T2 M-Hc(11.59 y 9.57 Trolox/pgs respectivamente). Los resultados sugieren que con la utilización de ambas cepas HC y Hz para la fermentación sólida de maíz suplementado con salvado de trigo al 10% y sales minerales disminuye la inhibición del radical $\text{OH}\cdot$.

A partir de los resultados de los ensayos de actividad antioxidante CFT, $\text{ABTS}\cdot^+$, DPPH \cdot , $\text{OH}\cdot$ y $\text{ROO}\cdot$ se elaboró un mapa de calor y un dendrograma de similitud por la metodología de Ward considerando tonalidades de color azul a rojo la concentración o actividad inhibitoria de los radicales evaluados de menor a mayor intensidad respectivamente. Los resultados del dendrograma correspondiente clasificaron a los hongos Hc, Hz, el maíz R y M sin fermentar y maíces fermentados en tres grupos según la similitud de inhibición de los radicales.

Los tratamientos con una mayor inhibición de los radicales $\text{ABTS}\cdot^+$, CFT y $\text{ROO}\cdot$ formaron un grupo en el que se incluyen los maíces fermentados por Hz y los esporocarpos Hc y Hz; mientras que el grupo dos incluyó a los tratamientos con valores altos de inhibición de los radicales $\text{OH}\cdot$, $\text{ROO}\cdot$ y $\text{ABTS}\cdot^+$ (el maíz R y M sin fermentar, así como los tratamientos T1 y T2 ST 5 %, fermentados con Hc) y en el grupo tres a los tratamientos que presentaron valores altos de inhibición del radical DPPH \cdot (tratamientos T1, T2 ST 5%, T3 ST 10% y T4 SM) fermentados con Hc. (Figura 14). Los resultados indican que con la fermentación de los maíces R por Hc con y sin adición de salvado de trigo al 5% y del maíz M con Hz se obtiene mayor actividad inhibitoria del radical OH respecto al maíz sin fermentar, mientras que para incrementar la actividad inhibitoria contra el radical $\text{ROO}\cdot$ al fermentar maíz R por Hz sin suplementar y suplementado con salvado al 5%.

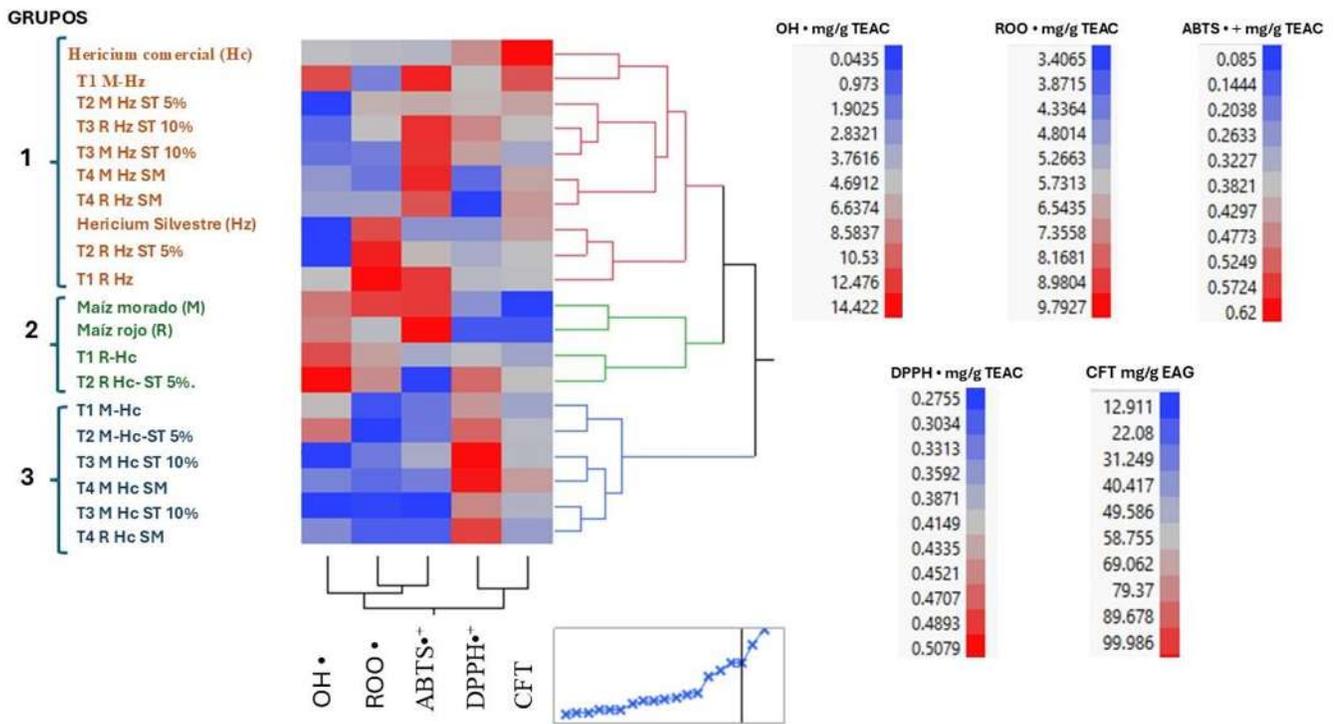


Figura 14. Dendrograma de similitud y conglomerado jerárquico con mapa de calor mediante el método de Ward. En esta figura se observa un conglomerado que mostro 3 grupos principales y estos se ordenaron según su similitud de los resultados obtenidos por los ensayos de actividad antioxidante OH•,ROO•,ABTS•+,DPPH•,CFT, donde de lado derecho se puede observar el rango de mg EAG/TEAC de los análisis correspondientes, donde se pueden observar en el mapa de calor el color rojo fuerte los tratamientos con mayor concentración y color azul fuerte los de menor concentración

Mediante un análisis de componentes principales para las correlaciones se observó que los tratamientos correspondientes al grupo 1 que incluyen a las cepas Hc. Hz y los fermentados con Hz con maíz R y M los tratamientos T1 , T2-ST 5%, T3-ST 10 % y T4 SM presentaban correlación con la inhibición del radical DPPH, los tratamientos del grupo 2 los maíces M y R y los fermentados de maíz R con Hc los tratamientos T1 y T2 ST 5%; la correlación con la inhibición del radical OH. y los del grupo 3 fermentados de maíz M T1, T2 ST 5% y T3 ST 10% y con maíz R y M, fermentados con Hc y el tratamiento T4 SM fermentados con Hc mostraron correlación con la actividad inhibitoria de los radicales ABTS, ROO y contenido de fenólicos totales (Figura 15)

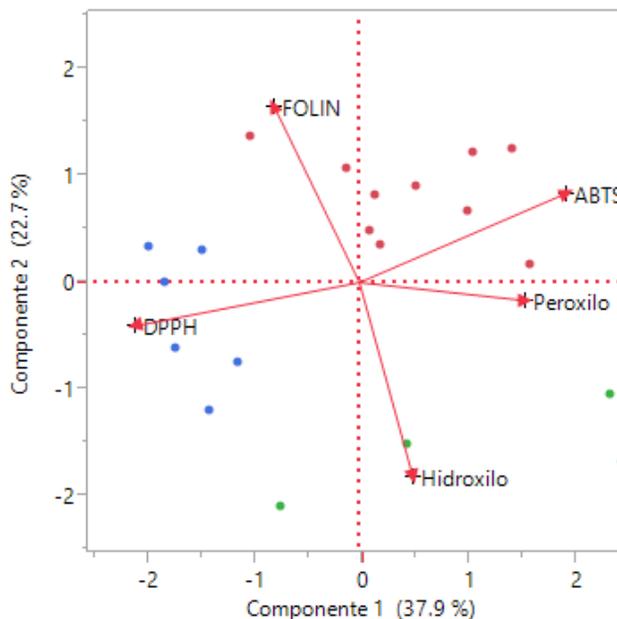
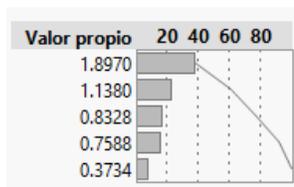


Figura 15. Biplot de un análisis de componentes principales: sobre correlaciones. Se puede observar los ensayos OH•, ROO•, ABTS•⁺, DPPH• Y CFT

Los resultados del estudio corroboran la riqueza de macronutrientes y propiedades nutraceuticas (contenido de fenolicos y actividad antioxidante) de los maices de color rojo y morado; además, en algunas condiciones con la fermentación con *Hericiium* comercial Hc o silvestre Hz evaluadas en este estudio (T1 y T2 ST 5%) mejora la capacidad reductora de los radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) y peróxilo ($\text{ROO}\cdot$) que se han implicado en el rompimiento del ADN y modificación de las proteínas. Por ello, el maíz fermentado con *Hericiium* podría utilizarse en la elaboración de productos reductores del estrés oxidativo implicado en la aparición y desarrollo de enfermedades como cáncer, diabetes, aterosclerosis, desórdenes neurodegenerativos y envejecimiento. Estos resultados son similares a lo portado por Lee et al., (2008) para soya fermentada con *Monascus*, en la cual incrementó la actividad de inhibición del radical OH respecto a la soja sin fermentar. El uso de la fermentación sólida con hongos filamentosos son una fuente potencial para la generación de antioxidantes con la capacidad de inhibir radicales como OH, ROO, ABTS y DPPH entre otros y esta capacidad dependerá de factores como tipo de microorganismos, las condiciones de fermentación y el tipo de sustrato utilizados (Yarbrough et al.,2017).

10.7 Cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC)

Se desarrolló el perfil cromatográfico de los extractos de acetato de etilo de los esporocarpos de *Hericiium* Terra y *H. Zirahuén*, de las semillas de maíz morado y rojo sin tratamiento y de las semillas adicionadas con salvado y con sales minerales fermentadas por *Hericiium* en placas de HPTLC. Las placas desarrolladas derivatizadas y sin derivatizar con *p*-anisaldehído fueron visualizadas con luz visible, UV264 y UV366, encontrándose una mayor cantidad de bandas en las derivatizadas y observadas con luz UV366. Se observó la presencia de bandas específicas de las semillas del maíz, de bandas específicas del basidioma, de bandas presentes tanto en las semillas, hongos y semillas fermentadas y algunas bandas correspondientes a metabolitos que se produjeron durante la fermentación.

En las placas sin derivatizar y visualizadas con UV254 (Figura 16-A) se observaron 39 bandas en total, mientras que con UV366 (Figura 16-B) se observaron 33 bandas, en ambos casos corresponde a metabolitos aromáticos, compuestos con dobles y triples enlaces, grupos carbonílicos y heteroátomos.

Con luz UV254, se observó una banda específica para las semillas de maíz (RF=0.975) y que esta se mantenía durante la fermentación lo cual indicaría se trata de un metabolito(s) que no es modificado durante el proceso fermentativo (Figura 16-A); y bandas específicas del basidioma (bandas con RT 0.156, 0.200, 0.300, 0.700 y 0.875) que se siguen produciendo durante el crecimiento micelial en las semillas (Figura 16-B, mientras que dos bandas corresponden a metabolitos que son exclusivos del proceso fermentativo y no están presentes en las semillas o los basidiomas (RT 0.344 y 0.525)

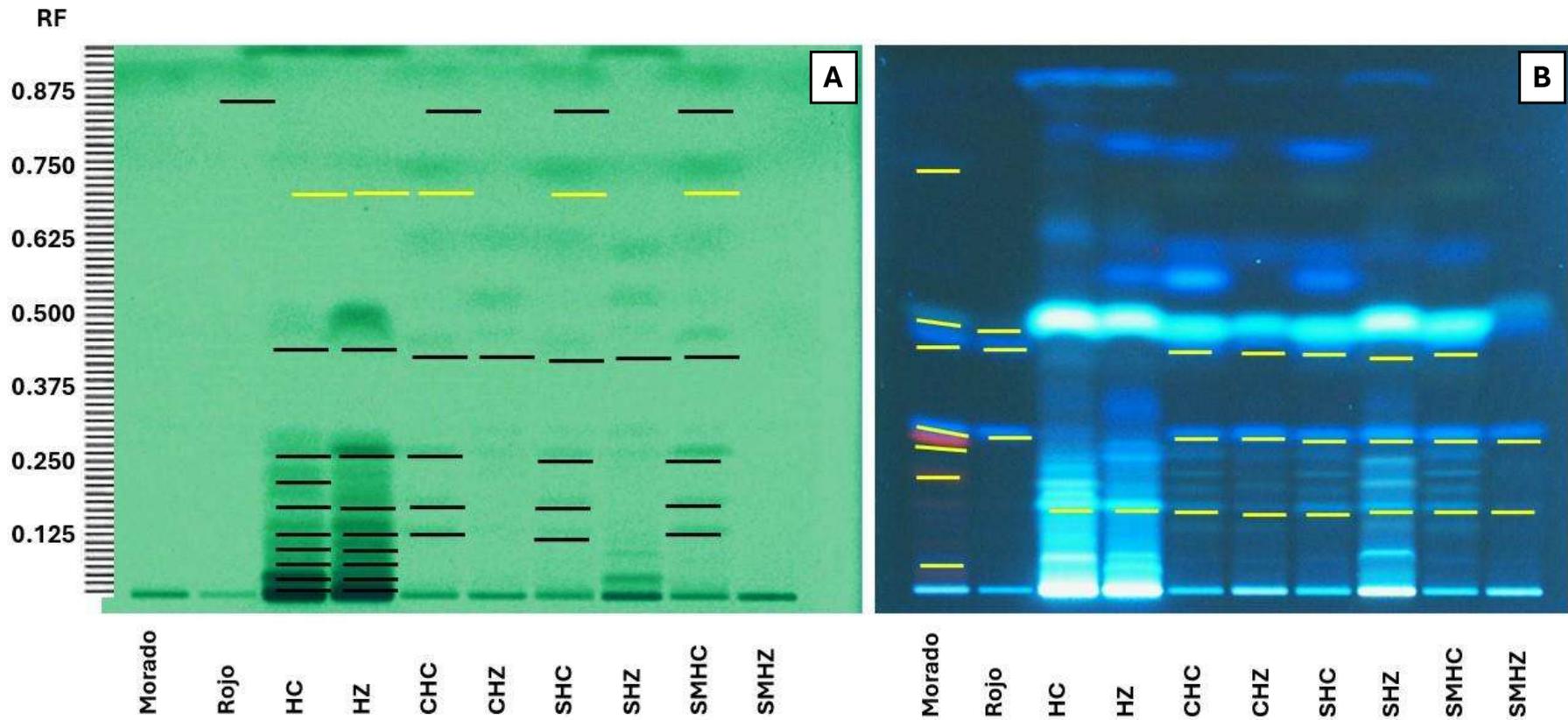


Figura 16. Cromatografía de capa fina del maíz sin fermentar y fermentado visualizados con luz UV 454 A) y UV 366 nm B) *Hericium* comercial (Hc), *Hericium* silvestre (Hz), T1-Control *Hericium* comercial (CHC), T1-Control *Hericium* Zirahuén (CHZ), T3 Salvado de trigo 10% (S), Sales minerales (SM), **Morado (M)**, **Rojo (R)**

10.7.1 TLC Derivatizadas

En las placas cromatográficas derivatizadas y sin derivatizar observadas con luz visible y UV366 (Figura 17-A y 17-B) se observó un número de bandas similar en los extractos de las diferentes muestras (6-8 para el maíz sin fermentar, 10-14 para el basidiocarpo de las dos cepas de *Hericiium* y de 10-16 para el maíz fermentado en las diferentes condiciones); además, en las placas derivatizadas se puede detectar que bandas con un mismo FR corresponden a metabolitos de diferente naturaleza química entre las muestras al observarse de diferente color con luz visible o UV366.

Al derivatizar las placas cromatográficas con *p*-anisaldehído-ácido sulfúrico es posible detectar una mayor cantidad de metabolitos e incluso determinar la presencia de terpenos, aceites esenciales y saponinas triterpénicas por medio de la aparición de coloraciones que varían del azul al violeta (Wagner et al.,1984); también el *p*-anisaldehído-ácido sulfúrico reacciona con muchos nucleófilos fuertes y débiles (alcoholes, aminas), y con muchos aldehídos y cetonas generando variaciones en colores, lo cual ayuda a encontrar mayor diversidad de metabolitos presentes y diferenciar entre bandas que tienen factores de retención similares.

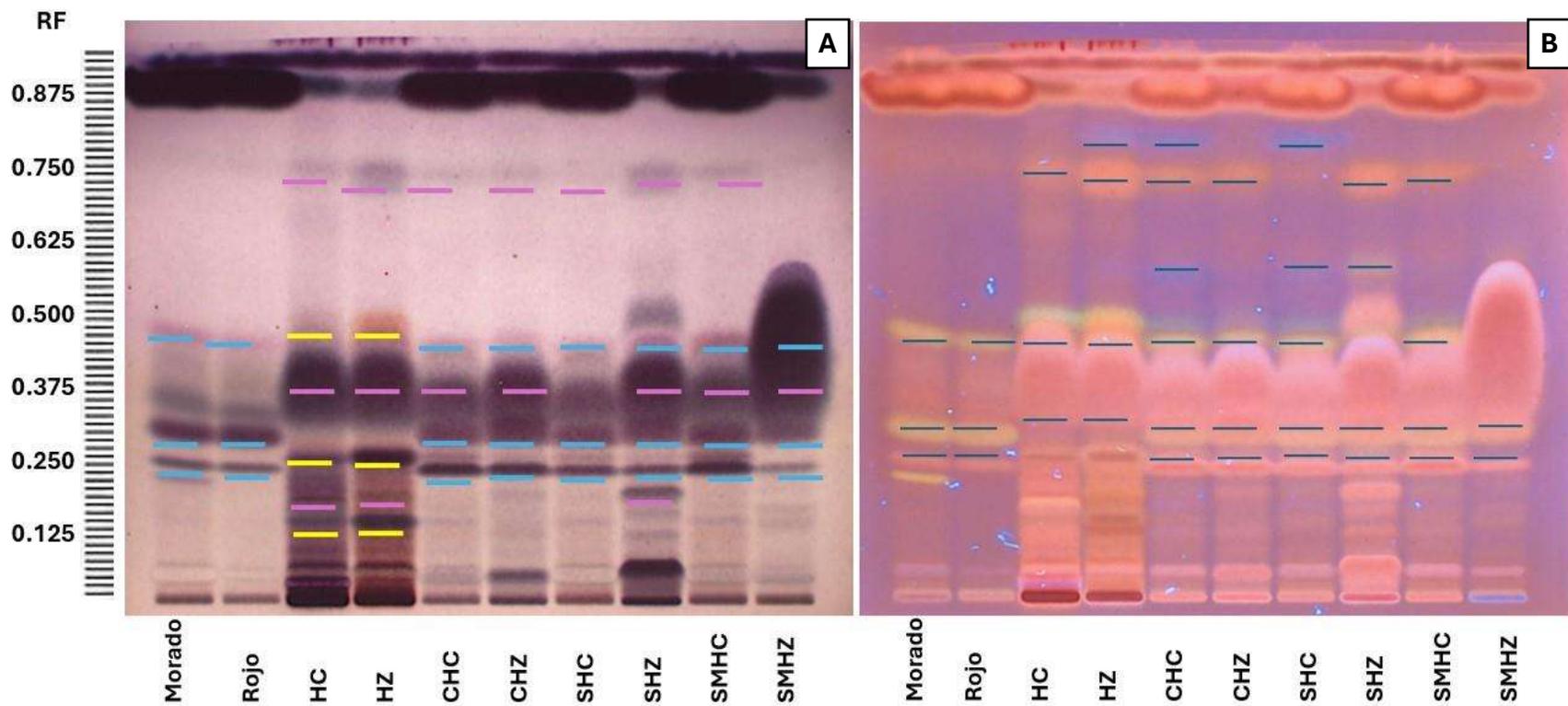


Figura 17. Cromatografía de capa fina del material sin fermentar y el producto fermentado derivatizadas con *p*-anisaldehído y observado a luz visible A) y luz UV 366 nm B). *Hericium* comercial (Hc), *Hericium* silvestre (Hz), T1-Control *Hericum* comercial (CHC) , T1-Control *Hericum* Zirahuén (CHZ), T3 Salvado de trigo 10% (S), Sales minerales (SM), **Morado (M)**, **Rojo (R)**

10.9.2 Análisis de conglomerados y mapas de calor

Los resultados de los cromatogramas se codificaron para facilitar su análisis al visualizarse con los diferentes tipos luz, 0 para la ausencia de bandas y de 1 a 5 para las intensidades relativas de las diferentes bandas observadas (figura 18). Las bandas 15, 21, 22, 25, 31, 34, 25 y 36 fueron las de mayor intensidad (Figuras 18 y 19).

Mediante el análisis por conglomerados jerárquicos por el método de Ward se puede determinar de acuerdo con el perfil de metabolitos el grado de similitud entre las muestras y cuáles de ellos son característicos de las semillas de maíz, del hongo y cuales se producen durante la fermentación.

En el análisis de conglomerados de los resultados cromatográficos visualizados con luz UV254 (Figura 20-A) se observó la formación de 3 grupos, uno que incluye a las semillas de maíz sin fermentar y al maíz fermentado con *H. Terra*, otro que incluye a las dos cepas de basidiocarpos y un tercer grupo que incluye al resto de los maíces adicionados con salvado y sales minerales y fermentados con las dos cepas de *Hericiium*.

En el caso del análisis por conglomerados del perfil de metabolitos de la placa cromatográfica sin derivatizar y visualizado con luz UV 366 (Figura 20-B) se observó la formación de 4 grupos, uno de ellos que incluye a los dos maíces sin fermentar, el segundo incluye a los basidiocarpos de las dos cepas de *Hericiium*, un tercero que incluye al maíz con y sin salvado fermentados con *Hericiium Terra* y un cuarto grupo que incluye a los maíces con y sin salvado y con sales fermentados por *Hericiium Zirahuén* y al maíz adicionado con sales minerales fermentado con *H. Terra*; es decir, no se formó un solo grupo con los maíces fermentados por cada cepa de *Hericiium* empleada.

En el análisis de conglomerados del perfil de bandas de las placas cromatográficas derivatizadas y visualizados con luz visible (Figura 21A) se observó la formación de 4 grupos, uno que incluye a las semillas de maíz sin fermentar y al maíz adicionado con sales minerales y fermentado con *H. Terra*, otro que incluye a las dos cepas de basidiocarpos, un tercer grupo que incluye al resto de los maíces fermentados con la cepas de *Hericiium Terra* y un cuarto grupo que incluye al maíz fermentado con *H. Zirahuén*.

En el caso del análisis por conglomerados de la placa cromatográfica derivatizada y visualizada con luz UV 366 se observó también la formación de 4 grupos (Figura 21 B), uno de ellos que incluye a los dos maíces sin fermentar, el segundo incluye a las tres condiciones de fermentación del maíz por *H. Terra*, el tercero a los basidiocarpos de las dos cepas de *Hericiium*, y un cuarto que agrupa a los maíces en las otras condiciones de fermentación por *Hericiium Zirahuén*. En esta condición la formación de grupos separó de manera natural los diferentes tipos de muestras: maíz, basidiocarpos y maíces fermentados para cada cepa utilizada.

Considerando las bandas de las placas sin derivatizar y derivatizadas con *p*-anisaldehído y visualizada con luz visible, UV254 y UV366 (Tabla 9) , se observa que las bandas 4, 7, 9, 13, 16, 20, 22, 24, 25, 26 y 36 corresponden a metabolitos que no están presentes en el esporoma ni el maíz y que se producen durante la fermentación. Las bandas 10, 12 y 16 son metabolitos presentes en el maíz que desaparecen durante la fermentación por *Hericiium*, lo cual implica corresponden a componentes o sustratos que son degradados durante el crecimiento micelial de *Hericiium*. Las bandas 3, 7, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 21 y 36 están presentes en el esporocarpio y corresponden a componentes que no se producen al crecer el micelio durante la fermentación del maíz.

De manera interesante, mediante la metodología utilizada, HPTLC y derivatización con *p*-anisaldehído se pudo determinar que durante la fermentación del maíz con *Hericiium* se preservan varios de los metabolitos presentes e incluso incrementa su número, esto es que las bandas 2, 4, 5, 6, 8, 9, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30,31, 33, 34, 35 y 36 corresponden a metabolitos presentes en el esporoma de *Hericiium* y que se producen durante la fermentación sólida de maíz, es decir se producen en la etapa de desarrollo micelial (26 bandas de 36), lo cual implica que durante la fermentación se enriquece el maíz con un 72% de los metabolitos presentes en el esporoma de *Hericiium sp.*

Tabla 9. Relación de bandas de la fermentación de maíz por *Hericiium* sp. observadas en la HPTLC.

Material biológico		Sin derivatizar		Derivatizado	
		UV 254	UV 366	Luz visible	UV 366
Maíz	# Bandas	1	1	0	0
	Bandas	34	32	0	0
Maíz fermentado	# Bandas	1	4	5	5
	Bandas	34	10, 11, 15, 21	11, 15, 16, 21, 35	11, 15, 16, 21, 35
Degradado del maíz	# Bandas	0	2	1	1
	Bandas		12, 16	10	10
Esporoma	# Bandas	6	3	4	5
	Bandas	3, 10, 13, 18, 21, 36	17, 19, 29	3, 7, 14, 23	1, 7, 14, 23, 29
Micelio	# Bandas	7	9	9	11
	Bandas	5, 8, 15, 23, 29, 33, 35	6, 8, 9, 14, 22, 23, 25, 27, 28	5, 8, 18, 19, 22, 30, 31, 34, 36	2, 4, 5, 8, 19, 22, 27, 30, 31, 33, 34
Fermentación	# Bandas	2	4	6	6
	Bandas	16, 22	7, 13, 24, 36	4, 9, 13, 20, 24, 26	9, 13, 21, 24, 25, 26

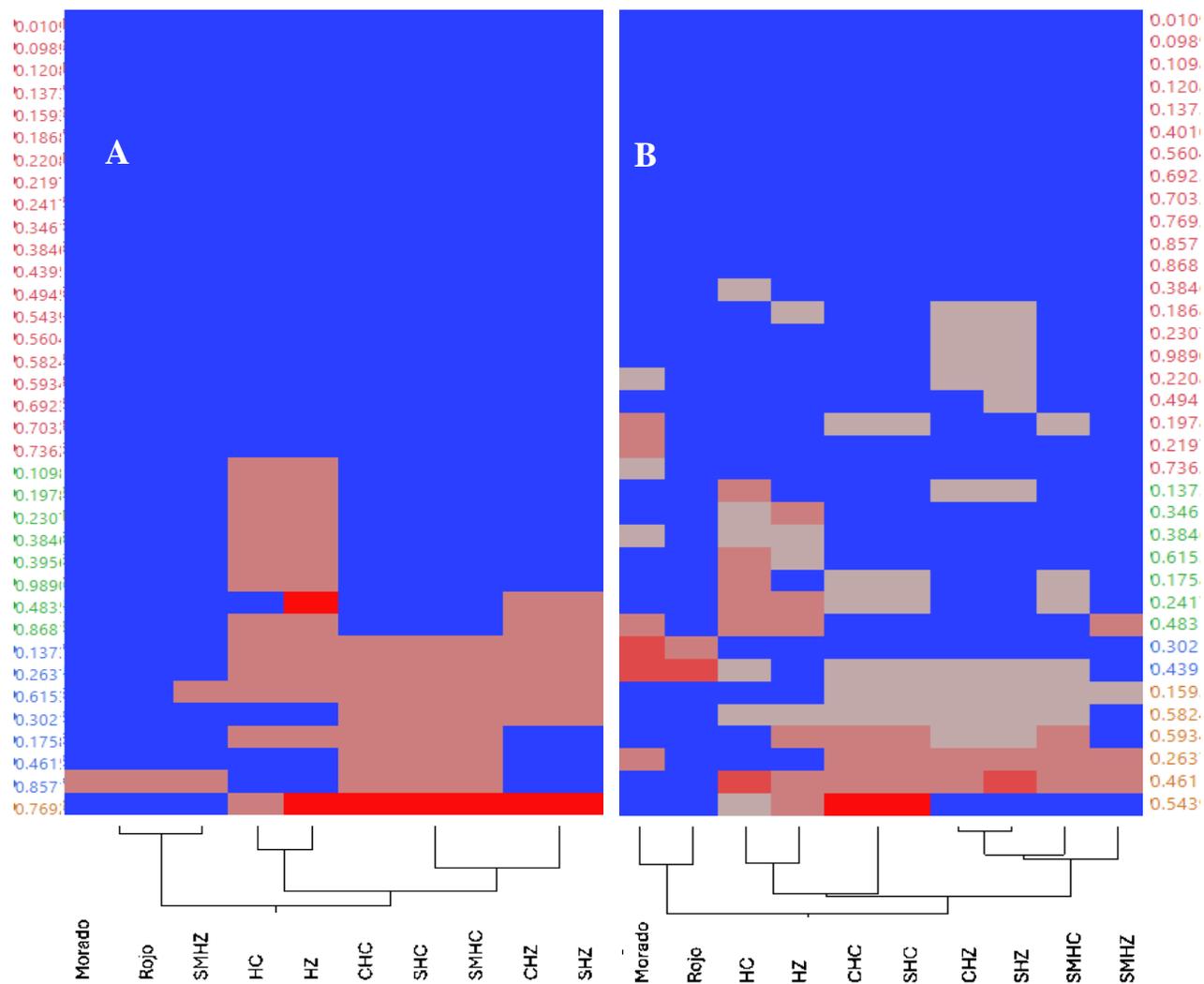


Figura 20. Conglomerado jerárquico de los cromatogramas sin derivatización y visualizados con luz UV254 (A) y UV366 (B).

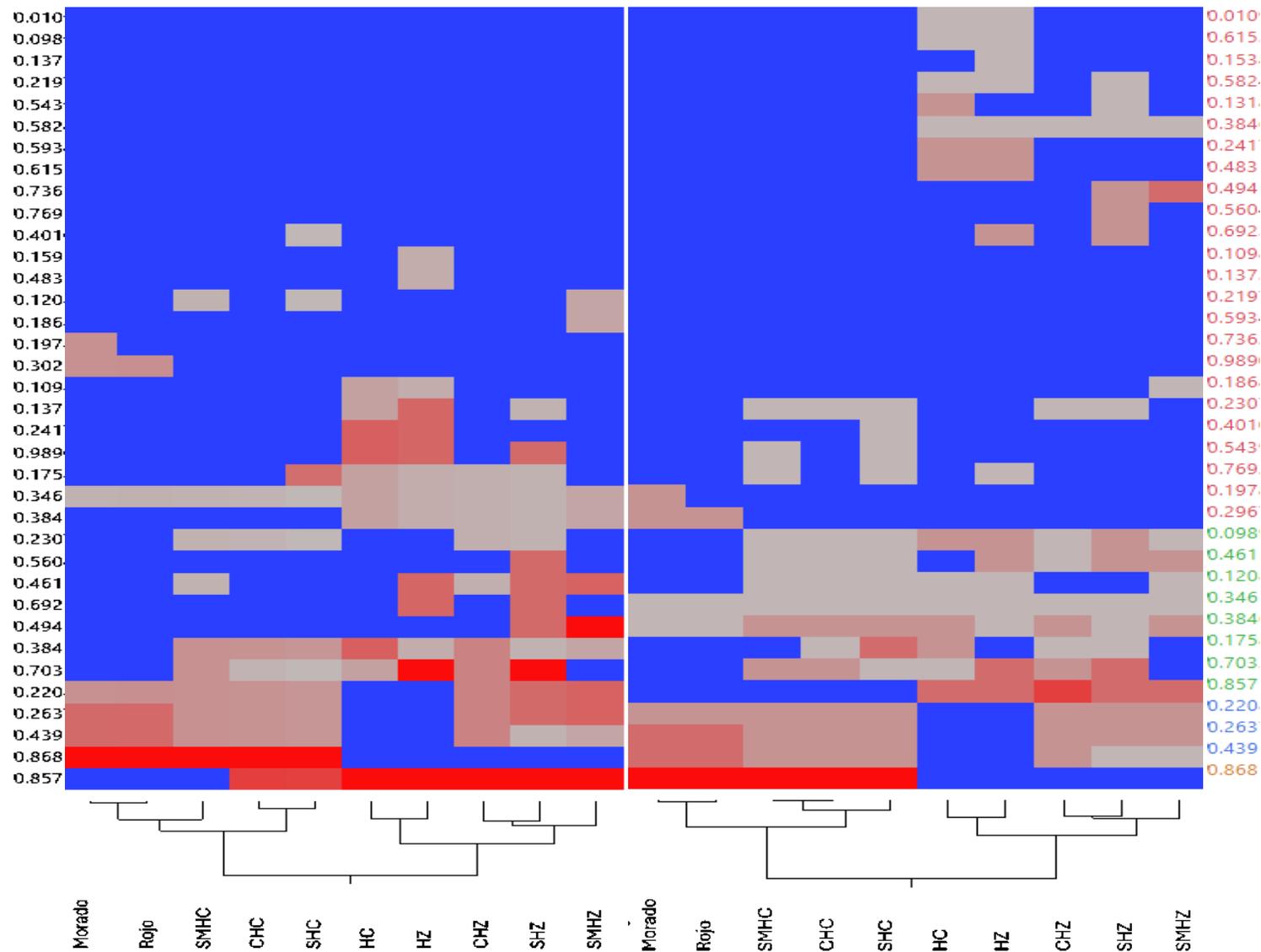


Figura 21. Conglomerado jerárquico de los cromatogramas derivatizados con *p*-anisaldehído ácido sulfúrico y visualizados con luz visible y UV366

XI. CONCLUSIONES

- Las cepas de *Hericiium* evaluadas, Hc crece más favorablemente en el sustrato maíz rojo, desarrollando más micelio.
- La fermentación sólida de maíz con *Hericiium* sp. incrementó el contenido de proteínas y minerales elementos esenciales como potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como de minerales traza como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobalto (Co).
- La adición de sales minerales y salvado de trigo mejoró las propiedades nutraceuticas del maíz al fermentarse con *H. erinaceus*, aumentando los compuestos fenólicos y la capacidad para inhibir radicales DPPH, ABTS+, ROO y OH.
- La cromatografía en capa fina (TLC) reveló que las semillas de maíz fueron enriquecidas durante el proceso fermentativo con metabolitos de *Hericiium*. Las fracciones con mediana polaridad del maíz fermentado mostraron una mayor diversidad de metabolitos con actividad antioxidante en comparación con el maíz no fermentado.
- La cromatografía en placa fina del producto fermentado, combinada con la derivatización con p-anisaldehído y visualización con UV366, demostró la preservación de metabolitos del maíz y la generación de nuevos compuestos durante la fermentación.
- La fermentación sólida de maíz de color con *Hericiium* mejora su potencial nutrimental y propiedades antioxidantes, lo cual es un desarrollo biotecnológico que permitirá generar alimentos de alto valor útiles en programas de seguridad alimentaria.

X. BIBLIOGRAFIA

- Abdullah, N., S. M. Ismail, N. Aminudin, A. S. Shuib and B. F. Lau. (2012). "Evaluation of Selected Culinary-Medicinal Mushrooms for Antioxidant and ACE Inhibitory Activities." *Evid Based Complement Alternat Med* 2012: 464238.
- Aguilar-Curiel, A. J, Quintero-Ramírez, Juan Manuel, Sangerman-Jarquín, Dora Ma., y Omaña Silvestre, José Miguel. (2021). Situación y desafíos de la producción y comercialización de maíz en Tulantepec, Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1319-1324. Epub 22 de marzo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.3044>
- Aguirre-Acosta E.,Ulloa M.,Aguilar S.,Cifuentes J.,Valenzuela R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S76-S81, 2014.DOI:10.75550/rmb.33649
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- AOAC. (2016). *Official methods of analysis*. 20th ed. Association of Analytical Communities, AOAC International, Gaithersbur, MD. Buelvas, G.A., J.H. Gomez, y J.A. C
- Arias Lamos D., Montaña Diaz L.N., Velasco Sanchez M.A., Martinez Giron J.(2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Tecnura*, vol. 22, núm. 57, pp. 55-68. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12178>
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). (2018). Origen del maíz. Disponible en <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es#:~:text=Su%20origen%20se%20dio%20en,como%20el%20teocint%20le>
- Ayaz, F. A., Torun, H., Colak, A., Sesli, E., Milson, M. & Glew, R.H. (2011). Macro and Microelement Contents of Fruiting Bodies of Wild-Edible Mushrooms Growing in the East Black Sea Region of Turkey. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 53-59.
- Bandala V. M., Montoya L. y Ramos D. (2020). *Hongos Basidiomicetos. Biodiversidad del santuario del bosque de niebla de Xalapa, Veracruz*. Instituto de Ecología, A.C. Red de Biodiversidad y Sistemática .321 pp
- Beltrán, M. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional* 30(3): 12-14. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionalesX0213932416546681>

- Boronat, A.; Rodríguez-Concepción, M. (2015). Terpenoid Biosynthesis in Prokaryotes. In *Biotechnology of Isoprenoids*; Shrader, J., Bohlmann, J., Eds.; Springer: Sitzerland, , pp 4-15.
- Borrás-Sandoval L. M., Torres-Vidales G. (2013). Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido FES. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. ISSN: 0121-3709
- Borrás-Sandoval, Luis M., & Torres-Vidales, Giovanny. (2016). Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido – FES. *ORINOQUIA*, 20(2), 47-54.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012137092016000200007&lng=en&tlng=es.
- Brandalise F., Roda E., Ratto D., Goppa L., Gargano M.L., Cirlincione F., Priori E.C., Venuti M.T., Pastorelli E., Savino E.(2023). *Hericium erinaceus* in neurodegenerative diseases: From bench to bedside and beyond, how far from the shoreline? *J. Fungi*;9:551. doi: 10.3390/jof9050551.
- Bustamante, Z., Galindo, E., Huanca, M., Ballesteros, F., (2008). Obtención de bioproteína a partir de bagazo de naranja (*Citrus sinensis*) con *Aspergillus niger*. Programa Fármacos, Alimentos y Cosméticos, (PROFAC), Facultad de Bioquímica y Farmacia, Universidad Mayor de San Simón
- Cano-Estrada, Araceli, y Romero-Bautista, Leticia. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 75-80 p.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000100011>
- Carrillo, L. (2003). *Los hongos de los alimentos y forrajes*. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. pp. 119–125.
- Castro-Enríquez, D. D., Montaña-Leyva, B., Del Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millán, E., LópezAhumada, G. A., Barreras-Urbina, C. G., Tapia-Hernández, J. A., y Rodríguez-Félix, F. (2020). Effect of ultrafiltration of *Pitaya* extract (*Stenocereus thurberi*) on Its phytochemical content, antioxidant capacity, and UPLC-DAD-MS profile. *Molecules*, 25(2), Article 281. <https://doi.org/10.3390/molecules25020281>
- Cázares-Sánchez, Esmeralda, Chávez-Servia, José L., Salinas-Moreno, Yolanda, Castillo-González, Fernando, & Ramírez-Vallejo, Porfirio. (2015). Variación en la composición del

- grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1),15-30.de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100002&lng=es&tlng=es
- Chan-Chan, Manuel, Moguel-Ordóñez, Yolanda, Gallegos-Tintoré, Santiago, Chel-Guerrero, Luis, & Betancur-Ancona, David. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM)desarrolladas en Yucatán, México.*Biotecnia*,23(2), 11-21.<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>
- Chandrawanshi N. K., D. K. Tandia y S.K. Jadhav. (2017). “Nutraceutical properties evaluation of *Schizophyllum commune*”. En: *Indian J. Sci.Res* 13 (2): págs. 57-62.
- Chang, W. C., Song, H., Liu, H. W. y Liu, P. (2013). Current development in isoprenoid precursor biosynthesis and regulation. *Current Opinion in Chemical Biology*, 17(4), 571-579.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.06.020>
- Chí-Sánchez, F. A., Alvarado-López, C. J., Cristóbal-Alejo, J., GonzálezMoreno, A. y Reyes-Ramírez, A. (2021). Contenido mineral de maíces criollos de Yucatán: análisis mediante μ -Fluorescencia de Rayos X. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.454>
- Cohen, N., Cohen, J., Asatiani, M.D., Varshney, V.K., Yu, H.-T., Yang, Y.-C., Li, Y.-H., Mau, J.-L., Wasser, S.P., (2014). Chemical composition and nutritional and medicinal value of fruit bodies and submerged cultured mycelia of culinary-medicinal higher Basidiomycetes mushrooms. *Int. J. Med. Mushrooms*. 16, 273–291
- CONABIO. (2020). Razas de maíz de México <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México.[Las 64 razas de maíz en México - México Desconocido \(mexicodesconocido.com.mx\)](https://mexicodesconocido.com.mx)
- Coronado H. M, Vega S., Gutiérrez T.L.R., Vázquez F.M. y Radilla Va. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena Nutricion* Vol. 42, N°2. 206-212 p
- Corzo, A. (2019). Técnicas de análisis en química orgánica, Cromatografía. Serie Didáctica No. 44. Fac. de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 55 pp.

- Cruz R., Chavez S. G., & Fernández-Jeri, A. B. (2021). Actividad antioxidante y ácidos grasos de aceite de semillas de siete frutas nativas de la región Amazonas, Perú. *Información tecnológica*, 32(3), 141-148p. <https://dx.doi.org/10.4067/S071807642021000300141>
- Cuyckens , F. , Shahat , A. A. , Van den Heuvel , H. , Abdel - Shafeek , K. A. , El - Messiry , M. M. , Nasr , M. M. S.-E. , Pieters , L. , Vlietinck , A. J. , and Claeys , M. (2003). The application of liquid chromatography - electrospray ionization mass spectrometry and collision - induced dissociation in the structural characterization of acylated flavonol o - glycosides from the seeds of *Carrichtera annua* . *European journal of mass spectrometry* , 9 (4) : 409-420 p.
- Delgado, J., y Barbosa, A. (2014). Transport Phenomena and Drying of Solids and Particulate Materials. In *Advanced Structured Materials* (Vol. 48). https://doi.org/10.1007/978-3-319-04054-7_4
- Díaz-Talamantes, César, Burrola-Aguilar, Cristina, Estrada-Zúñiga, María Elena, & Zepeda-Gómez, Carmen. (2022). Obtención de β -glucanos a partir del micelio del hongo comestible *Gymnopus dryophilus* en dos medios de cultivo. *Información tecnológica*, 33(2), 203-212. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200203>
- EC-FAO Food Security. (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (E.- F. f. Programme, Ed.) Recuperado el 08 de julio de 2023, de An Introduction to the Basic Concepts of Food Security: <http://www.fao.org/3/a-al936e.pdf>
- Espinosa Trujillo E., Gámez Vázquez A.J., Dorantes González J.R.A.D., Avila Perches M. A., Castro Montes I., Núñez Colín C.A., Hernández Caldera R.E.², Gámez Vázquez C.P. (2011). *Bioquímica y Genética de las Antocianinas del Grano de Maíz*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 978-607-425859-2, 77P.
- FAO y GTIS. (2016). *Estado Mundial del recurso suelo. Resumen Técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del
- FAO, (2004). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Seguimiento de los avances en la consecución de los objetivos de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación y de los Objetivos de desarrollo del Milenio*. Disponible en www.fao.org/docrep/fao/007/y5650s/y5650s00.pdf.

- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2021). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474es>
- Figuroa Montero A. A. (2023). Fermentación en medio sólido: fundamentos, historia, biorreactores y aplicaciones. Capítulo 9. UAM, ISBN: 978-607-28-2873-5
- Fonseca-López, Dania, Saavedra-Montañez, Gabriel, & Rodríguez-Molano, Carlos-Eduardo. (2018). Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 175-182. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7416>
- Friedman, M. (2015). Chemistry, Nutrition, and Health-Promoting Properties of *Herichium erinaceus* (Lion's Mane) Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia and Their Bioactive Compounds. *J. Agric. Food Chem.* 2015, 63, 7108–7123. [
- Gaitán-Hernández R. (2000). Obtención de cepas de *Neolentinus suffrutescens* por entrecruzamiento, su caracterización in vitro y producción de cuerpos fructíferos a nivel de planta piloto. *Rev Iberoam Micol* 2000; 17
- Gómez-Caravaca, A.M.; Verardo, V.; Toselli, M.; Segura-Carretero, A.; Fernández-Gutiérrez, A.; Caboni, M.F. (2013). Determination of the major phenolic compounds in pomegranate juices by HPLC-DAD-ESI-MS. *J. Agric. Food Chem.* 61, 5328–5337
- Gómez-Flores, Liliana de Jesús, Martínez-Ruiz, Nina del Rocío, Enríquez-Anchondo, Irma Delia, Garza-Ocañas, Fortunato, Nájera-Medellín, Jesús Alejandro, & Quiñónez-Martínez, Miroslava. (2019). Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22, e184. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.184>
- González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R. M., y Burrola-Aguilar C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia fungorum*, 52, e1410. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>
- Granados Conde C., Tejeda Tovar C. y Leon Mendez G. (2021). Actividad antioxidante del extracto etanólico de *Capsicum baccatum* L. AVFT Archivos Venezolanos de

Farmacología y Terapéutica volumen 40, numero 1 DOI:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.4662064>

- Grandes-Blanco A. I., Cuamatzi-Hernández A.A., Luna-Suárez S., SánchezMinutti L. (2021). Producción de eritadenina por *Lentinula edodes* en fermentación en estado sólido. DOI: 10.33885/sf.2021.52.1267 (2021) Vol. 52:e1267
- Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S, & Paucar-Menacho, L.M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- Hernández Fonseca, H. (2010). Biotecnología. *Revista Científica*, 20(3), 225-226. Recuperado en 14 de febrero de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592010000300001&lng=es&tlng=es
- Huang M.Y., K.-H. Lin, C.C. Lu, L.R. Chen, T.C. Hsiung y W.T. Chang. (2017). “The intensity of blue light-emitting diodes influences the antioxidant properties and sugar content of oyster mushrooms (*Lentinus sajor-caju*)”. En: *Scientia Horticulturae*, Volume 218, 14, págs. 8-13p
- Hughes P.S. and Baxter E.D. (2001). *Beer: quality, safety and nutritional aspects..* Royal Society of Chemistry, Cambridge. 138 pp ISBN 0-85404-588-0
- Imtiaj, A., Jayasinghe, C., Shim, M.J., Lee, G.W. S., Rho, H. S., Hur, H., Lee, M. W., Lee, U.Y., Lee T.S. (2008). Vegetative Growth of Four Strains Of *Hericium erinaceus* Collected from Different Habitats. *Mycobiology*, 88-92.
- Jiang S, Wang S, Sun Y, Zhang Q. (2014). Medicinal properties of *Hericium erinaceus* and its potential to formulate novel mushroom-based pharmaceuticals. *Appl Microbiol Biotechnol*. Sep;98(18):7661-70. doi: 10.1007/s00253-014-5955-5. Epub 2014 Jul 29. PMID: 25070597.
- Jiménez RM, Pérez-Moreno J, Almaraz-Suárez JJ, Torres-Aquino M. (2013). Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(2): 199-213.
- Jiménez-Alfaro, D., Sobalvarro-Mena, J. L., & Elizondo-Salazar, J. A. (2020). Enriquecimiento proteico de dos especies forrajeras y cáscara de piña por medio de fermentación en estado sólido. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 175-187. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i2.43111>

- Joan-Hwa, Y., Hsiu-Ching, L., Jeng-Leun, M. 2001. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms. *Food Chemistry* 72: 465-471.
- Kato et al 2013. El maíz en peligro ante los transgénicos. Capítulo I. Origen y diversidad del maíz. UNAM. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. Primera edición.
- KATO, T.A., C. MAPES, L.M. MERA, J.A. SERRATOS, R.A. BYE. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA (2008) Dictionary of the fungi. 10th ed., p. 313
- Kitaoka, N.; Lu, X.; Yang, B.; Peters, J. 2015 .The Application of Synthetic Biology to Elucidation of Plant Mono-, Sesqui-, and Diterpenoid Metabolism. *Molecular Plant*.
- Kong A. (2022). En busca del tesoro del bosque mexicano: así es la guarida de los hongos silvestres. *El país "America futura"*. [En busca del tesoro del bosque mexicano: así es la guarida de los hongos silvestres | América Futura | EL PAÍS América \(elpais.com\)](#)
- Kontogianni V.G. (2014). Novel techniques towards the identification of different clases of polyphenoles. In *Polyphenols in plants*, 146-153p.
- Lee, Y.-L., Yang, J.-H., & Mau, J.-L. (2008). Antioxidant properties of water extracts from *Monascus* fermented soybeans. *Food Chemistry*, 106(3), 1128–1137. doi:10.1016/j.foodchem.2007.07.047
- Lee JS, Min KM, Cho JY, Hong EK (2009) Study of macrophage activation and structural characteristics of purified polysaccharides from the fruiting body of *Herichium erinaceus*. *J Microbiol Biotechnol* 19:951– 959
- Lehninger, A.L. 1990. Glycolysis; A central pathway of glucose catabolism. In: principle of Biochemistry. First edition, CBS publishers and distributors private Limited, Delhi; P: 397-398, 426-428, 432
- León-revelo, G., Cujilema-quitio, M. C., González, L. B., Delgado, E. R., & Córdova, J. (2017). Efecto del pH en la producción de celulasas de *aspergillus niger* en fermentación sólida. 44, 27–38. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n2/caz04217.pdf>

- Lizardi-Jiménez M. A y. Hernandez-Martinez R. (2017). Solid state fermentation (SSF): diversity of applications to valorize waste and biomass. *Biotech.* 7:44 DOI 10.1007/s13205-017-0692-y
- López S. R. y De La Torre V. H. C. (2022). Soberanía alimentaria en México: el reto inconcluso. *Equilibrio Económico. Nueva Época. Revista de Economía, Política y Sociedad.* Vol. 18 (2). Núm. 54, 65-99 pp. ISSN: 2007-262
- López-García, A., Pérez-Moreno J., Jiménez-Ruiz M., Ojeda-Trejo E., Delgadillo-Martínez J., & Hernández-Santiago, F. (2020). Conocimiento tradicional de hongos de importancia biocultural en siete comunidades de la región chinanteca del estado de Oaxaca, México. *Scientia fungorum*, 50, e1280. Epub 10 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1280>
- Lugo R, Caamal-Velázquez JH, Cano-Sosa J. (2022). XX Años de Biotecnología en el Sureste Mexicano y su aporte a la Sociedad. *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería Delegación Sur Sureste; 2022*
- Martínez-Carrera, D., n. Curvetto, M. SoBaL, P. MoraLeS & v. M. Mora. (2010). Hacia un desarrollo sostenible del sistema De producción-consumo De los hongos comestibles Y medicinales en latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo xxi. *Red latinoamericana De hongos comestibles y medicinales-colpos-unconacyt-amc-uaemupaep-iminap, puebla.* 648 p
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla & W. Martínez. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. Capítulo 6.1, 20 pp. In: *El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México.* J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata & H. Leal (Eds.). ECOSUR-CONACYT, México, D.F. ISBN 978-970-9712-40-7.
- Mora-Uzeta, C., Cuevas-Rodríguez E., López-Cervantes J., Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R., Reyes-Moreno C. (2018). Mejoramiento de las propiedades nutricionales y antioxidantes de la leguminosa Frijol tépari (*phaseolus acutifolius*) subutilizada mediante fermentación de estado sólido. *Agrociencia* 53: 987-1003
- Niego, A. G. T., Rapior, S., Thongklang, N., Raspé, O., Hyde, K. D., & Mortimer, P. (2023). Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services.

En *Fungal Biology Reviews* (Vol. 44). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.11.002>

- Nieto-Juárez Jessica I., Cuzcano-Ruiza Ángel D., Reyes-López Walter A. (2019). ESTUDIO PRELIMINAR DE LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* CULTIVADO EN PULPA DE CAFÉ. *Rev Soc Quím Perú*. 85(4)
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n4/2309-8740-rsqp-85-04-422.pdf>
- Novaković S., Đekić I., Klaus A., Vunduk J., Dorđević V., Tomović V., Šojić B., Kocić-Tanackov S., Tomašević I. (2020). Antioxidant activity of mushrooms in vitro and in Frankfurters. *Meat Technology* 61, 62-69p. <https://doi.org/10.18485/meattech.2020.61.1.5>
- OMS. (2021). Informe de las Naciones Unidas: las cifras del hambre en el mundo aumentaron hasta alcanzar los 828 millones de personas. Obtenido de: [Informe de las Naciones Unidas: las cifras del hambre en el mundo aumentaron hasta alcanzar los 828 millones de personas en 2021 \(who.int\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/global-trends-in-hunger)
- Onteru S, A. A. y Rothschild M. (2010). Biotechnology developments in the livestock sector in developing countries. *Biotechnol Genet Eng Rev*. 2010;27:217-228.
- Pássaro, C.P.C.; Rivera, C.M.N.; Román, M.A.P.; Cardona, L.M.B.; Muñoz, L.M.E.; Gómez, D.D.; Quiceno, J.M.R.; y Rojas, L.C.B. (2016). Guía sobre principios básicos de cromatografía y sus aplicaciones. SENA. SENNOVA. GIGACA. 50 pp.
- Pastrana, L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *Ciencia y tecnología alimentaria Vol 1 (3)*. P 4-12.
- Pastrana, L. (2009). Fundamentos De La Fermentación En Estado Sólido Y Aplicación a La Industria Alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1(3), 4–12.
- Peláez-Acero, Armando, Meneses-Mayo, Marcos, Miranda-Romero, L. Alberto, Ayala-Martínez, Maricela, Crosby-Galván, M. Magdalena, Loera-Corral, Octavio, & Megías-Rivas, M. Dolores. (2011). Enzimas fibrolíticas producidas por fermentación en estado sólido para mejorar los ensilajes de caña de azúcar. *Agrociencia*, 45(6), 675-685. Recuperado en 04 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000600003&lng=es&tlng=es.
- Pérez L. H.,(2006). Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XL(3), 20-28.

- Pérez M. J.; Ferrera C, R, (1993). Ecología y perspectivas de cultivos de los hongos comestibles ectomicorrizos en México. Memoria 1er congreso de hongos comestibles en México
- Pérez-Moreno J, Guerin-Laguette A, Arzú RF, Yu FQ, Verbeken A. 2020. Setting the scene. Mushrooms humans y nature in a changing world. Springer Nature, Cham. 3-28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37378-8_1
- Pit Shan C., Man-Lung F. , Kah Hui W. y Lee W. L.(2020). Therapeutic Potential of *Hericium erinaceus* for Depressive Disorder. Review. International Journal of Molecules. Science, 21, 163; doi:10.3390/ijms21010163
- Postemsky, P.D (2015). *Grifola gargal* and *G. sordulenta*, Two Wild Edible Mushrooms with Perspectives as Biotech Products. Fermentation Technology
- Quiñones, M., Miguel, M., y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89. Recuperado en 03 de julio de 2024, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009&lng=es&tlng=es.
- Reinoso, B. (2015). Diseño de un fermentador de bandeja a escala piloto para la producción de enzimas con actividad ligninolítica y celulolítica a partir del hongo *Phanerochaete chrysosporium* mediante fermentación en medio solido con aserrín de eucalipto. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10587/1/CD-6265.pdf>
- Reséndiz-Trejo J., Ramírez-Moreno E., Ariza-Ortega J.A., Ortíz-Polo A.(2020). El mezquite como ayuda ergogénica para atletas de alto rendimiento en deportes intermitentes. Revisión sistemática. Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Publicación semestral, Vol. 9, No. 17 116-124p
- Restrepo Flórez, C. E., Estrada-López, H. H., & Saumett-España, H. G. (2017). Nutracéuticos y alimentos funcionales: una revisión de oportunidades. En H. H. Estrada-López, H. G. Saumett-España, M.A. Iglesias-Navas, M. J. Bahamón, A. M. Cáceres-Martelo, C. E.
- Robinson T., Singh D. y Nigam P. (2001). Fermentación en estado sólido: una tecnología microbiana promisorio para la producción de metabolitos secundarios. Universidad de

Antioquia, Medellín - Colombia..VITAE, REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA ISSN 0121-4004 Volumen 9 número 2,.

- Roda E, Priori EC, Ratto D, De Luca F, Di Iorio C, Angelone P, Locatelli CA, Desiderio A, Goppa L, Savino E. (2021);. Neuroprotective Metabolites of *Hericium erinaceus* Promote Neuro-Healthy Aging (Los metabolitos neuroprotectores de *Hericium erinaceus* promueven el envejecimiento neurosaludable). Revista Internacional de Ciencias Moleculares. 22(12):6379. <https://doi.org/10.3390/ijms22126379>
- Rojas R. L. (2013). Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisoría con impacto en la agricultura . Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal La Habana, Cuba Fitosanidad, vol. 17, núm. 1, abril-, 2013, pp. 49-55p
- Rojas S, Lopera JS, Uribe A, Correa S, Perilla N, Marín JS.(2015). Consumo de nutraceuticos, una alternativa en la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles. Revista Biosalud 2015; 14(2): 91-103. DOI: 10.17151/biosa.2015.14.2.9
- Rossi P, Cesaroni V, Brandalise F. (2018). Dietary supplementation of lion's mane medicinal mushroom, *Hericium erinaceus* (Agaricomycetes), and spatial memory in wild-type mice. Int J Med Mushrooms 20(5):1521–9437
- Ruíz-Leza H.A, Rodriguez-Jasso R. M., Rodríguez-Herrera R. ., Contreras-Esquivel J. C y. Aguilar C. N (2007). DISEÑO DE BIORREACTORES PARA FERMENTACIÓN EN MEDIO SÓLIDO. REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA QUÍMICA Vol. 6, No.1 (2007) 33-40p
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- SADER (2020). Maíz mexicano, un alimento con mucho valor Disponible en: [Maíz mexicano, un alimento con mucho valor | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#) 08/04/2024
- SADER (2021). La riqueza de México es el maíz. Disponible en : [La riqueza de México es el maíz | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#) 08/04/2024

- SADER. (2022). Maíz, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico. Disponible en: [Maíz, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#) 31/07/2024
- SADER.(2023). Razas de maíz, riqueza del campo mexicano. Disponible en [Razas de maíz, riqueza del campo mexicano | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#) 31/07/2024
- Salcedo Gil J.E., Vargas Londoño S., Torres-Valenzuela L S ., Serna-Jiménez J.A. (2016). Evaluación del efecto de la concentración de sustrato como fuente de nitrógeno y el inóculo en la producción de pleurotus ostreatus. *UG Ciencia*23, 10-16p
- Salinas-Moreno, Yolanda, Pérez-Alonso, José J., Vázquez-Carrillo, Gricelda, Aragón-Cuevas, Flavio, & Velázquez-Cardelas, Gustavo A. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia*,46(7), 693-706. Recuperado en 26 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000700005&lng=es&tlng=es.
- Sánchez C. (2016). “Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms”. En: *Synthetic and Systems Biotechnology*.<http://dx.doi.org/10.1016/j.synbio.2016.12.001>.
- Sánchez VJE, Royse DJ (2002) El cultivo de Pleurotus spp. En: Sánchez JE y Royse D (eds), *La Biología y el Cultivo de Pleurotus spp.* Ecosur, Limusa. México. 187-203
- Santos Silva B, Silva E., Amaral Crispim L, , Oliveira Vaini B., Barufatti Grisolia J., Alexéia, & Pires A P, Kelly M. (2012). Biotecnología aplicada a la alimentación y salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 39(3), 94-98. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000300014>
- Sardar, H2., Ali, M. A., Anjum, M. A., Nawaz, F., Hussain, S., Naz, S., y Karimi, S. M. (2017). Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Scientia Horticulturae*, 225(February), 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.010>
- Schmidt-Dannert, C.(2015). Biosynthesis of Terpenoid Natural Products in Fungi. In *Biotechnology of Isoprenoids*; Shrader, J., Bohlmann, J., Eds.; Springer: Sitzerland, pp 19-62p.

- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera .(2007).Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996 - 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 208 p.
- Singhaniaa R, Patelb A, Soccolc C, Pandeya A. (2009) Recent advances in solid-state fermentation, *Biocheml Eng J.*;44(1):3–18 p
- Soler-Rivas C, Espín J.C, Wichers HJ. (2000). An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. *Phytochem Anal* 11:1–9p
- Suárez, C., y Nieto, I. J. (2013). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutraceuticos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 30(1), 18p. 92p. ISBN 978-92-5-308960-4
- Syracuse, L. y Ruberto, G.(2014) plant polyphenol profiles as a tool for tracebility and valuable support to biodiversity. In *polyphenols in plants*, Elsiever. 15-33p
- Tholl D. (2015). Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants, in: J. Schrader, J. Bohlmann (Eds.), *Biotechnology of Isoprenoids*, 148, Springer International Publishing pp. 63–106, https://doi.org/10.1007/10_2014_
- Thongbai1Benjarong, Rapior Sylvie, Hyde Kevin D., Wittstein Kathrin y Stadler Marc .(2015). *Hericium erinaceus*, an amazing medicinal mushroom. *Mycol Progress* (2015) 14:91 DOI 10.1007/s11557-015-1105-4
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*,56(Supl. 1), s92-s98. Recuperado en 09 de julio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000700014&lng=es&tlng=es.
- Vallejo-Rosero, Y.; Barrios-Correa, L.; y Anaya-Gil, J. (2021). La cromatografía en capa fina: una alternativa vigente en la industria farmacéutica. *Revista de Química*. 35(2), 19-25. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/23788>
- Velázquez-Campoy A. (2018). LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SIGLO XXI: RETOS Y OPORTUNIDADES. *Revista An RANM*, número 135 (02) · páginas 169 a 173 DOI: 10.32440/ar.2018.135.02.rev09
- Villamil, R.A., Robelto, G. E., Mendoza, María Catalina, Guzmán, María Paula, Cortés, Lilia Yadira, Méndez, Camila Andrea, & Giha, Valeria. (2020). Desarrollo de productos lácteos

- funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. Revista chilena de nutrición, 47(6), 1018-1028.<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601018>
- Villarreal La Torre V.E., Gamarra Sánchez C., Silva Correa C., Cruzado Razco J., Ruiz Reyes G., Costilla Sánchez N., Zevallos Torres L., y García Armas J.M.,(2019). Actividad antioxidante in vitro y compuestos fenólicos de las hojas de *Beautempsia avicenniifolia*(Kunth)Gaudich(Capparaceae). *Arnaldoa*,26(1),409-420pDoi:<https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26121>
- Viniegra-González G (1997) Solid-state fermentation: definition, characteristics, limitations and monitoring. In: Roussos S, Lonsane BK, Raimbault M, Viniegra-González G (eds) *Advances in solid-state fermentation*, vol 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 5–22
- Viñas P. y Campillo, N. (2014). Gas chromatography-mass spectrometry analysis of polyphenols in foods. In *Polyphenols in plants*, Elsevier.103-153 p
- Wallace, T.C y Giusti, M.M. 2015.Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 6(5), 620-622. <https://doi.org/10.3945/an.115.009233>
- Wang XY, Zhang DD, Yin JY, Nie SP et al. (2019). Recent developments in *Hericium erinaceus* polysaccharides: extraction, purification, structural characteristics and biological activities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 96–115p.
- Wani, B.A., Bodha, R.H. y Wani, A.H. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *J. Med. Plant Res.*, 4(24): 2598-2604.
- Windhfur M. y Jonser J. (2005). *Soberanía Alimentaria hacia la democracia en sistemas alimentarios locales*. Primera edición en inglés ISBN de la edición en inglés 1-85339-608-7
- Xu L.N, Guo S. y Zhang S. (2018). Effects of solid-state fermentation with three higher fungi on the total phenol contents and antioxidant properties of diverse cereal grains.*FEMS Microbiology Letters*, 365, 2018, fny163
- Yarbrough, J. M., Zhang, R., Mittal, A., Vander Wall, T., Bomble, Y. J., Decker, S. R., Himmel, M. E. and Ciesielski, P. N. (2017). Multifunctional Cellulolytic Enzymes Outperform Processive Fungal Cellulases for Coproduction of Nanocellulose and Biofuels.*ACS Nano*,11(3), 3101-3109.<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b00086>

Yang, Q., S. Wang, Y. Xie, J. Sun and J. Wang (2010). "HPLC" analysis of Ganoderma lucidum polysaccharides and its effect on antioxidant enzymes activity and Bax, Bcl-2 expression." Int J Biol Macromol 46(2): 167-172p

Zamora I., y Barboza Y. (2020). Consumo de alimentos funcionales por estudiantes universitarios Ecuatorianos. Anales Venezolanos de Nutrición, 33(1), 14-23. Epub 01 de abril de 2021. Recuperado en 20 de febrero de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-0752202000010004&lng=es&tlng=es.

NOMBRE DEL TRABAJO

Fermentación sólida de granos de maíz con *Hericium erinaceus*; potencial nutricional y nutracéutico

AUTOR

Maria Belen Quiroz Aguiñiga

RECUENTO DE PALABRAS

23155 Words

RECUENTO DE CARACTERES

122389 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

92 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.0MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 12, 2024 9:45 AM GMT-6

FECHA DEL INFORME

Aug 12, 2024 9:48 AM GMT-6

● **35% de similitud general**

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

- 35% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 19% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref