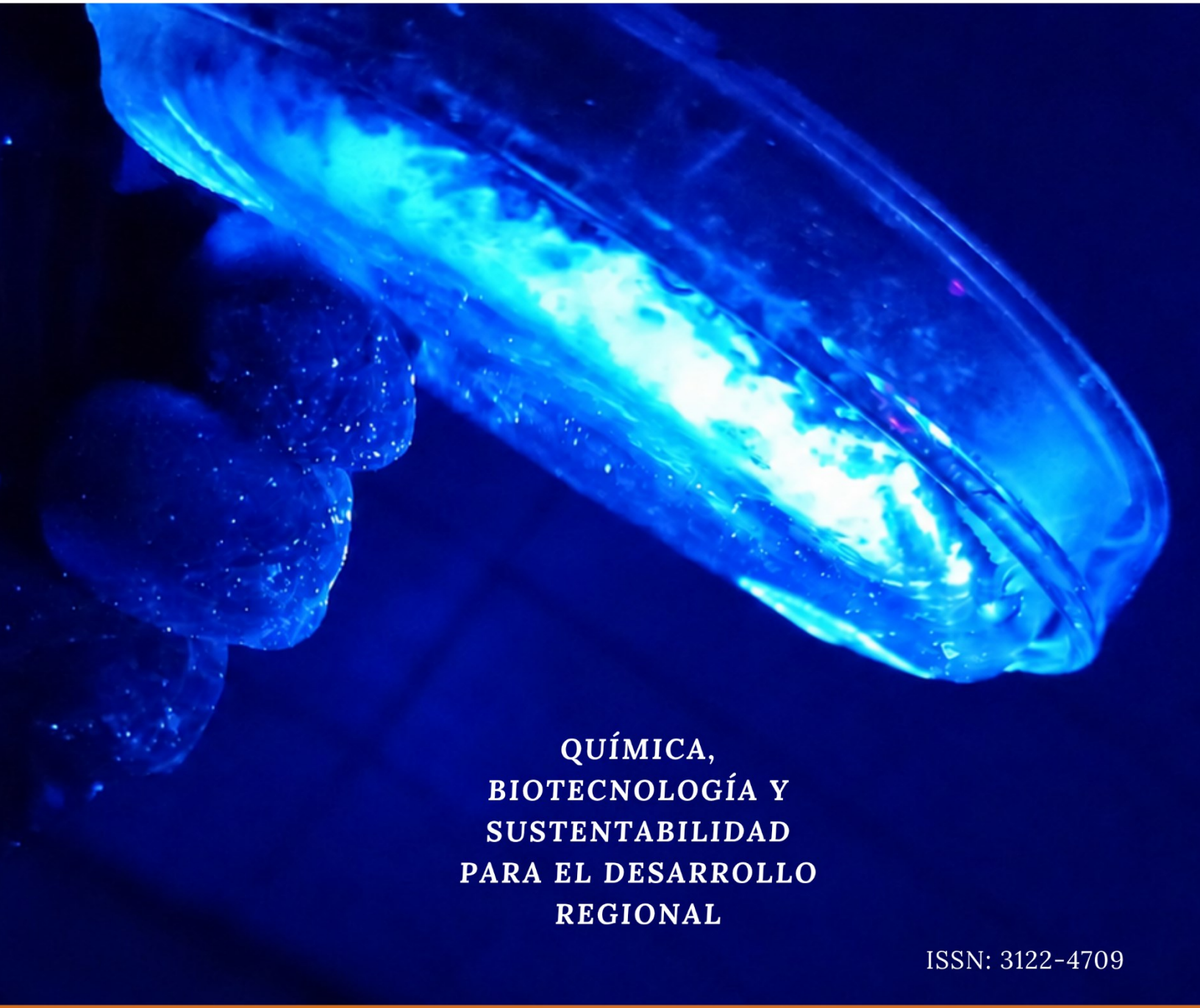
Volumen 01 | Número 01

Enero- Abril de 2026

INGENESIS

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA APLICADA - BIOQUÍMICA Y CIENCIAS DE LA SALUD - CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS



QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD PARA EL DESARROLLO REGIONAL

ISSN: 3122-4709

UN ESPACIO PARA LA CIENCIA, EL CONOCIMIENTO Y LA INNOVACIÓN

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

División de estudios de Posgrado e Investigación


INGENESIS

INGÉNESIS

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

EQUIPO EDITORIAL

EDITORA JEFA

Alma Dolores Pérez Santiago

CONSEJO EDITORIAL

Aldo Eleazar Pérez Ramos
Coordinador del Consejo Editorial

Juana Isabel Ramírez Hernández
Coordinadora del Comité Operativo

Víctor Manuel Jiménez Ramos
Coordinador del Comité Técnico Editorial

Karina Aidee Martínez García
Enlace de Gestión Editorial Administrativa

Julita Moreno Avendaño
Enlace de Gestión Legal, Documental y Estadísticas

Miguel Ángel Osorio Hernández
Enlace del Comité Técnico Editorial

EDITORES DE ÁREA

Iván Antonio García Montalvo
Bioquímica y Ciencias de la Salud

Carlos Mauricio Lastre Domínguez
Ingeniería y Tecnología Aplicada

Maricela Castillo Leal
Ciencias Sociales y Humanas

DISEÑO EDITORIAL y PORTAL WEB

Hugo Z. Domínguez Hernández
Aniela Indriani Bonequi Ramírez
Fernando Luis Mendoza
Heber Lucero Cruz
Manuel Alejandro Guzmán Nafate
Andrés Josué Acevedo Sesma
Yael Trinidad Merino Cruz

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Oaxaca

INSTITUCIÓN EDITORA

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Oaxaca

AUTORIDADES INSTITUCIONALES

Silvia Santiago Cruz | Directora del TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca

Alma Dolores Pérez Santiago | Subdirectora Académica

Iván Antonio García Montalvo |Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

NOTA SOBRE EL PROCESO EDITORIAL DEL NÚMERO

Los artículos de este número inaugural de INGÉNESIS fueron sometidos a un proceso de valoración editorial que consideró su calidad académica, pertinencia temática y concordancia con la línea editorial de Bioquímica y Ciencias de la Salud. La coordinación y el seguimiento editorial del presente número estuvieron a cargo del Dr. Iván Antonio García Montalvo, Editor de Área de Bioquímica y Ciencias de la Salud, conforme a los criterios editoriales establecidos para esta edición inaugural. El contenido y los resultados presentados en los artículos son responsabilidad exclusiva de sus autores. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos publicados, siempre que se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la revista.

CINTILLO LEGAL

INGÉNESIS, Año 1, Núm. 1, enero-abril de 2026, es una publicación cuatrimestral electrónica editada por el **Tecnológico Nacional de México**, Avenida Universidad No. 1200, 5º Piso, Col. Xoco, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, teléfono **5536002500**, a través del **Instituto Tecnológico de Oaxaca**. Página electrónica de la revista: **https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista**
Correo electrónico: **revista.ingenesis@itoaxaca.edu.mx**
Editora responsable: **Dra. Alma Dolores Pérez Santiago**. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo **No. 04-2025-120309551700-102**, ISSN: **3122-4709**— ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: **Dr. Aldo Eleazar Pérez Ramos**, TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Col. Centro, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, C.P. 68030. Fecha de última modificación: **30 de abril de 2026.** Tamaño del archivo: 4 **MB.**

Un nuevo horizonte para la investigación y la transformación



Es motivo de profundo orgullo para el **Tecnológico Nacional de México** presentar el número inaugural de la revista científica multidisciplinaria **INGÉNESIS**, editada bajo el liderazgo académico del **Instituto Tecnológico de Oaxaca**. La creación de este órgano de divulgación científica da continuidad a nuestro compromiso de generación y transferencia del conocimiento.

INGÉNESIS nace como un espacio de convergencia científica multidisciplinaria en un mundo interconectado que demanda respuestas urgentes a desafíos complejos, este proyecto se ha articulado en tres áreas clave de conocimiento para el desarrollo sostenible: **Ciencias Bioquímicas y de la Salud, Ingeniería y Tecnología Aplicada, y las Ciencias sociales y Humanidades**. Esta visión trilateral busca garantizar que el avance científico y la innovación tecnológica trasciendan con una perspectiva de responsabilidad humana, ambiental y de equidad social.

Para marcar el inicio de esta ruta editorial, este primer volumen presenta una edición monográfica dedicada de manera exclusiva a la bioquímica. La caracterización de biocompuestos, el aprovechamiento de recursos agroalimentarios y la innovación en bioprocesos constituyen pilares estratégicos para el desarrollo sostenible.

Felicito a las investigadoras e investigadores, docentes y estudiantes, al Consejo Editorial y a todo el equipo que ha hecho posible el nacimiento de **INGÉNESIS**, la cual, en el marco de la revolución de las conciencias, se presenta como una publicación que contribuirá a enlazar y alentar esfuerzos científicos dentro y fuera del Tecnológico Nacional de México, en un momento en que la ciencia y las nuevas tecnologías se desarrollan de manera impetuosa en todo el planeta y nuestro país no puede quedarse rezagado; por el contrario, debe aportar con la extraordinaria fuerza creativa de sus investigadores, docentes y estudiantes para construir nuevos peldaños y abrir horizontes en la extraordinaria revolución tecnocientífica actual.

Exhorto a la comunidad del Tecnológico Nacional de México y a las investigadoras e investigadores de diferentes instituciones a habitar este espacio de divulgación de acceso abierto. Que **INGÉNESIS** sea un catalizador de redes de cooperación, rigor metodológico y soberanía científica y tecnológica al servicio de la humanidad.

Prof. Ramón Jiménez López
Director General del Tecnológico Nacional de México

Presentación del primer número



El nacimiento de una revista científica marca el inicio de un espacio para comunicar resultados, promover el diálogo académico y fortalecer la continuidad de la investigación, expresa la voluntad de abrir un espacio permanente para el diálogo académico, la difusión del conocimiento y la construcción de nuevas posibilidades de investigación.

Con este primer número, **INGÉNESIS** inicia una trayectoria editorial comprometida con la divulgación de la ciencia, la tecnología y su capacidad para responder a los desafíos del entorno.

Este volumen inaugural reúne contribuciones surgidas en el ámbito de la química y sus aplicaciones, disciplina que trasciende el laboratorio para vincularse con la alimentación, los materiales, la biotecnología, el ambiente y el aprovechamiento responsable de los recursos. El número comparte un interés común: estudiar problemáticas concretas mediante aproximaciones experimentales y generar conocimiento con posibilidades de aplicación.

La publicación de estos trabajos reconoce el esfuerzo de autores, evaluadores y del equipo editorial que hicieron posible esta primera entrega; asimismo, expresa la voluntad de consolidar un espacio en el que estudiantes, docentes e investigadores encuentren una vía formal para comunicar sus aportaciones y contribuir al desarrollo científico desde sus instituciones y contextos.

INGÉNESIS inicia así una trayectoria que habrá de construirse con la calidad de sus contribuciones, la seriedad de sus procesos editoriales y la participación de su comunidad académica. Este número inaugural constituye el punto de partida de una revista que aspira a crecer con identidad, ética, rigor y compromiso con la generación y difusión del conocimiento.

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago
Editora Jefa de la revista INGÉNESIS

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Oaxaca

ÍNDICE

- **Utilización del gas de efecto invernadero (CO_2) durante la deshidrogenación oxidativa de etano a etileno mediante soportes binarios Al_2O_3-ZrO_2 y TiO_2-ZrO_2** 1

  Félix Cancino Trejo, Alfredo Torres Bueno, Carlos Eduardo Santolalla Vargas, Luis Jorge Rodríguez Castillo

- **Evaluación de tres métodos de extracción de carotenoides en maíces nativos de Oaxaca** 8

  Williams Sánchez Velasco, Fernando Pérez Mendoza, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez, Marco Antonio Sánchez Medina

- **Extracción de un colorante natural del hongo *Pisolithus arhizus*** 11

  Eder Esaú Hernández Ramírez, Yesenia Aragón López, Baleria María Hernández Chávez, Alma Dolores Pérez Santiago

- **Biosensor electroquímico basado en NTCPM-Con A para la cuantificación de glucosa** 14

  Aarón David Salinas Cruz, Alma Dolores Pérez Santiago, Luis Humberto Robledo Taboada

- **Diseño de un sustituto vegetal de carne a base de legumbres y cereales** 17

  José Francisco García Chávez, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez, Aymara Judith Díaz Barrita

- **Identificación de hongos filamentosos en forraje de Reyes Etla, Oaxaca** 20

  Itzel Castro Baltazar, Marco Antonio Sánchez Medina, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez, Beatriz Guadalupe Villa Martínez

- **Caracterización de levaduras aisladas de *Agave angustifolia* para la producción de cerveza artesanal** 23

  Ángel Axhel Abascal, Edmar de Jesús Díaz, Marco Antonio Sánchez Medina

- **Formulación y evaluación físico-mecánica de biopelículas a base de gomas naturales** 25

  Emili Jaqueline Crisostomo Mendoza, Marco Antonio Sánchez Medina, Aymara Judith Díaz Barrita

- **Caracterización físico-mecánica de tortillas de maíz (*Zea mays*)** 28

  Anel Karina Valencia Salazar, Gonzalo Santos López, Iván Antonio García Montalvo, Aymara Judith Díaz Barrita

- **Formulación de harina de setas fortificada con antioxidantes de chile huacle** 30

  Milca Raquel Calderón Sánchez, Gonzalo Santos López

- **Monitoreo comunitario participativo del agua como indicador de servicios ecosistémicos del bosque** 34

  Sandra Flor Cosmes Guzmán, Laura Jiménez Bautista, Lucina Ruiz Pérez, Oscar Francisco Mijangos Ricárdez

- **Evaluación de la tolerancia a metales pesados del hongo *Calvatia gigantea*** 39

  Josué Iván Cruz García, Baleria María Hernández Chávez, Yesenia Aragón López, Alma Dolores Pérez Santiago

Utilización del gas de efecto invernadero (CO_2) durante la deshidrogenación oxidativa de etano a etileno mediante los soportes binarios Al_2O_3-ZrO_2 y TiO_2-ZrO_2

Use of the greenhouse gas CO_2 in the oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene over binary Al_2O_3–ZrO_2 and TiO_2–ZrO_2 supports

Félix Cancino-Trejo[1]*, Alfredo Torres Bueno[2], Carlos Eduardo Santolalla Vargas[3], Luis Jorge Rodríguez Castillo[4]

Resumen—Soportes combinados TiO_2-ZrO_2 y Al_2O_3-ZrO_2 fueron sintetizados por precipitación química e impregnados con Cr, V, y Fe (7.5 % en peso). Los catalizadores fueron evaluados en la reacción de deshidrogenación oxidativa de etano (DHO-Eta) a 550 °C y 600 °C en presencia de O_2 y CO_2. La utilización de CO_2 permitió obtener una selectividad 4 veces mayor hacia etileno en comparación con O2. La adición de ZrO2 permitió alcanzar el objetivo planteado: dar estabilidad térmica e impedir transformaciones de fase en los soportes individuales de TiO_2 y Al_2O_3. En este sentido, el análisis de difracción de rayos X (DRX) confirmó la predominancia de la fase anatasa (TA) en los catalizadores depositados sobre TiO_2-ZrO_2 y zirconia tetragonal (ZT) en los catalizadores basados en Al_2O_3-ZrO_2. DRX no mostró presencia de reflexiones correspondientes a los metales impregnados, indicando una alta dispersión sobre los soportes. Además, la adición de ZrO_2 promovió un incremento en la acidez superficial de todos los catalizadores, alcanzando selectividades hacia propeno mayores a 90 %. El catalizador Cr/Al-Zr mostró una conversión de etano de 37 % y una selectividad hacia etileno de 80%. De acuerdo con estos resultados, la presencia de sitios ácidos fuertes y básicos débiles parece mejorar el comportamiento catalítico de los materiales.

Palabras clave—Deshidrogenación oxidativa, gas de efecto invernadero, selectividad hacia etileno.

Abstract— Combined TiO_2–ZrO_2 and Al_2O_3–ZrO_2 supports were synthesized by chemical precipitation and impregnated with Cr, V, and Fe (7.5 wt. %). The catalysts were evaluated for the oxidative dehydrogenation of ethane (ODHE) at 550 and 600 °C in the presence of O_2 and CO_2. The use of CO_2 resulted in an ethylene selectivity four times that obtained with O_2. The addition of ZrO_2 met the intended purpose of providing thermal stability and preventing phase transformations in the individual TiO_2 and Al_2O_3 supports. In this regard, X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the predominance of the anatase phase (TA) in the TiO_2–ZrO_2-supported catalysts and of tetragonal zirconia (ZT) in the Al_2O_3–ZrO_2-supported catalysts. No reflections attributable to the impregnated metals were observed in the XRD patterns, indicating high dispersion on the supports. In addition, ZrO_2 addition increased the surface acidity of all catalysts, resulting in selectivities to propene above 90 %. The Cr/Al–Zr catalyst showed an ethane conversion of 37 % and an ethylene selectivity of 80 %. These results suggest that the presence of strong acid sites and weak basic sites improves the catalytic performance of the materials.

Keywords—Greenhouse gas, oxidative dehydrogenation, selectivity toward ethylene.

I. INTRODUCCIÓN

El etileno (C_2H_4) representa la materia prima más importante para la industria petroquímica. Entre los productos que se obtienen a partir del etileno podemos mencionar el poliestireno, estireno, óxido de etileno, monómeros de cloruro de vinilo y acetato de vinilo, dicloroetano, etilbenceno, acetaldehído y otros productos de alto valor económico [1].

Tradicionalmente, el etileno se obtiene mediante el craqueo térmico de hidrocarburos ligeros como el etano, un proceso altamente endotérmico que opera a temperaturas entre 800 y 900 °C [2]. Este método no solo implica un elevado consumo energético, sino que también genera emisiones significativas de dióxido de carbono CO_2, estimadas entre 180 y 200 millones de toneladas, contribuyendo al cambio climático y a la huella ambiental del sector químico, lo que impide a su vez cumplir los objetivos de emisión fijados en el Protocolo de Kioto [3].

[1] Departamento de Biociencias e Ingeniería, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 0000-0001-5524-107X, cancinotrejofelix@gmail.com (*autor de correspondencia)
[2] Departamento de Ingeniería Química Petrolera, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, atorresb1602@alumno.ipn.mx
[3] Departamento de Biociencias e Ingeniería, CIIEMAD, IPN, Ciudad de México, México, 0000-0003-3800-4843, csantolallav@ipn.mx
[4] Departamento de Biociencias e Ingeniería, CIIEMAD, IPN, Ciudad de México, México, 0000-0003-3590-3472, luisjrodriguez_4@hotmail.com

Recepción: 25/03/2025 | Aceptación: 20/06/2025 | Publicación: 30/04/2026 ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102 https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

Por tal motivo, además de reducir las emisiones de CO_2 (principal gas de efecto invernadero), las estrategias para abordar adecuadamente el cambio climático deben incluir su utilización. En este sentido, para promover la economía circular, el CO_2 debe aprovecharse en procesos para la obtención de materiales de alto valor agregado como el etileno, combustibles y otras materias primas, lo cual representaría un beneficio ecológico.

En respuesta a este desafío, la deshidrogenación oxidativa de etano (DHO-Eta) representa una alternativa prometedora para la producción de etileno, al operar a temperaturas más bajas y potencialmente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [4].

El reto de la utilización de la DHO-Eta es el control del proceso de oxidación de los productos olefínicos, que tienden a sobreoxidarse a CO_2 y CO, lo cual es la principal causa del envenenamiento del catalizador y de la disminución de su rendimiento, sobre todo en presencia de O_2 como gas oxidante [5]. Por el contrario, se ha observado que el uso de CO_2 en la alimentación aumenta el rendimiento de etileno, esto a través de un mecanismo redox en el que el catalizador experimenta ciclos de reducción por etano y reoxidación (por CO_2), o el acoplamiento de reacciones como la deshidrogenación de etano y la reacción inversa de desplazamiento agua-gas [6]. Por lo tanto, el desarrollo de un catalizador activo y selectivo para la conversión de etano en etileno a bajas temperaturas es la clave para evitar estas limitaciones y hacer que la DHO-Eta sea competitiva con el craqueo con vapor. La gran mayoría de los artículos en la literatura reportan el uso de numerosos catalizadores basados en metales de transición, soportados principalmente sobre alúmina (Al_2O_3) e impregnados con otros elementos para mejorar su actividad catalítica, selectividad y longevidad [7] - [10]. Sin embargo, la información con respecto al uso de metales de transición soportados sobre titania (TiO_2) durante la DHO-Eta es escasa, sobre todo con el uso de CO_2 como agente oxidante y en las condiciones de operación reportadas aquí.

En un trabajo previo [11] se encontró que Cr_2O_3/ZrO_2 mostraba una alta conversión, pero una baja selectividad al etileno, mientras que Cr_2O_3/TiO_2 demostró la menor actividad, pero la mayor selectividad al etileno. Además, es importante mencionar que se observó que las propiedades ácido-base y texturales de los soportes afectaban en gran medida al rendimiento catalítico. Según los reportes en la literatura, la adición de ZrO_2, además de mejorar el desempeño del catalizador, puede impedir las transformaciones de fase del TiO_2 de anatasa a rutilo a alta temperatura, favoreciendo así la estabilidad térmica de los catalizadores [6]. Con base en lo anterior, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación catalítica del material TiO_2-ZrO_2 como soporte binario o combinado, y el efecto de los metales de transición Cr, V y Fe sobre estos nuevos soportes, debido a que se ha documentado que estos elementos son los más prometedores debido a su elevada actividad catalítica [4], [9], [12]. El objetivo fue desarrollar un catalizador de TiO_2-ZrO_2 más efectivo para la reacción de DHO-Eta, el cual exhiba una mayor conversión de etano y selectividad hacia el etileno, esto debido a una mejor estabilidad térmica y a la mejora del comportamiento bifuncional ácido-base en comparación con sus óxidos individuales. Además, con fines comparativos, se sintetizaron catalizadores sobre un soporte combinado Al_2O_3-ZrO_2, ya que como se citó anteriormente, la alúmina es el soporte más empleado para esta reacción. La evaluación estructural fue realizada principalmente por difracción de rayos X (DRX), y la descomposición del 2-propanol fue empleada como técnica de caracterización ácido-base de los catalizadores.

II. METODOLOGÍA

A. Preparación de los soportes combinados TiO_2-ZrO_2 y Al_2O_3-ZrO_2

Previo a depositar la fase activa sobre los soportes binarios o combinados, se modificaron la titania y alúmina con zirconia para conseguir estabilidad térmica y ajustar la acidez superficial de los nuevos materiales. Los soportes binarios fueron sintetizados por deposición química, variando la relación soporte-zirconia (1:1 y 2:1), aunque, se descubrió que la estabilidad térmica y la acidez óptimas se logran con la relación 1:1. Por lo tanto, todos los catalizadores se prepararon utilizando esa relación. Los materiales de partida fueron óxido de titanio (99 %, SIGMA ALDRICH), óxido de aluminio (99 %, SIGMA ALDRICH) y tetracloruro de zirconio como precursor del óxido de zirconio (99 %, THERMO). Además, se emplearon tolueno (99 %, J. T. Baker) como solvente e hidróxido de amonio (20 %, Meyer) para ajustar la solución al pH deseado. Todos los materiales se utilizaron tal como se recibieron, sin ningún tratamiento adicional.

El soporte (titania o alúmina) se colocó en un vaso de precipitado y se añadió tetracloruro de zirconio y tolueno en exceso. La mezcla se mantuvo en agitación durante la adición del hidróxido de amonio hasta

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

alcanzar un pH = 8. La muestra resultante se filtró y se secó a temperatura ambiente durante 24 h. Posteriormente, se secó a 120 °C por 2 h y se calcinó a 600 °C durante 4 h.

B. Preparación de los catalizadores

Los catalizadores fueron sintetizados por impregnación por humedad incipiente, utilizando una carga metálica de Fe, Cr y V correspondiente al 7.5 % en peso. Para ello, se disolvió en agua desionizada la cantidad requerida de precursores metálicos de $Fe(NO_3)_3$ *$9H_2O$ (98 %, SIGMA ALDRICH), $Cr(NO_3)_3$ * $9H_2O$ (99 %, SIGMA ALDRICH) y $C_{10}H_{14}O_5V$ (MERK). Posteriormente, se añadieron los soportes binarios en polvo. Tras la impregnación, todas las muestras se secaron y calcinaron conforme al procedimiento descrito anteriormente. Un resumen más detallado de la preparación del catalizador se muestra en la Tabla I.

Tabla I: Características de los catalizadores sintetizados

Catalizador	Soporte	Carga metálica (% en peso)	Técnica de síntesis
Fe/Ti-Zr	TiO_2-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN
Fe/Al-Zr	Al_2O_3-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN
Cr/Ti-Zr	TiO_2-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN
Cr/Al-Zr	Al_2O_3-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN
V/Ti-Zr	TiO_2-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN
V/Al-Zr	Al_2O_3-ZrO_2	7.5	IMPREGNACIÓN

C. Caracterización de los catalizadores

Para la identificación cristalográfica de las fases cristalinas presentes en las muestras se utilizó la técnica de difracción de rayos X (DRX). El equipo utilizado fue un difractómetro Bruker D2 PHASER. Los patrones de difracción se adquirieron con los siguientes parámetros: rango 2θ de 10 a 90°, velocidad de 0.02°/s, radiación de Cu (λ = 1,5418 Å), potencia de 40 kV y 44 mA, y un detector de centelleo en geometría de Bragg-Brentano.

La descomposición del isopropanol (2-propanol) se utiliza frecuentemente como reacción de prueba para determinar las propiedades ácido-base de los catalizadores en muchos laboratorios. En este sentido, la reacción de este alcohol se evaluó a 220 °C y presión atmosférica, usando 300 mg de catalizador y un flujo de gas de arrastre (N_2) de 18 mL/min. Las pruebas se realizaron en un reactor tubular Hastelloy de lecho fijo con las siguientes medidas: 350 mm de longitud y 5 mm de diámetro interior (d.i.). Finalmente, el análisis de los productos se efectuó en un cromatógrafo de gases PerkinElmer Clarus 690, con ayuda del detector de ionización por llama (FID; flame ionization detector, por sus siglas en inglés).

D. Evaluación catalítica

Las pruebas se llevaron a cabo en un reactor tubular Hastelloy de lecho fijo (similar al empleado en la reacción de descomposición del 2-propanol), a presión atmosférica y a una temperatura de 600 °C. El comportamiento catalítico de los catalizadores se probó en estado estacionario (9 h de reacción). El lecho catalítico se cargó con 0.200 g de catalizador mezclado con una cantidad equivalente de polvo inerte de carburo de silicio de 400 mesh de tamaño. Además, se suspendió en el centro del reactor, entre dos capas inertes de carburo de silicio de 60 mesh (ver Fig. 1). Los productos de reacción se analizaron en línea en un cromatógrafo de gases Perkin Elmer-Clarus 690 equipado con una columna Elite Plot-Q (30 m x 0,53 mm (d.i.)) conectada a un detector de conductividad térmica TCD (thermal conductivity detector por sus siglas en inglés). La mezcla de reacción estaba compuesta por un 5 % de etano, un 10 % de CO_2 y un 85 % de N_2. La conversión de etano (X_{C2H6}) y la selectividad hacia etileno (S_{C2H4}) han sido calculadas de acuerdo con los reportes existentes en la literatura [13, 14].

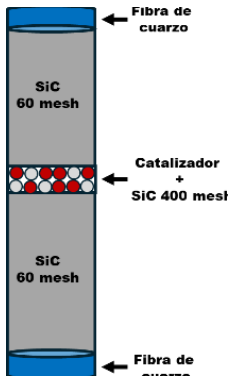


Fig. 1. Empacado del catalizador dentro del reactor tubular Hastelloy de lecho fijo.

III. RESULTADOS

E. Difracción de rayos X (DRX)

Los patrones de DRX de los catalizadores sintetizados son mostrados en la Fig. 2. Las líneas de difracción en la muestra TiO_2 (titania) a 37°, 39°, 53° y 68° corresponden

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

a picos asignados a la fase rutilo (TR). Mientras que las señales a 25°, 38°, 48°, 55°, 62°, 70° y 75°, son líneas de difracción características de la fase anatasa (TA) [6]. Además, en la Fig. 2 se aprecia que en el soporte combinado TiO_2-ZrO_2, adicional a las líneas características de la titania, presentó picos de difracción a 30°, 35°, 50° y 60°, los cuales han sido asignados a la fase tetragonal de la zirconia (ZT). Solo se observa una pequeña línea de difracción a 28°, asignada a la fase monoclínica de la zirconia (ZM) [15]. El catalizador Cr/Ti-Zr muestra las líneas de difracción de cada uno de sus soportes, el mismo comportamiento se observa en los catalizadores V/Al-Zr, Fe/Al-Zr y Cr/Al-Zr. Sin embargo, no fue posible observar líneas de difracción características de los metales de transición (V, Fe y Cr).

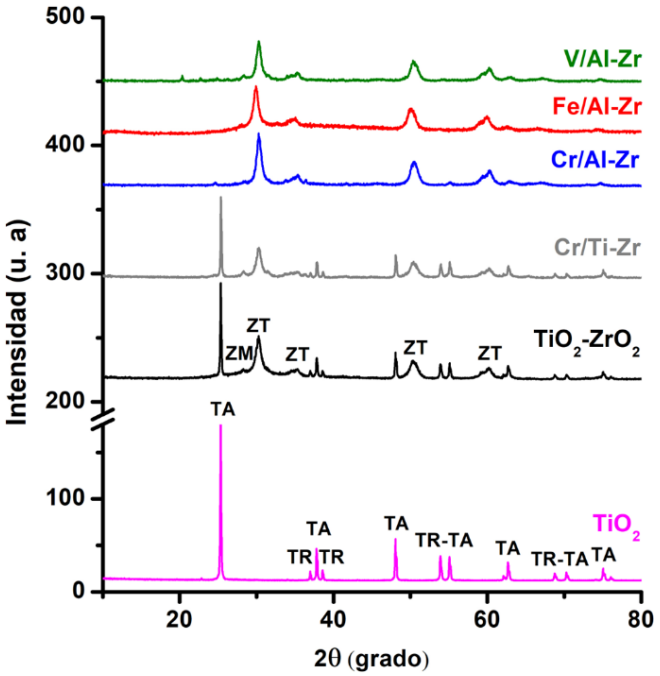


Fig. 2. Patrones de DRX de la titania y los catalizadores depositados sobre los soportes combinados TiO_2-ZrO_2 y Al_2O_3-ZrO_2.

F. Descomposición de isopropanol (2-propanol)

La reacción de descomposición del 2-propanol se llevó a cabo para obtener información sobre las propiedades ácido-base de algunos de los soportes y catalizadores utilizados en este trabajo. Se sabe que la descomposición del isopropanol puede producirse siguiendo dos vías de reacción: la deshidratación, que da como productos propeno y di-isopropiléter (sobre sitios ácidos fuertes y sitios básicos), y la deshidrogenación, que se da en los sitios ácidos de fuerza moderada y sitios básicos fuertes produciendo acetona [16].

En la Fig. 3 se puede apreciar la selectividad hacia los productos de la descomposición de isopropanol de los diferentes materiales evaluados. En general, se observó la presencia de propeno y di-isopropiléter en todas las muestras, mientras que la acetona no se produjo en el catalizador Cr/Al-Zr (Fig. 3 (d)). Además, se observa que la cantidad de acetona es mayor en la zirconia que en la titania, 25 % y 4 %, respectivamente (Fig. 3 (a y b)). Interesantemente, en la Fig. 3 (c) se visualiza que, al combinar ambos soportes, incrementó la selectividad hacia propeno y disminuyó la de acetona. Por lo tanto, estos resultados sugieren un cambio en las propiedades ácido-base de los catalizadores sintetizados.

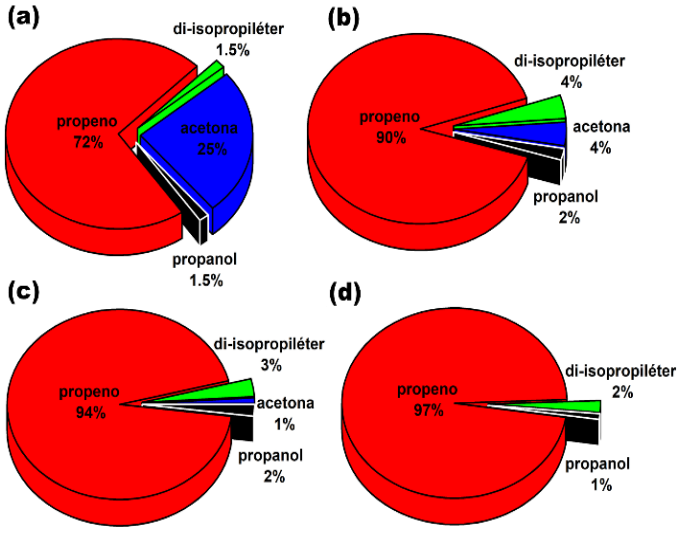


Fig. 3. Selectividad de los diferentes productos de la reacción de descomposición de isopropanol a 220 °C. (a) ZrO_2, (b) TiO_2, (c) Fe/Ti-Zr y (d) Cr/Al-Zr.

G. Evaluación catalítica

La actividad de los nuevos catalizadores sintetizados fue evaluada en la reacción de DHO-Eta a 600 °C, durante 9 h, a una velocidad espacial ponderada de WHSV≈1 (weight hourly space velocity por sus siglas en inglés). Durante la reacción solo se observaron etileno y agua como los únicos productos detectados en el cromatógrafo.

En la Fig. 4 se presentan las conversiones de los catalizadores depositados sobre el soporte combinado de TiO_2-ZrO_2. Todos los catalizadores mostraron una conversión de etano por encima de 15 %. El catalizador Cr/Ti-Zr exhibió 27 % de conversión de etano, superando en casi dos veces la actividad alcanzada por el catalizador de Fe/Ti-Zr que fue de 16 %.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

Es bien sabido que durante la DHO-Eta, los mejores catalizadores deben tener la capacidad para convertir efectivamente el etano a etileno a bajas temperaturas con una alta selectividad. En este sentido, en la Fig. 4 se observa que el catalizador Cr/Ti-Zr obtuvo la selectividad hacia etileno más alta, aproximadamente 70 %. Nuevamente, el catalizador Fe/Ti-Zr exhibió la menor selectividad hacia etileno (50 %).

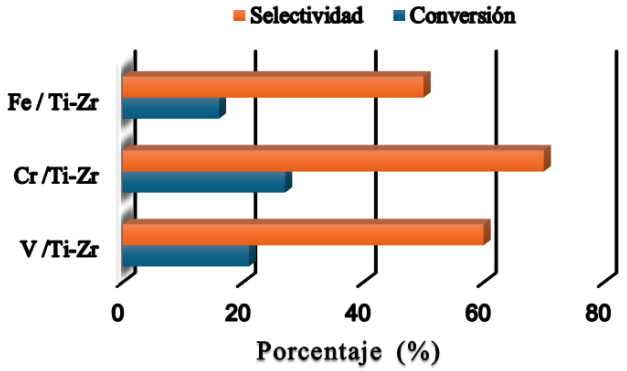


Fig. 4. Conversión y selectividad de catalizadores de V, Cr y Fe a 600 °C en los catalizadores con soporte combinado TiO_2-ZrO_2.

Por otro lado, la Fig. 5 presenta los resultados de la evaluación de los catalizadores depositados sobre el soporte Al_2O_3-ZrO_2. El catalizador Cr/Al-Zr mostró la conversión de etano más alta (37 %), en comparación con los catalizadores Fe/Al-Zr y V/Al-Zr, los cuales presentaron valores de 18 % y 26 %, respectivamente.

En cuanto a la selectividad hacia etileno, nuevamente el catalizador Cr/Al-Zr exhibió una mayor selectividad hacia etileno (80 %), mientras que los catalizadores de Fe/Al-Zr y V/Al-Zr alcanzaron valores cercanos a 60 % y 70 %, respectivamente. En general la actividad disminuyó en el siguiente orden decreciente: Cr/Al-Zr > Cr/Ti-Zr > V/Al-Zr > V/Ti-Zr > Fe/Al-Zr > Fe/Ti-Zr.

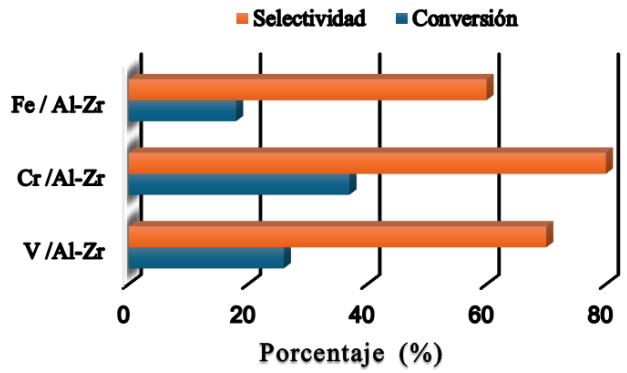


Fig. 5. Conversión y selectividad de catalizadores de V, Cr y Fe a 600 °C en los catalizadores con soporte combinado Al_2O_3-ZrO_2.

Para entender cómo la selectividad está relacionada con la conversión, se realizaron una serie de experimentos a diferentes temperaturas, a fin de obtener la mejor relación actividad -selectividad. En la Tabla II se puede observar que la selectividad a etileno varía con la conversión. En este sentido, la Tabla II muestra que la conversión de etano mejora con el incremento de la temperatura. Por el contrario, la selectividad hacia etileno mejora conforme se disminuye la temperatura. La tendencia se mantiene: el catalizador Cr/Al-Zr exhibió la más alta conversión de etano y selectividad hacia etileno a 550 °C, 16 % y 95 %, respectivamente.

Además, en la Tabla II se puede apreciar que el catalizador Ni/Ti presentó los valores más bajos de conversión de etano y selectividad hacia etileno a todas las temperaturas de reacción evaluadas, en comparación con el resto de los catalizadores. Esto es importante, ya que respalda la hipótesis de que los materiales sintetizados con soporte combinado mejoran su comportamiento catalítico con respecto al soporte individual de titania.

Tabla II: Evaluación catalítica a 600 °C y 550 °C realizada con los catalizadores Cr/Ti-Zr, Cr/Al-Zr y Ni/Ti.

Catalizador	Conversión (%)		Selectividad (%)	
	600 ° C	550 ° C	600 ° C	550°C
Cr/Ti-Zr	27	12	70	88
Cr/Al-Zr	37	16	80	95
Ni/Ti	9	4	31	50

Para dilucidar el rol del CO_2 frente al O_2 como agente oxidante, se llevó a cabo la evaluación catalítica con el catalizador que mostró el mejor rendimiento catalítico (Cr/Al-Zr). Los resultados indican que la conversión de etano a 600 °C con O_2 es mayor que con CO_2, 70 % y 37 %, respectivamente. Sin embargo, la selectividad hacia el etileno es mayor en presencia de dióxido de carbono a cualquier temperatura de reacción (ver Tabla III). Según los reportes en la literatura, estos resultados indican que la presencia de O_2 en la alimentación aumenta la conversión de etano, mientras que el CO_2 muestra una mayor selectividad hacia el etileno. La mejora de la selectividad se atribuye al efecto de envenenamiento que ejerce el CO_2 sobre las reacciones secundarias de los radicales alquilo con los centros activos de la superficie catalítica [17].

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Tabla III: Efecto del oxidante sobre la conversión de etano y la selectividad hacia etileno con el catalizador Cr/Al-Zr.

Oxidante	Conversión de etano (%)			Selectividad hacia etileno (%)		
	Temperatura de reacción (°C)					
	600	575	550	600	575	550
O_2	70	67	65	20	23	25
CO_2	37	29	16	80	91	95

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron una serie de catalizadores soportados sobre los óxidos mixtos TiO_2-ZrO_2 y Al_2O_3-ZrO_2 en el proceso de DHO-Eta. El uso de titania se basó principalmente en dos razones: la primera a la escasa información que existe sobre su uso en esta reacción en presencia de CO_2 y la segunda a que el soporte TiO_2 promueve la donación de orbitales antienlaces Π del CO_2 a la superficie de los metales de transición [18]. Entre las fases cristalinas del TiO_2, como la anatasa, el rutilo y la brookita, las estructuras de anatasa y rutilo son las más empleadas en catálisis. Sin embargo, se ha reportado que la transformación de anatasa a rutilo ocurre principalmente a temperaturas elevadas, generalmente por encima de 600 °C [19]. Dado que la síntesis de los materiales se lleva a cabo a 600 °C, y con la experiencia adquirida al evaluar el catalizador de Ni/Ti (Tabla II), se decidió añadir ZrO_2 a ambos soportes, para impedir las transformaciones de fase del TiO2 a alta temperatura. El análisis de los patrones de DRX reveló la predominancia de fase anatasa en todos los catalizadores soportados sobre el óxido combinado TiO_2-ZrO_2 (ver Fig. 2). En la Tabla II se aprecia que la actividad catalítica (selectividad) exhibida por el catalizador Cr/Ti-Zr (88 %) a 550 °C es superior a la mostrada por el catalizador Ni/Ti (50 %), esto confirma que en los soportes combinados se logró impedir la transformación de anatasa a rutilo, con lo que se mejoró su desempeño catalítico. Estos resultados sugieren éxito en el objetivo planteado para este trabajo. Además, en la Fig. 2 no se observaron reflexiones características de los metales impregnados. Esto puede deberse a varias causas, entre las que se pueden mencionar las siguientes: la cantidad de fase activa está por debajo del límite de detección, los metales están bien dispersos en la superficie del soporte, o a la formación de una fase amorfa. Sin embargo, para poder corroborar estas aseveraciones es necesaria una caracterización más detallada de los catalizadores, por lo que es un trabajo que se está planteando hacer a futuro en nuestro grupo de investigación.

La Tabla III muestra una mayor selectividad hacia el etileno con el uso de CO_2 (95 %) a 550 °C. Esto significa que CO_2 favorece la selectividad hacia el etileno con una baja formación de especies de carbono, contrario al uso de O_2, que presenta un incremento en la formación de especies de carbono. Nuestros resultados son congruentes con los reportados en la literatura, en los cuales se menciona que la presencia de O_2 en la alimentación aumenta la conversión de etano, mientras que el CO_2 muestra más selectividad hacia el etileno [20]. En cuanto a la acidez superficial, en la Fig. 3 (a y b) se observa que la ZrO_2 y la TiO_2 exhibieron una baja acidez, por lo que se puede decir que son soportes básicos, donde predomina la formación de propeno y acetona. En el caso de la Al_2O_3, se ha reportado que es un soporte que exhibe una alta selectividad a propeno, por lo que es un material con una alta acidez [21].

Interesantemente, al adicionar Zr a los soportes individuales, el comportamiento ácido-base cambia drásticamente. En este sentido, la Fig. 3 (c y d) muestra que los catalizadores Fe/Ti-Zr y Cr/Al-Zr exhiben selectividades a propeno superiores a 95 %, lo que significa que son materiales con una acidez alta. El catalizador Cr/Al-Zr exhibió la mayor conversión de etano (16 %) y selectividad hacia etileno (95 %) a 550 °C. Nuestros resultados sugieren que el comportamiento catalítico de los catalizadores mejora cuando la reacción de DHO-Eta se lleva a cabo sobre los sitios ácidos fuertes y sitios básicos débiles de los materiales. Por lo tanto, con base a nuestros resultados, podemos decir que estos hallazgos permiten orientar el diseño de catalizadores más estables y selectivos para una producción eficiente de etileno, por lo que se cumplió totalmente con los objetivos planteados en este estudio.

Con el fin de encontrar un sistema catalítico eficiente y selectivo para la DHO-Eta se estudiaron una serie de catalizadores soportados sobre óxidos de TiO_2-ZrO_2 y Al_2O_3-ZrO_2. Según los resultados obtenidos, la adición de ZrO_2 impidió la transformación de anatasa a rutilo en la titania y modificó la acidez superficial de los catalizadores sintetizados. La fase anatasa presente en los catalizadores parece favorecer la reacción de DHO-Eta; sin embargo, los catalizadores depositados sobre óxidos de Al_2O_3-ZrO_2 exhibieron el mejor comportamiento catalítico. La acidez determinada mediante la descomposición del 2-propanol mostró un incremento de la selectividad hacia propeno en todos los

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

catalizadores, lo cual se relaciona con una mayor densidad de los sitios ácidos fuertes y una mejora en la descomposición del etano. En este sentido, los sistemas Cr/Ti-Zr y Cr/Al-Zr parecen catalizadores prometedores para la reacción de DHO-Eta, debido a la elevada actividad catalítica y selectividad observadas en esta investigación. Finalmente, se aprecia que mediante el método de deposición química es posible preparar catalizadores con selectividad controlada a propeno, acetona o di-isopropiléter en función de las cantidades utilizadas de ZrO_2 sobre los soportes de óxidos individuales.

REFERENCIAS

[1] M. Hurtado Cotillo, D. Unsihuay, C. E. Santolalla-Vargas, A. Paredes Doig, R. Sun Kou, and G. Picasso, "Catalysts based on Ni-Fe oxides supported on γ-Al_2O_3 for the oxidative dehydrogenation of ethane," Catal. Today, vol. 356, pp. 312–321, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.cattod.2019.05.044.

[2] M. Numan et al., "Oxidative dehydrogenation of ethane with CO_2 as a soft oxidant over a PtCe bimetallic catalyst," ACS Catal., vol. 11, no. 15, pp. 9221–9232, Aug. 2021, doi: 10.1021/acscatal.1c01156.

[3] T. Ren, M. Patel, and K. Blok, "Olefins from conventional and heavy feedstocks: Energy use in steam cracking and alternative processes," Energy, vol. 31, no. 4, pp. 425–451, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.energy.2005.04.001.

[4] F. Cancino-Trejo et al., "Active Ni and Fe species on catalysts Ni/Al_2O_3 and $NiFe/Al_2O_3$ for the oxidative dehydrogenation (ODH) of ethane to ethylene assisted by CO_2," Chem. Eng. J. Adv., vol. 12, Nov. 2022, Art. no. 100404, doi: 10.1016/j.ceja.2022.100404.

[5] F. Cavani, N. Ballarini, and A. Cericola, "Oxidative dehydrogenation of ethane and propane: How far from commercial implementation?," Catal. Today, vol. 127, no. 1–4, pp. 113–131, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.cattod.2007.05.009.

[6] A. Talati, M. Haghighi, and F. Rahmani, "Oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene by carbon dioxide over Cr/TiO_2–ZrO_2 nanocatalyst: Effect of active phase and support composition on catalytic properties and performance," Adv. Powder Technol., vol. 27, no. 4, pp. 1195–1206, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.apt.2016.04.003.

[7] L. Čapek, L. Vaněk, L. Smoláková, R. Bulánek, and J. Adam, "The feasibility of Ni-alumina catalysts in oxidative dehydrogenation of ethane," Collect. Czech. Chem. Commun., vol. 73, no. 8–9, pp. 1177–1191, 2008, doi: 10.1135/cccc20081177.

[8] F. Cancino-Trejo et al., "Catalytic behavior of Ni, Ga, and O on Ni-Ga oxide based catalysts during the oxidative dehydrogenation of ethane with CO_2," Top. Catal., vol. 68, no. 14–15, pp. 1701–1724, Sep. 2025, doi: 10.1007/s11244-025-02096-x.

[9] S. Wei, C. Wang, L. Zhou, X. Zhang, Z. Zhou, and X. Liu, "Zr-modified γ-Al_2O_3 supported CrO_x catalyst for CO_2 assisted ethane dehydrogenation," Fuel, vol. 382, pt. A, Feb. 2025, Art. no. 133770, doi: 10.1016/j.fuel.2024.133770.

[10] X. Sun, Y. Li, K. Tang, J. Wang, Z. Sui, and X. Xu, "Promotional effect and mechanism of SiO_2 on Cr-Al_2O_3 catalysts for N_2O-assisted oxidative dehydrogenation of ethylbenzene," J. Environ. Chem. Eng., vol. 12, no. 2, Apr. 2024, Art. no. 112454, doi: 10.1016/j.jece.2024.112454.

[11] S. Wang, K. Murata, T. Hayakawa, S. Hamakawa, and K. Suzuki, "Dehydrogenation of ethane with carbon dioxide over supported chromium oxide catalysts," Appl. Catal. A, Gen., vol. 196, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2000, doi: 10.1016/S0926-860X(99)00450-0.

[12] R. Singh, S. C. Nayak, R. Singh, and G. Deo, "O_2 and CO_2 assisted oxidative dehydrogenation of propane using ZrO_2 supported vanadium and chromium oxide catalysts," Catal. Today, vol. 432, Apr. 2024, Art. no. 114617, doi: 10.1016/j.cattod.2024.114617.

[13] E. Asghari, M. Haghighi, and F. Rahmani, "CO_2 oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene over Cr/MCM-41 nanocatalyst synthesized via hydrothermal/impregnation methods: Influence of chromium content on catalytic properties and performance," J. Mol. Catal. A, Chem., vols. 418–419, pp. 115–124, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.molcata.2016.03.033.

[14] S. A. Theofanidis, C. Loizidis, E. Heracleous, and A. A. Lemonidou, "CO_2-oxidative ethane dehydrogenation over highly efficient carbon-resistant Fe-catalysts," J. Catal., vol. 388, pp. 52–65, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jcat.2020.05.004.

[15] A. A. H. Elbadawi, M. S. Ba-Shammakh, S. Al-Ghamdi, S. A. Razzak, and M. M. Hossain, "Reduction kinetics and catalytic activity of VO_x/γ-Al_2O_3-ZrO_2 for gas phase oxygen free ODH of ethane," Chem. Eng. J., vol. 284, pp. 448–457, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.cej.2015.08.048.

[16] E. Ortiz-Islas, T. López, J. Navarrete, X. Bokhimi, and R. Gómez, "High selectivity to isopropyl ether over sulfated titania in the isopropanol decomposition," J. Mol. Catal. A, Chem., vol. 228, no. 1–2, pp. 345–350, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.molcata.2004.09.029.

[17] A. Qiao, V. N. Kalevaru, J. Radnik, and A. Martin, "Oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene over Ni–Nb–M–O catalysts: Effect of promoter metal and CO_2-admixture on the performance," Catal. Today, vol. 264, pp. 144–151, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.cattod.2015.08.043.

[18] M. H. Jeong, J. Sun, G. Y. Han, D. H. Lee, and J. W. Bae, "Successive reduction-oxidation activity of FeO_x/TiO_2 for dehydrogenation of ethane and subsequent CO_2 activation," Appl. Catal. B, Environ., vol. 270, Aug. 2020, Art. no. 118887, doi: 10.1016/j.apcatb.2020.118887.

[19] D. A. H. Hanaor and C. C. Sorrell, "Review of the anatase to rutile phase transformation," J. Mater. Sci., vol. 46, no. 4, pp. 855–874, Feb. 2011, doi: 10.1007/s10853-010-5113-0.

[20] D. Mukherjee, S.-E. Park, and B. M. Reddy, "CO_2 as a soft oxidant for oxidative dehydrogenation reaction: An eco benign process for industry," J. CO_2 Util., vol. 16, pp. 301–312, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.jcou.2016.08.005.

[21] M. E. Manríquez, T. López, R. Gómez, and J. Navarrete, "Preparation of TiO_2–ZrO_2 mixed oxides with controlled acid–basic properties," J. Mol. Catal. A, Chem., vol. 220, no. 2, pp. 229–237, Oct. 2004, doi: 10.1016/j.molcata.2004.06.003.

ISSN: 3122-4709

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Evaluación de tres métodos de extracción de carotenoides en maíces nativos de Oaxaca

Evaluation of three carotenoid extraction methods in native maize from Oaxaca

Williams Sánchez Velasco[1], Fernando Pérez Mendoza[2], Carlos Francisco Varapizuela Sánchez[3*], Marco Antonio Sánchez Medina[4].

Resumen—México cuenta con una gran diversidad de maíces nativos, esta variación es producto de la adaptación de los maíces a distintos ambientes biofísicos. Dentro de las variedades de maíz se encuentran los maíces pigmentados, los cuales presentan tonalidades desde amarillo, rojo, azul, morado, blanco, etc. Los maíces amarillos deben su color a la presencia de carotenoides, moléculas con propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas. Por lo anterior, el objetivo de este proyecto fue evaluar tres métodos de extracción de carotenoides de maíces nativos de las razas Olotón y Arrocillo, utilizando diferentes solventes de extracción con la finalidad de identificar el método con mejor eficiencia de extracción. Se obtuvieron concentraciones de carotenos similares a las reportadas en la literatura, y se encontró que el método de extracción más eficiente fue el que utiliza cloroformo como solvente.

Palabras clave—Carotenos, extracción, maíz, nativos.

Abstract—Mexico has a wide diversity of native maize races, resulting from their adaptation to different biophysical environments. Among these, pigmented maize exhibits colors ranging from yellow, red, blue, and purple to white. Yellow maize owes its color to the presence of carotenoids, molecules with antioxidant, antimicrobial, and antifungal properties. Therefore, the objective of this study was to evaluate three methods for extracting carotenoids from native maize of the Olotón and Arrocillo races, using different extraction solvents to identify the method with the highest extraction efficiency. The carotene concentrations obtained were similar to those reported in the literature, and the most efficient extraction method was the one using chloroform as the solvent.

Keywords—Carotenes, corn, extraction, natives.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz forma parte del patrimonio cultural y alimentario del pueblo mexicano. Para las comunidades originarias, su visión del mundo favorece la realización de múltiples festividades en torno a esta planta. Este grano representa un valioso legado de las civilizaciones mesoamericanas, que durante miles de años domesticaron al teocintle, su ancestro silvestre, y desarrollaron la gran diversidad de maíces que actualmente conocemos y consumimos. Mantener esa diversidad de semillas nativas es uno de los compromisos principales para conservar nuestro patrimonio biocultural [1]. En las frutas y vegetales, el color se debe principalmente a la participación de tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son responsables de la coloración verde, roja-amarilla y azul-violeta, respectivamente [2].

Los carotenoides son pigmentos ampliamente presentes en la naturaleza y desempeñan múltiples funciones que les otorgan un carácter especial. Por ello, se les considera esenciales para la vida, principalmente por el papel que cumplen en diversos procesos vinculados con la fotosíntesis tal como se entiende actualmente. Durante muchos años, la importancia nutricional de los carotenoides se debió a que algunos poseen actividad provitamínica A en el organismo humano [3]. En los últimos años, el interés por estos isoprenoides se ha incrementado debido a una gran variedad de estudios que sugieren actúan como antioxidantes y que podrían ser beneficiosos para la prevención de diversas enfermedades crónicas humanas no transmisibles; sin embargo, existe todavía cierta controversia al respecto [4].

El maíz presenta una amplia diversidad en cuanto a formas, tamaños y colores. Considerando esta variedad, en el presente proyecto se estudiaron maíces amarillos pertenecientes a las razas Olotón y Arrocillo, con el

[1] Departamento de Ingeniería Química, TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, na.53.oax@gmail.com
[2]DIQ, TecNM/ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.
[3]DIQ, TecNM/ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-3803-8886, carlos.varapizuela@itoaxaca.edu.mx (*Autor de correspondencia)
[4]DIQ, TecNM/ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-1411-5955, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx

Recepción: 03/05/2025 | Aceptación: 05/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

propósito de comparar tres métodos de extracción de carotenoides y determinar cuál de ellos ofrece una mayor eficiencia.

II. METODOLOGÍA

Dos razas de maíces nativos del estado de Oaxaca fueron analizadas: Arrocillo y Olotón, seleccionadas por su característico color amarillo. Todos los ensayos fueron realizados por triplicado. Los granos de maíz fueron molidos, homogenizados y posteriormente tamizados en una malla de 500 micras. Los análisis de humedad, proteína, ceniza, grasa y fibra se realizaron de acuerdo con los procedimientos estándar establecidos por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) [5].

Para las pruebas de extracción de carotenoides, se probaron tres métodos empleando distintos solventes, entre ellos acetona y cloroformo.

Método 1: Se utilizó el método reportado en [6]. En tubos para centrifugación se pesaron 1.5 g de muestra y se adicionaron 20 mL de acetona al 80 %, centrifugando a 4500 rpm durante 10 minutos. Se extrajo el sobrenadante y se almacenó a temperatura de refrigeración hasta su uso.

Método 2: En un cartucho de papel filtro se pesaron 5 g de harina, se colocó en un equipo de Soxhlet y se adicionaron 300 mL de cloroformo. Se estandarizó la extracción a 11 reflujos (11 etapas) y se recuperó el solvente de extracción. El extracto obtenido se diluyó 1:10 en tubos de ensayo y se almacenó en refrigeración hasta su uso [4].

Método 3: En un matraz de 2 litros se agregaron 100 g de muestra y se adicionó 1 litro de cloroformo; posteriormente, la mezcla se agitó durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se filtró para eliminar impurezas y se concentró en evaporador rotatorio a 58 ± 2 °C. El extracto obtenido se diluyó 1:10 y se almacenó a temperatura de refrigeración hasta su uso. La cuantificación de los extractos se realizó en un espectrofotómetro SPECTRONIC 20D+ a diferentes longitudes de onda de 460, 647 y 664 nm, y se utilizaron las ecuaciones (1) y (2) reportadas en [6].

III. RESULTADOS

En la Tabla I se muestran los resultados del análisis proximal, expresados en porcentaje, de las razas de maíz Olotón y Arrocillo, debido a que el maíz tiene en su mayoría un contenido considerable de almidón se observa la riqueza de estos granos en carbohidratos.

Tabla I. Resultados del análisis bromatológico de muestras de maíz

Análisis	Olotón	Arrocillo	Urango [7]
Humedad	11.38 %	12.68 %	11.6-20 %
Ceniza	5.89 %	1.33 %	2.95-10 %
Proteína	8.12 %	9.69 %	4.5-9.87 %
Lípidos	3.21 %	2.62 %	2.17-4.43 %
Fibra	4.78 %	3.57 %	10-26.77 %
Carbohidratos	66.6 %	70.08 %	44.8-69.6 %

Se realizó la extracción de carotenoides en las dos muestras de maíces nativos. Cada extracción fue realizada tres veces para ambas razas. Considerando la cantidad de muestra utilizada, el tipo de solvente y el tiempo de extracción, el método 2 fue el que mostró mayor eficiencia (Tabla II).

Tabla II. Resultados de concentración ocupando los diferentes métodos de extracción (mg/Kg)

Método	Olotón	Arrocillo
1 Acetona	1.1373 ±0.26	0.5924±0.076
2 Soxhlet	5.4361±2.1365	2.5368±1.6343
3 Agitación	0.4505±0.07	0.4751±0.1041

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del análisis proximal (Tabla I) presentan valores que se consideran dentro de los rangos esperados para maíces nativos, aunque con diferencias respecto de lo reportado por Urango [7]. Los contenidos de humedad fueron de 11.38 % y 12.68 % para el maíz Olotón y Arrocillo respectivamente. Estos datos se encuentran dentro del intervalo reportado por Urango (11.6–20 %), aunque, como se observa, Olotón está ligeramente por debajo del límite inferior. Esto puede deberse a diferencias en el proceso de secado y de almacenamiento [7].

En cuanto a las cenizas, la muestra de maíz Olotón tuvo un valor de 5.89 %, valor que se encuentra dentro del intervalo reportado por Urango [7] (2.95–10 %), por lo que se puede inferir que posee una adecuada concentración de minerales, este valor es más alto que el 1.33 % obtenido para el maíz Arrocillo, esta diferencia se puede atribuir a las condiciones del suelo de cultivo de las muestras analizadas [7].

El contenido de proteínas fue de 9.69 % para Arrocillo y 8.12 % para Olotón, estos datos están dentro del rango reportado en [7] (4.5-9.87 %), destacando que

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

la muestra de Arrocillo se acerca al límite superior. Este valor puede hacer atractiva a esta muestra para la alimentación tanto humana como animal.

Los lípidos tuvieron valores de 3.21 % para Olotón y 2.62 % para Arrocillo, ambos se encuentran dentro de los valores de referencia (2.17–4.43 %). Esta diferencia puede asociarse a factores propios de la raza de maíz y a la composición del endospermo del grano [7].

El contenido de fibra fue de 4.78 % para Olotón y 3.57 % para Arrocillo, ambos valores son considerablemente bajos con respecto al rango reportado por [7] (10–26.77 %). Esta diferencia se puede atribuir al método de análisis empleado, a la madurez del grano o a la raza de maíz [6].

El contenido de carbohidratos del maíz Olotón (66,6 %) se encuentra en el rango reportado por [7] (44.8–69.6 %), por otro lado, Arrocillo supera ligeramente el límite superior (70.08 %) [7].

Los resultados de la Tabla II muestran diferencias en la concentración de carotenoides obtenidos mediante los tres métodos de extracción utilizados para las razas de maíz Olotón y Arrocillo. Para la raza Olotón, el método Soxhlet alcanzó una concentración de 5.4361 µg/g, este valor fue superior a los valores obtenidos con acetona (1.1373 µg/g) y agitación (0.4505 µg/g). Con respecto a la raza Arrocillo, Soxhlet obtuvo 2.5368 µg/g, mientras que la extracción con acetona y agitación mostraron valores menores de 0.5924 µg/g y 0.4751 µg/g respectivamente. Estos resultados sugieren que la extracción continua con calentamiento que emplea el método Soxhlet favorece mayor recuperación de carotenoides, lo cual puede deberse a una mejor penetración del solvente y una extracción más eficiente de compuestos lipofílicos presentes en el grano del maíz. Trabajos previos reportan que el uso de solventes orgánicos en sistemas continuos, como Soxhlet permiten obtener mayores concentraciones de carotenoides debido al reciclaje constante del solvente [8].

Al realizar la comparación entre variedades, Olotón presentó mayores concentraciones de carotenoides en los tres métodos evaluados, lo cual se puede atribuir a diferencias genéticas entre las razas, ya que algunas variedades nativas poseen mayor acumulación natural de pigmentos carotenoides en el endospermo [9]. La diferencia es especialmente notable en Soxhlet, donde Olotón prácticamente duplicó la concentración obtenida en Arrocillo.

El análisis proximal de las muestras de maíz Olotón y Arrocillo arrojó valores semejantes a los reportados previamente en la literatura. Por otro lado, el método Soxhlet puede considerarse el método más adecuado para la extracción de carotenoides en las variedades de maíz evaluadas, debido a que produjo las mayores concentraciones de carotenoides totales en ambas muestras.

REFERENCIAS

[1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales and Secretaría de Educación Pública, *Día Nacional del Maíz*, 1st ed. Ciudad de México, México: SEMARNAT/SEP, 2021. [En línea]. Disponible: https://educacionambiental.sep.gob.mx/storage/recursos/dias_ambientales/apOSRJNDCh-1-DIA-NACIONAL-MAIZ-FINAL.pdf

[2] M. I. Mínguez Mosquera, A. Pérez Gálvez, and D. Hornero Méndez, "Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples 'colorantes' naturales," *CTC Alimentación*, no. 26, pp. 108–113, Dec. 2005.

[3] B. Beltrán, R. Estévez, C. Cuadrado, S. Jiménez, and B. Olmedilla Alonso, "Base de datos de carotenoides para valoración de la ingesta dietética de carotenos, xantofilas y de vitamina A; utilización en un estudio comparativo del estado nutricional en vitamina A de adultos jóvenes," *Nutr. Hosp.*, vol. 27, no. 4, pp. 1334–1343, Jul./Aug. 2012, doi: 10.3305/nh.2012.27.4.5886.

[4] A. J. Meléndez-Martínez, I. M. Vicario, and F. J. Heredia, "Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas," *Arch. Latinoam. Nutr.*, vol. 57, no. 2, pp. 109–117, Jun. 2007, doi: 10.37527/2007.57.2.001.

[5] W. Horwitz, Ed., *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International, 2005.

[6] S. Pădureţ, S. Amariei, G. Gutt, and B. Piscuc, "The evaluation of dandelion (*Taraxacum officinale*) properties as a valuable food ingredient," *Rom. Biotechnol. Lett.*, vol. 21, no. 3, pp. 11569–11575, May/Jun. 2016.

[7] L. A. Urango M., "Componentes del maíz en la nutrición humana," in *Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México*, G. M. Hoyos Gómez, Ed. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Biogénesis, Universidad de Antioquia, 2018, ch. 9, pp. 185–209.

[8] R. K. Saini and Y.-S. Keum, "Carotenoid extraction methods: A review of recent developments," *Food Chem.*, vol. 240, pp. 90–103, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.099.

[9] Y. Salinas Moreno, S. Saavedra Arellano, J. Soria Ruíz, and E. Espinosa Trujillo, "Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México," *Agric. Téc. Méx.*, vol. 34, no. 3, pp. 357–364, Jul.–Sep. 2008.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Extracción de un colorante natural del hongo *Pisolithus arhizus*

Extraction of a natural dye from the fungus *Pisolithus arhizus*

Eder Esaú Hernández Ramírez [1], Yesenia Aragón López [2], Baleria María Hernández Chávez [3], Alma Dolores Pérez Santiago [4*]

Resumen—El empleo de pigmentos naturales en la industria textil ha generado un interés creciente en los últimos años, motivado por la preocupación continua sobre la sostenibilidad ambiental y la salud humana. Los pigmentos derivados de fuentes naturales, tales como plantas y hongos, constituyen una opción válida frente a los colorantes artificiales. El objetivo de esta investigación fue extraer un pigmento natural de cuerpos fructíferos del hongo *Pisolithus arhizus* y evaluar su solubilidad y capacidad de fijación en telas de algodón. Se empleó la técnica de extracción sólido-líquido con el equipo Soxhlet, seguida de un proceso de secado hasta obtener un pigmento concentrado en forma de polvo fino y seco, el cual presentó alta solubilidad en etanol, metanol, alcohol isopropílico, ácido acético, agua destilada e hidróxido de sodio. Los pigmentos de hongos representan una fuente prometedora para su aplicación en textilería y alimentos.

Palabras clave—Biopigmento, Biotecnología, Metabolitos, Colorantes.

Abstract— The use of natural pigments in the textile industry has attracted increasing interest in recent years, driven by growing concerns regarding environmental sustainability and human health. Pigments derived from natural sources, such as plants and fungi, constitute a valid alternative to artificial dyes. The objective of this study was to extract a natural pigment from fruiting bodies of the fungus *Pisolithus arhizus* and to evaluate its solubility and fixation capacity on cotton fabrics. Solid–liquid extraction was performed using a Soxhlet apparatus, followed by a drying process to obtain a concentrated pigment as a fine, dry powder, which exhibited high solubility in ethanol, methanol, isopropyl alcohol, acetic acid, distilled water, and sodium hydroxide. Fungal pigments represent a promising source for applications in textiles and food products.

Keywords—Biopigment, Biotechnology, Metabolites, Dyes.

I. INTRODUCCIÓN

Los pigmentos sintéticos son ampliamente utilizados en industrias como la textil, alimentaria y plástica, siendo el sector textil uno de los principales consumidores. No obstante, tanto su producción como su uso representan riesgos para la salud humana, ya que pueden ocasionar reacciones alérgicas y enfermedades dermatológicas. Además, la exposición constante a los compuestos tóxicos empleados durante su elaboración y fabricación afecta directamente a los trabajadores, debido a que estas sustancias pueden ser inhaladas o absorbidas a través de la piel [1]. Por otra parte, los pigmentos sintéticos generan un impacto ambiental significativo debido a su elevada toxicidad, persistencia y difícil degradación. Algunos colorantes contienen metales pesados, como plomo, cadmio, cromo, aluminio y hierro, utilizados en mordientes, fijadores y agentes dispersantes. En consecuencia, los residuos industriales y las aguas residuales derivadas de estos procesos contribuyen de manera importante a la contaminación de los cuerpos de agua [2].

En la búsqueda de alternativas para la obtención de colorantes, los hongos silvestres figuran como fuentes con alto potencial para la obtención de pigmentos de origen biológico (biopigmentos), lo que podría representar una solución segura y ecológica. Los pigmentos producidos por el hongo *Pisolithus arhizus* emergen como una de las opciones más viables para la obtención de colorantes, ya que los hongos tienen gran potencial biotecnológico utilizado en la producción y extracción de metabolitos. Esta especie fúngica, conocida por su capacidad para generar pigmentos naturales en tonos cafés y ocres, ofrece una alternativa que podría reducir riesgos para la salud humana y contrarrestar el impacto ambiental generado por el uso de pigmentos sintéticos. La producción biotecnológica y el uso de colorantes fúngicos podrían ser una solución clave para alinear las tendencias de sostenibilidad en la industria textil, así como reducir el efecto negativo en la salud. Datos cuantitativos y cualitativos apoyan la viabilidad de utilizar este hongo como fuente de colorantes naturales en la industria textil.

[1] Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca, 0009-0000-0172-6960, ederhernandez0910@gmail.com
[2] División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0009-0000-3633-4406, yesaragon12@gmail.com
[3] División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-2020-7741, baleria.hdez@hotmail.com
[4]División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM / ITO, Oaxaca, 0000-0002-4410-7307, aperez_santiago@hotmail.com (*autor de correspondencia)

Recepción: 24/03/2025 | Aceptación: 01/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

II. METODOLOGÍA

Los cuerpos fructíferos de *P. arhizus* fueron recolectados en la comunidad de Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, en el periodo agosto-diciembre de 2024. Para la extracción de pigmentos se empleó la técnica de extracción sólido-líquido por Soxhlet. Se utilizaron 5 g de hongo fresco y 180 mL de etanol como solvente.

El proceso de extracción se realizó durante 12 h, con 10 ciclos de reflujo. Posteriormente, el extracto se secó a 200 °C para eliminar el solvente residual, obteniendo 0.2 gramos de pigmento en polvo (4 % de rendimiento). Para las pruebas de solubilidad se hicieron disoluciones con 0.002 g de *P. arhizus* y 200 µL de diferentes solventes como etanol, metanol, ácido clorhídrico, agua destilada, hidróxido de sodio, entre otros. También se realizaron pruebas de color y fijación sobre diferentes tipos de telas.

III. RESULTADOS

El hongo recolectado es una especie fúngica ectomicorrícica de color amarillento (Fig. 1(a)). La parte interna está formada y dividida por celdillas en su etapa joven, el peridio es de color ocre pálido a negro marrón, en su etapa de madurez se cubre de esporas (Fig. 1(b)); estas esporas son de forma esférica y tienen una superficie cubierta de espinas largas y piramidales.



Fig. 1. a) Comestible en estadios juveniles; b) Esporas en forma esférica y tienen una superficie cubierta de espinas largas y piramidales.

Las pruebas de solubilidad mostraron que el pigmento analizado es soluble en agua destilada, metanol, etanol, alcohol isopropílico, hidróxido de sodio y ácido acético (Tabla I).

Tabla I. Resultado de solubilidad del pigmento

Solvente	Fórmula Química	Solubilidad
Metanol	CH_3OH	Soluble
Etanol	C_2H_5OH	Soluble
Alcohol isopropílico	C_3H_7OH	Soluble
Alcohol isobutílico	C_4H_9OH	No soluble
Alcohol perbútílico	C_4H_9OH	No soluble
Acetona	CH_3COCH_3	Medianamente soluble
Cloroformo	$CHCl_3$	No soluble
Hexano	C_6H_{14}	No soluble
Éter de petróleo	C_6H_{14} a $C_{12}H_{26}$	Ligeramente soluble
Acetato de etilo	$CH_3COOCH_2CH_3$	Ligeramente soluble
Ácido acético	CH_3COOH	Soluble
Agua destilada	H_2O	Soluble
Benceno	C_6H_6	No soluble
Hidróxido de sodio	NaOH	Soluble
Ácido clorhídrico	HCl	No soluble

Las pruebas de tinción realizadas demostraron que el pigmento es efectivo para teñir fibras de algodón, considerando la gama de tonalidades como el que presenta *P. arhizus* a partir de disoluciones partiendo del pigmento concentrado (Fig. 2).

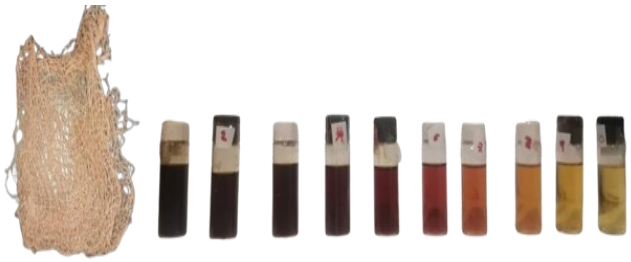


Fig. 2. Fijación del colorante: Tinción en gasa de algodón y disoluciones del pigmento en agua.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Pisolithus arhizus produce pigmentos en todo su cuerpo fructífero, al igual que otras especies fúngicas, como *Pycnoporus sanguineus*, reconocida por sintetizar cinabarina, un pigmento de tonalidad anaranjada [3]. El pigmento obtenido de *P. arhizus* presenta una elevada solubilidad en disolventes de uso frecuente en la industria textil. Asimismo, se han realizado pruebas de tonalidad con hongos silvestres como *Chlorophyllum molybdites, Earliella scabrosa, Ganoderma lucidum, Phellinus robustus y Pycnoporus sanguineus* sobre fibras de origen animal y vegetal, obteniéndose mayores

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

intensidades de color en las fibras animales tras modificaciones de pH y procesos de lavado [4].

Debido a la amplia biodiversidad fúngica, existe la posibilidad de sintetizar diversos pigmentos a partir de hongos, considerando la biosíntesis de estos compuestos mediante rutas metabólicas como la síntesis de policétidos, la ruta del shikimato, la síntesis de terpenoides y otras vías que incorporan nitrógeno [5]. Esto permite obtener pigmentos de manera sostenible y clasificarlos según su origen y estructura química, como antocianinas, betalaínas, carotenoides y flavonoides. En consecuencia, los pigmentos fúngicos representan una alternativa viable frente a los pigmentos sintéticos, algunos de los cuales presentan alta toxicidad y generan impactos negativos en el medio ambiente [6].

Este estudio abre nuevas posibilidades para futuras investigaciones orientadas a optimizar el proceso de extracción de pigmentos fúngicos y su aplicación como colorantes naturales en textiles. Los pigmentos derivados de hongos presentan una capacidad de fijación sobre fibras textiles que podría compararse a la de los colorantes sintéticos, debido a que están compuestos por carotenoides, melaninas, flavinas, fenazinas, quinonas, monascinas, violaceína e índigo [5]-[8], lo que evidencia su potencial uso en la industria textil.

Para las pruebas de tinción, se realizaron ensayos preliminares que mostraron una buena fijación sobre gasa de algodón, tanto en intensidad de color como en adhesión a la tela. Además, el pigmento obtenido presenta un rendimiento aceptable y puede recuperarse en forma de un polvo fino y seco.

REFERENCIAS

[1] L. Hernández-Baltazar, U. Santos-Vázquez, S. G. Martínez-García, J. Arias-Rico, N. Santos-Villegas, and R. M. Baltazar-Téllez, "Riesgos a la salud en los trabajadores por exposición a pinturas," *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, vol. 12, no. 23, pp. 94–100, Dec. 2023, doi: 10.29057/icsa.v12i23.10836.

[2] J. Sharma, S. Sharma, and V. Soni, "Classification and impact of synthetic textile dyes on aquatic flora: A review," *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 45, Jun. 2021, Art. no. 101802, doi: 10.1016/j.rsma.2021.101802.

[3] Y. M. Toledo Loaiza, "Determinación de la incidencia de los factores pH y medio de cultivo en la obtención del pigmento (cinabarina) a partir del hongo *Pycnoporus sanguineus*," trabajo de titulación, Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, Univ. Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, Abril. 2021. [En línea]. Disponible: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20375

[4] S. D. Carreño Ruíz, S. Cappello García, M. A. García-García, and P. I. Xicoténcatl Maldonado, "Potencial tintóreo de cinco especies de macromycetes silvestres nativos de Tabasco, México, sobre fibras de origen natural," *Sci. Fungorum*, vol. 52, Sep. 2021, Art. no. e1404, doi: 10.33885/sf.2021.52.1404.

[5] L. Lin and J. Xu, "Fungal pigments and their roles associated with human health," *J. Fungi*, vol. 6, no. 4, Dec. 2020, Art. no. 280, doi: 10.3390/jof6040280.

[6] A. Negi, "Natural dyes and pigments: Sustainable applications and future scope," *Sustain. Chem.*, vol. 6, no. 3, Aug. 2025, Art. no. 23, doi: 10.3390/suschem6030023.

[7] C. K. Venil, P. Velmurugan, L. Dufossé, P. Renuka Devi, and A. Veera Ravi, "Fungal pigments: Potential coloring compounds for wide ranging applications in textile dyeing," *J. Fungi*, vol. 6, no. 2, Jun. 2020, Art. no. 68, doi: 10.3390/jof6020068.

[8] M. Afroz Toma, M. H. Rahman, M. S. Rahman, M. Arif, K. H. M. N. H. Nazir, and L. Dufossé, "Fungal pigments: Carotenoids, riboflavin, and polyketides with diverse applications," *J. Fungi*, vol. 9, no. 4, Apr. 2023, Art. no. 454, doi: 10.3390/jof9040454.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Biosensor electroquímico basado en NTCPM-Con A para la cuantificación de glucosa

Electrochemical biosensor based on MWCNT-con A for glucose quantification

Aarón David Salinas Cruz [1], Alma Dolores Pérez Santiago [2]*, Luis Humberto Robledo Taboada [3]

Resumen—La cronopotenciometría permite la cuantificación de analitos mediante la medición del potencial generado por efecto de una corriente eléctrica. Para ello, se pueden emplear nanomateriales cuyas propiedades físicas incrementen la señal de respuesta y que, además, permitan la incorporación de biomoléculas que funjan como elementos de reconocimiento biológico, un ejemplo de ello son los nanotubos de carbono. El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la concentración de glucosa mediante un biosensor electroquímico basado en nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) conjugados con la lectina concanavalina A (Con A). Para ello, se realizó la funcionalización de NTCPM-Con A, empleando una suspensión de nanopartículas en PBS a pH 7.2, y una solución de lectina a 1 mg/mL. La mezcla se agitó y se mantuvo a 4 °C durante 24 h; posteriormente, el bioconjugado se centrifugó a 10,000 rpm y se lavó con PBS. Se comprobó la actividad de la lectina del bioconjugado y posteriormente, se caracterizó mediante cronopotenciometría a corriente constante, generando curvas de calibración de glucosa en PBS a pH 7.2, con tres concentraciones diferentes. Se pudo detectar la interacción lectina-carbohidrato entre el bioconjugado NTCPM-Con A y la glucosa en un rango de 0–50 mM, obteniendo un modelo de ajuste exponencial.

Palabras clave—Biosensor electroquímico, interacción lectina-carbohidrato, lectinas, nanotubos de carbono.

Abstract— Chronopotentiometry enables the quantification of analytes by measuring the potential generated by the application of an electric current. For this purpose, nanomaterials can be employed whose physical properties enhance the response signal and also allow the incorporation of biomolecules that serve as biological recognition elements; carbon nanotubes are an example of such materials. The objective of this study was to quantify glucose concentration using an electrochemical biosensor based on multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) conjugated with the lectin concanavalin A (Con A). For this purpose, MWCNTs were functionalized with Con A using a nanoparticle suspension in PBS at pH 7.2 and a lectin solution at 1 mg/mL. The mixture was agitated and maintained at 4 °C for 24 h; subsequently, the bioconjugate was centrifuged at 10,000 rpm and washed with PBS. The lectin activity of the bioconjugate was confirmed, and the bioconjugate was subsequently characterized by constant-current chronopotentiometry by generating glucose calibration curves in PBS at pH 7.2 using three different glucose concentrations. The lectin–carbohydrate interaction between the MWCNTs–Con A bioconjugate and glucose was detected over a range of 0–50 mM, yielding an exponential fit model.

Keywords—Carbon nanotubes, electrochemical biosensor, lectins, lectin-carbohydrate interaction.

I. INTRODUCCIÓN

Los biosensores son capaces de transducir señales biológicas, permitiendo obtener información analítica como la concentración de un analito específico [1]. Recientemente, se han empleado nanomateriales para mejorar la transducción de señales en este tipo de dispositivos electroquímicos, por ejemplo, los nanotubos de carbono (NTC), los cuales son estructuras tubulares con propiedades importantes para diversas aplicaciones [2].

Los NTC pueden funcionalizarse con diferentes moléculas biológicas, con el propósito de generar materiales versátiles para el desarrollo de aplicaciones biomédicas como los biosensores [3]. Estos se construyen con moléculas que poseen sitios activos de reconocimiento específico, como las lectinas, cuya característica fundamental es reconocer carbohidratos de manera específica [4]. Aprovechando esta propiedad, un biosensor basado en lectinas permite la identificación y cuantificación de moléculas que posean azúcares estructuralmente expuestos, como las glicoproteínas, entre las que se encuentran marcadores tumorales de importancia biomédica [5]. Este tipo de reconocimiento lectina-carbohidrato puede ser caracterizado mediante métodos electroquímicos como la cronopotenciometría [6], [7].

[1] TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0009-0007-4911-7583, aaroncruz08@gmail.com
[2] TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0000-0002-4410-7307, alma.ps@itoaxaca.edu.mx (*Autor de correspondencia)
[3] TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0000-0003-0760-9508, luis.rt@itoaxaca.edu.mx

Recepción: 29/03/2025 | Aceptación: 25/06/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la concentración de glucosa empleando un biosensor electroquímico basado en nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) funcionalizados con la lectina Concanavalina A.

II. METODOLOGÍA

Se determinó la actividad específica de la Concanavalina A (Con A) (Sigma-Aldrich®) mediante pruebas de hemaglutinación en placa, empleando eritrocitos humanos tipo O y realizando ensayos de inhibición con glucosa. Posteriormente, se funcionalizaron los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) con Con A, empleando 150 µL de suspensión de NTCPM en PBS a pH 7.2 a una concentración de 25 µg/mL y 150 µL de solución de lectina a 1 mg/mL, agitando y manteniendo a 4 °C durante 24 h.

El bioconjugado se centrifugó a 10 000 rpm por 1 h, lavando repetidas veces con PBS, se evaluó mediante ensayos de hemaglutinación con eritrocitos tipo O para verificar la actividad de lectina presente en la superficie de los nanotubos de carbono. Se caracterizó el comportamiento electroquímico del bioconjugado NTCPM-Con A (BConA) empleando los siguientes controles: (-) 25 µL de suspensión de NTCPM puros, (-) 25 µL de NTCPM con 25 µL de solución de glucosa a 25 mM y (+) 25 µL del bioconjugado NTCPM-Con A con 25 µL de solución 25 mM de glucosa, incubados 1 h. La cuantificación de glucosa se realizó mediante cronopotenciometría a corriente constante (±2 µA) con 25 µL del bioconjugado NTCPM-Con A con 25 µL de solución de glucosa considerando tres concentraciones: 12.5, 25 y 50 mM. Las mediciones se realizaron con un potenciostato Origaflex OGF01A empleando un arreglo básico de tres electrodos: auxiliar (plata), trabajo y referencia (platino). Cada ensayo se realizó por duplicado, obteniendo el potencial óhmico correspondiente. Con estos datos se generó un modelo de ajuste exponencial que relaciona la concentración de glucosa con el potencial óhmico, utilizando el software OriginPro® 8 SR0 versión 8.0724.

III. RESULTADOS

La Fig. 1 muestra los cronopotenciogramas generados en la caracterización del bioconjugado NTCPM-Con A (BConA): (-) NTCPM puros (barrido 1), (-) NTCPM con glucosa (barrido 2) y (+) bioconjugado NTCPM-Con A en presencia de glucosa (barrido 3).

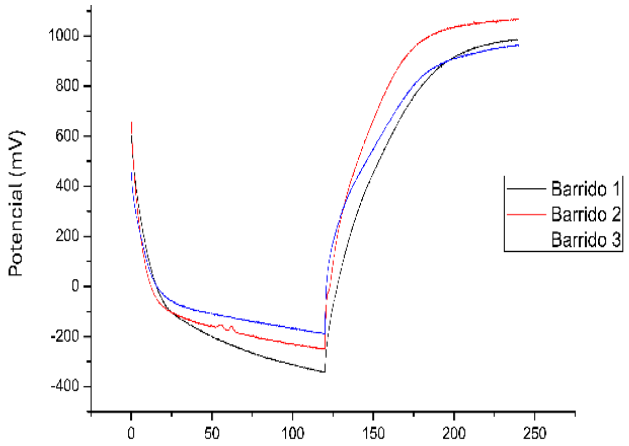


Fig. 1. Cronopotenciogramas del bioconjugado NTCPM-Con A.

En la Fig. 1 se aprecian diferencias en la forma de onda (waveform) generada por las distintas muestras caracterizadas. El bioconjugado NTCPM-Con A incubado con glucosa mostró el potencial óhmico más bajo en comparación con los NTCPM, la lectina presente en la superficie de los nanotubos de carbono en interacción con la glucosa disminuyó la resistividad del nanomaterial. En la Fig. 2 se presentan los cronopotenciogramas generados a partir de 25 µL de bioconjugado NTCPM-Con A incubado con tres concentraciones de glucosa (50, 25 y 12.5 mM). A partir de ello, se determinaron los parámetros electroquímicos, de los cuales se obtuvo el potencial óhmico de cada ensayo, determinando que la resistividad del material está inversamente relacionada con la concentración del azúcar en el electrolito, confirmando lo observado en la Fig. 1. En la Tabla I se muestra el tiempo de inflexión, punto de inflexión y el potencial óhmico de los tres ensayos realizados.

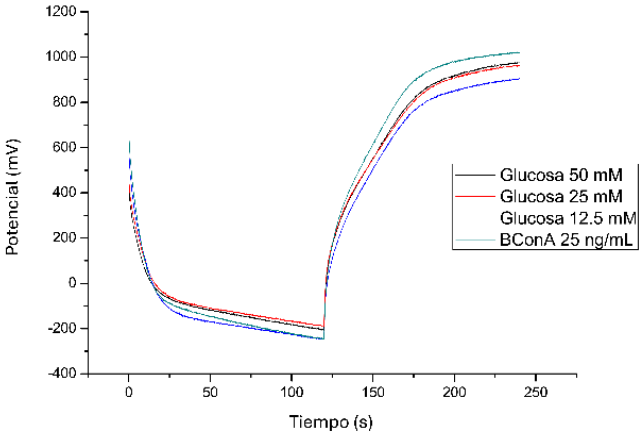


Fig. 2. Bioconjugado NTCPM-Con A en presencia de glucosa. Fuente. Elaboración propia.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

En la Tabla I se muestra el tiempo de inflexión, punto de inflexión y el potencial óhmico de los tres ensayos realizados, con esos datos se generó un modelo experimental exponencial (Fig. 3) que correlaciona la concentración de glucosa y el potencial óhmico. Derivado de ello, se obtuvo la ecuación (1) empleando la herramienta *nonlinear curve fit* del *software* OriginPro® 8 SR0 versión 8.0724.

Tabla I. Parámetros electroquímicos del ensayo de interacción

Concentración de glucosa (mM)	Tiempo de inflexión (s)	Punto de Inflexión (mV)	Potencial óhmico (|mV|)
0	182.200	929.929	1175.846
12.5	186.100	816.534	1061.086
25	187.400	869.360	1056.530
50	180.500	851.145	1055.620

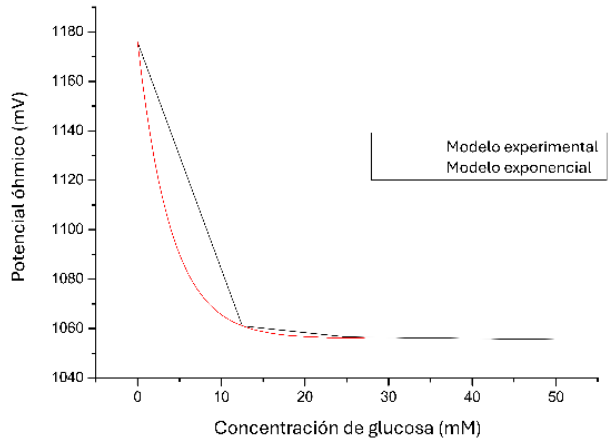


Fig. 3. Modelo experimental y ajuste exponencial.

$$y = 1055.94842 + 119.89703e^{-0.25153x} \quad (1)$$

El modelo de ajuste exponencial mostró una R^2 de 0.99993 con alto nivel de confiabilidad. La variable dependiente "y" representa el potencial óhmico en milivoltios y la variable independiente "x" representa la concentración milimolar de glucosa.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los métodos electroquímicos como la cronopotenciometría son empleados para el análisis de proteínas: sus características, sus funciones e interacciones con otras moléculas, como en el caso de las lectinas y carbohidratos [8]. El comportamiento de los cronopotenciogramas obtenidos a partir de la interacción entre NTCPM-Con A y la glucosa a diferentes concentraciones, atiende a un comportamiento similar previamente reportado en [6]. Ellos emplearon cronopotenciometría de redisolución (CPS) para distinguir los complejos formados entre la lectina de *Sambucus nigra* (SNA-1) y los trisacáridos α(2–6)–sialilactosa y α(2–3)–sialilactosa en medio acuoso. La clave para mejorar la diferenciación entre ambos azúcares por parte de SNA-1 y su posterior transducción de señal fue la adición de un osmolito no vinculante (manosa) que disminuyó las interacciones no específicas formadas entre los complejos y el medio acuoso. La elección del electrolito de prueba y la concentración del azúcar juegan un papel fundamental en el comportamiento de las proteínas.

El biosensor electroquímico basado en el bioconjugado NTCPM-Con A, el cual fungió como elemento de reconocimiento biológico, fue capaz de detectar la concentración de glucosa en un rango de 0–50 mM, al aplicar una corriente constante de ±2 μA. Derivado de ello, fue posible obtener un modelo de ajuste exponencial con alto nivel de confiabilidad que estima la concentración de glucosa en el electrolito con base en el potencial óhmico de respuesta.

REFERENCIAS

[1] V. E. Abrantes-Coutinho et al., "Systematic review on lectin-based electrochemical biosensors for clinically relevant carbohydrates and glycoconjugates," *Colloids Surf. B, Biointerfaces*, vol. 208, Dec. 2021, Art. no. 112148, doi: 10.1016/j.colsurfb.2021.112148.

[2] P. Malik, R. Gupta, V. Malik, and R. K. Ameta, "Emerging nanomaterials for improved biosensing," *Meas. Sens.*, vol. 16, Aug. 2021, Art. no. 100050, doi: 10.1016/j.measen.2021.100050.

[3] J. Mondal et al., "Carbon nanotube and its derived nanomaterials based high performance biosensing platform," *Biosensors*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, Art. no. 731, doi: 10.3390/bios12090731.

[4] H. Ideo, A. Tsuchida, and Y. Takada, "Lectin-based approaches to analyze the role of glycans and their clinical application in disease," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 25, no. 18, Sep. 2024, Art. no. 10231, doi: 10.3390/ijms251810231.

[5] D. Echeverri and J. Orozco, "Glycan-based electrochemical biosensors: Promising tools for the detection of infectious diseases and cancer biomarkers," *Molecules*, vol. 27, no. 23, Dec. 2022, Art. no. 8533, doi: 10.3390/molecules27238533.

[6] T. Galicová, S. Hasoň, and V. Ostatná, "Interaction of lectin *Sambucus nigra* with sialylated trisaccharides in the presence of osmolytes. Chronopotentiometric sensing," *Bioelectrochemistry*, vol. 152, Aug. 2023, Art. no. 108457, doi: 10.1016/j.bioelechem.2023.108457.

[7] T. N. L. Pham, S. H. Nguyen, and M. T. Tran, "A comprehensive review of transduction methods of lectin-based biosensors in biomedical applications," *Heliyon*, vol. 10, no. 19, 2024, Art. no. e38371, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e38371.

[8] J. Vacek, M. Zatloukalová, V. Dorčák, M. Cifra, Z. Futera, and V. Ostatná, "Electrochemistry in sensing of molecular interactions of proteins and their behavior in an electric field," *Microchim. Acta*, vol. 190, no. 11, Nov. 2023, Art. no. 442, doi: 10.1007/s00604-023-05999-2.

ISSN: 3122-4709

Diseño de un sustituto vegetal de carne a base de legumbres y cereales

Development of a plant-based meat substitute formulated from legumes and cereals

José Francisco García Chávez[1], Carlos Francisco Varapizuela Sánchez[2], Aymara Judith Díaz Barrita[3]*

Resumen—Esta investigación presenta el desarrollo de un sustituto vegetal de carne, formulado con una combinación de legumbres, cereales y setas, buscando ofrecer una alternativa nutricionalmente equilibrada y sostenible a la carne. El producto final, enriquecido con ajo y orégano como condimentos presentó un contenido proteico teórico de 22,78% estimado a partir de datos bibliográficos. Las evaluaciones sensoriales mostraron una buena aceptabilidad general (7.94/10), aunque se identificaron áreas de mejora en textura y aroma. Este sustituto vegetal se presenta como una alternativa alimentaria basada en ingredientes vegetales con adecuada aceptación sensorial y con una potencial aplicación en el desarrollo de productos análogos a la carne.

Palabras clave—Aminoácidos, conservadores naturales, proteína vegetal.

Abstract—This study presents the development of a plant-based meat substitute formulated with a combination of legumes, cereals, and mushrooms, aimed at providing a nutritionally balanced and sustainable alternative to meat. The final product, enriched with garlic and oregano as seasonings, showed a theoretical protein content of 22.78%, estimated from bibliographic data. Sensory evaluations showed good overall acceptability (7.94/10), although areas for improvement were identified in texture and aroma. This meat substitute represents a plant-based food alternative with adequate sensory acceptance and potential application in the development of meat-analogous products.

Keywords—Amino acids, natural preservatives, vegetable protein.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de carne representa un desafío ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso intensivo de recursos asociados a la industria ganadera [1], [2]. Ante esta situación, la presente investigación busca desarrollar un sustituto vegetal de carne con alto contenido proteico, formulado mediante complementación proteica.

Este producto combina diversas materias primas para obtener un perfil de aminoácidos completo, asegurando una alternativa nutricionalmente equilibrada. Además de replicar las propiedades de la carne, se plantea como una opción sostenible y accesible que contribuye a reducir la dependencia de la proteína animal y minimizar el impacto ambiental asociado a su producción.

II. METODOLOGÍA

Se realizaron dos formulaciones con una mezcla de legumbres y cereales (Tabla I), como arroz integral, lentejas, soya hidratada y setas. Todo se adquirió en centros comerciales. Durante la preparación, el arroz y las lentejas se sometieron a un lavado para posteriormente cocerse y triturarse, controlando la humedad; la soya se hidrató en agua hirviendo antes de mezclarse con las setas trituradas. La pasta semihúmeda se sometió a un proceso de secado a 60 °C por 2 h para mejorar la textura. Finalmente, se incorporaron ajo y orégano como condimentos, ingredientes reportados en la literatura por poseer compuestos con actividad antimicrobiana; sin embargo, dicha propiedad no fue evaluada en el presente estudio [3].

Las mezclas se conservaron en congelación hasta su uso. Las dos formulaciones fueron evaluadas sensorialmente mediante una prueba hedónica aplicada a 28 consumidores no entrenados. Cada participante evaluó ambas formulaciones, permitiendo comparar los atributos de color, aroma, textura, sabor y aceptación general para seleccionar la formulación con mayor aceptación. La evaluación se realizó utilizando una escala de 10 puntos, donde 1 correspondió a "me desagrada mucho" y 10 a "me agrada mucho". Asimismo, mediante búsqueda bibliográfica se elaboraron tablas nutrimentales con base en la composición de los

[1] TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, México.
[2] TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, México.
[3] TecNM/IT de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, México, 0009-0005-9548-2827, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx (*Autor de correspondencia)

Recepción: 28/03/2025 | Aceptación: 19/06/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

ingredientes utilizados en cada formulación.

Tabla I. Comparativa entre formulaciones

Formulación / componente	Aglutinante	Proteína vegetal			Conservadores (polvo)	
	Arroz (%)	Soya (%)	Lentejas (%)	Setas (%)	Ajo (%)	Orégano (%)
CAO1	35	30	25	10	0.4	0.4
CAO2	30	35	25	10	0.4	0.2

Nota. CAO: Carne con Ajo y Orégano, los conservadores se añadieron a la mezcla ya completa (100 %) en relación del porcentaje en peso.

III. RESULTADOS

La formulación mejor evaluada presentó 22.78 % de proteína bruta (Tabla II), estimado a partir de datos bibliográficos. El valor encontrado resulta superior a la proteína en pollo (17.85□0.4949) y menor a la de res (23.97□0.4949) [4]. La combinación de arroz (30 %), lentejas (25 %), soya (35 %) y setas (10 %) se seleccionó con el propósito de favorecer la complementariedad proteica entre cereales y leguminosas.

En las pruebas sensoriales, el producto obtuvo una calificación de 7.94/10 en aceptación general. Los atributos con menor puntuación fueron la textura (6.8/10) y el aroma (6.5/10), los cuales podrían estar relacionados con características de la misma formulación o del proceso de elaboración.

Tabla II. Contenido Nutricional

Tabla nutricional por 100 g de producto					
Nutriente	Arroz integral 30 %	Lentejas 25 %	Soya 35 %	Setas 10 %	Total
Energía (kcal)	108.6	82.25	121.8	3.2	315.85 kcal
Proteína bruta (g)	2.25	5.68	14.64	0.21	22.78 g
Carbohidratos (g)	22.85	14.13	13.59	0.54	51.11 g
Vitamina B1 (mg)	0.12	0.17	ND	0.02	0.31 mg
Vitamina B2 (mg)	0.01	0.047	ND	0.02	0.077 mg
Niacina (mg)	1.29	0.50	ND	0.36	2.15 mg
Ácido ascórbico (mg)	0.00	1.33	ND	0.30	1.63 mg
Vitamina B6 (mg)	0.15	0.14	ND	ND	0.29 mg

Nota. ND: Dato no disponible en las fuentes consultadas, los valores calculados para 100g de producto final, basado en la formulación: 30 % arroz integral, 25 % lentejas, 35 % soja, 10 % setas. Adaptado de [5]

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La formulación desarrollada obtuvo una aceptación sensorial favorable por parte de los evaluadores, alcanzando una calificación promedio de 7.94 en la evaluación hedónica. El atributo mejor valorado fue el color (7.72), mientras que el aroma (6.50) y la textura (6.80) presentaron las puntuaciones más bajas, identificándose como áreas de oportunidad para futuras mejoras de la formulación.

Los resultados obtenidos indican que la combinación de arroz integral, lentejas, soya y setas permitió desarrollar un producto con aceptación general positiva entre los consumidores no entrenados que participaron en la evaluación.

El consumo de productos que contienen proteína vegetal en reemplazo de la proteína animal tiene relación con diversos factores: edad, género y actitudes frente al ambiente y la ganadería, entre otros. Los obstáculos que presenta la aceptabilidad de los análogos de carne son: la falta de familiarización con este tipo de productos, el desconocimiento de sus usos a la hora de cocinar y la disconformidad con sus atributos sensoriales [6]. Por lo tanto, este sustituto vegetal representa una alternativa que puede ser enfocada a un público específico mejorando las áreas de oportunidad mostradas en la evaluación sensorial.

La formulación seleccionada presentó un contenido proteico teórico de 22.78 g por cada 100 g de producto, estimado a partir de tablas de composición de alimentos. La combinación de cereales y leguminosas fue planteada con el propósito de favorecer la complementariedad proteica reportada en la literatura; sin embargo, el perfil de aminoácidos no fue determinado en el presente estudio. Por ello, futuras investigaciones deberán incluir análisis bromatológicos y de composición aminoacídica que permitan validar experimentalmente la calidad nutricional de la formulación propuesta.

En conclusión, el sustituto vegetal desarrollado mostró una aceptación sensorial favorable y un contenido proteico teórico que sugiere potencial para su aplicación en el desarrollo de productos alimenticios de origen vegetal. No obstante, se requieren estudios complementarios de composición nutricional, propiedades fisicoquímicas y estabilidad microbiológica para caracterizar de manera integral el producto y validar su desempeño como alternativa alimentaria.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

REFERENCIAS

[1] P. J. Gerber et al., *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería: Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma, Italia: FAO, 2013. [En línea]. Disponible: https://www.fao.org/4/i3437s/i3437s.pdf

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Legumbres: Semillas nutritivas para un futuro sostenible*. Roma, Italia: FAO, 2016, doi: 10.4060/i5528s. [En línea]. Disponible: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c0125315-854e-40f5-8a25-8c52af036a13/content

[3] J. García-Díez et al., "Influence of food characteristics and food additives on the antimicrobial effect of garlic and oregano essential oils," *Foods*, vol. 6, no. 6, Jun. 2017, Art. no. 44, doi: 10.3390/foods6060044.

[4] M. León C., A. Orduz C., and M. Velandia C., "Composición fisicoquímica de la carne de ovejo, pollo, res y cerdo," *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 15, no. 2, pp. 62–75, Dec. 2017, doi: 10.24054/16927125.v2.n2.2017.2969.

[5] J. C. Morales de León, H. Bourges Rodríguez, and M. E. Camacho Parra, Eds., *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada 2015)*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, 2016. [En línea]. Disponible: https://www.incmnsz.mx/storage/app/media/fotosINCMNSZ/nutricion/CienciayTecnologia/TABLAS_ALIMENTOS.pdf

[6] A. R. H. Fischer, M. C. Onwezen, and M. van der Meer, "Consumer perceptions of different protein alternatives," in *Meat and Meat Replacements: An Interdisciplinary Assessment of Current Status and Future Directions*, H. L. Meiselman and J. M. Lorenzo, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead Publishing, 2023, ch. 13, pp. 333–362, doi: 10.1016/B978-0-323-85838-0.00005-5.

ISSN: 3122-4709

Identificación de hongos filamentosos en forraje de Reyes Etla, Oaxaca

Identification of filamentous fungi in forage from Reyes Etla, Oaxaca

Itzel Castro Baltazar[1], Marco Antonio Sánchez Medina[2]*, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez[3], Beatriz Guadalupe Villa Martínez[4]

Resumen—La identificación y el estudio de los hongos en el forraje de los rumiantes son de gran importancia para asegurar la calidad de los productos como la carne y los derivados de la leche. Por ello, el objetivo principal de este estudio fue identificar las diferentes cepas de hongos en el forraje de ganado vacuno de una granja ganadera en el Municipio de Reyes Etla, Oaxaca. La muestra de forraje recolectada fue sembrada mediante el método de dilución en placas de medio agar papa-dextrosa (PDA) e incubada durante un periodo aproximado de cinco días a 30 ± 1 °C. Los aislamientos fúngicos se realizaron de acuerdo a su morfología macroscópica, para posteriormente realizar la caracterización microscópica. Se lograron identificar tres diferentes cepas de hongos pertenecientes a los géneros de *Aspergillus* y *Penicillium*, estos resultados nos dan las bases necesarias para seguir recabando y poder correlacionar la información obtenida con los posibles riesgos sanitarios a los que pueden exponerse los habitantes del municipio de Reyes Etla, Oaxaca.

Palabras clave—*Aspergillus*, forraje, micotoxinas, *Penicillium*.

Abstract— The identification and study of fungi in ruminant forage are crucial for ensuring the quality of products such as meat and dairy. Therefore, the main objective of this study was to identify different fungal strains in cattle forage from a livestock farm in the municipality of Reyes Etla, Oaxaca. The collected forage sample was cultured using the dilution method on potato dextrose agar (PDA) plates and incubated for approximately five days at 30 ± 1 °C. Fungal isolates were obtained based on their shape and color, and subsequently observed under a microscope. Three different fungal strains belonging to the genera *Aspergillus* and *Penicillium* were identified. These results provide the necessary foundation for further research and for correlating the information obtained with the potential health risks to which the inhabitants of the municipality of Reyes Etla, Oaxaca, may be exposed.

Keywords—*Aspergillus*, forage, mycotoxins, *Penicillium*.

I. INTRODUCCIÓN

Algunos hongos filamentosos presentes en forrajes destinados al consumo de rumiantes pueden producir metabolitos tóxicos, llamados micotoxinas, los cuales, una vez ingeridos, tienen efectos sobre la salud animal y humana. Entre las principales toxinas que pueden contaminar materias primas para piensos se encuentran las aflatoxinas (AFs), deoxinivalenol (DON), fumonisinas (FBs), ocratoxina A (OTA), toxina T-2 y zearalenona (ZEN) [1], producidas principalmente por los géneros *Fusarium, Aspergillus* y *Penicillium* [2].

Por esta razón, el objetivo principal de este estudio fue identificar cepas de hongos en forraje de ganado vacuno de una granja dedicada a la elaboración de queso en el municipio de Reyes Etla, Oaxaca.

II. METODOLOGÍA

La muestra de forraje fue recolectada en bolsas de polietileno y almacenada en refrigeración en el Laboratorio de Alimentos del TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca [3]. Una vez homogeneizada la muestra, se tomaron 2 g para realizar la dilución en agua destilada y agua peptonada. Las diluciones obtenidas se sembraron en placas con agar papa dextrosa (PDA) y se incubaron durante tres a cinco días a 30 ± 1 °C.

Posteriormente, las cepas obtenidas se aislaron de acuerdo con su morfología macroscópica, incubándolas por 4 días a 30 ± 1 °C, para luego ser observadas al microscopio analizando principalmente la forma de los conidios, la cabeza conidial y las hifas de acuerdo a Samson et al. [4].

III. RESULTADOS

Se aislaron diferentes cepas, sin embargo, solo tres

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 20160823@itoaxaca.edu.mx
[2] TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-1411-5955, mmedinaito@gmail.com, (*Autor de correspondencia)
[3] TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-3803-8886, varapizuela_7@hotmail.com
[4] TecNM / Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0003-3238-9850, bgvm747@gmail.com

Recepción: 24/03/2025 | Aceptación: 20/06/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

fueron de interés para su identificación.

La Tabla I, incluida en el Apéndice, muestra la caracterización macro y microscópica de las colonias de hongos filamentosos encontrados en la muestra.

Con base en las características macroscópicas y microscópicas observadas, y mediante la comparación con la bibliografía citada, los tres aislamientos se identificaron presuntamente como: *Aspergillus flavus* (Cepa 1), *Penicillium* sp. (Cepa 2) y *Aspergillus niger* (Cepa 3).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

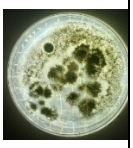
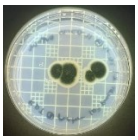
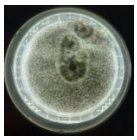
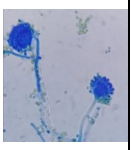
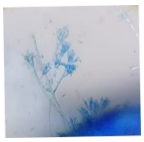
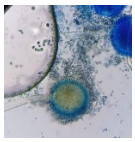
Sin duda, los hongos juegan un papel muy importante en la agricultura, debido a que favorecen la disponibilidad de nutrientes, sin embargo, en los últimos años, el cambio climático ha provocado alrededor del mundo un incremento en la contaminación por micotoxinas en diferentes productos agrícolas que son de consumo humano y/o animal, como los forrajes, dando como consecuencia diferentes tipos de enfermedades o dolencias que en su diagnóstico no son directamente relacionadas a estas toxinas por la falta de análisis clínicos o conocimientos sobre el tema [5].

Un análisis realizado por la Academia Nacional de Ciencias sugiere que las micotoxinas probablemente contribuyen a las tasas mundiales de cáncer. Representando una amenaza global significativa para la salud humana, en particular las aflatoxinas, debido a que tienen un impacto significativo, especialmente en países empobrecidos, causando toxicosis agudas, inmunosupresión y efectos crónicos [6].

En México, el incremento de reportes sobre forrajes y productos lácteos contaminados con estos metabolitos ha ido en aumento, principalmente en zonas ganaderas de Aguascalientes, Monterrey y Veracruz, entre otras regiones, arrojando como resultado la presencia de los hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* y/o la presencia de algunas de las toxinas que producen [7]-[11], coincidiendo con los resultados de este estudio, en el cual indicamos la existencia de al menos tres aislamientos de hongos filamentosos, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp. Sin duda, para poder concluir si las cepas encontradas en el forraje de Reyes Etla, Oaxaca, producen algún tipo de micotoxina, se requieren análisis adicionales, como las concentraciones de las toxinas en las muestras, entre otros, y de esta manera confirmar y ampliar la información obtenida.

APÉNDICE

Tabla I. Descripción macro y microscópica de las colonias de hongos filamentosos

	Cepa 1	Cepa 2	Cepa 3
Crecimiento en placa	 Colonia irregular de color verde, con micelio blanco inconspicuo y reverso incoloro	 Colonia ovalada, con anillos de color verde y borde blanco, textura polvorienta-algodonosa y reverso amarillento	 Colonia de crecimiento rápido, con abundantes conidios negros, textura algodonosa y reverso incoloro.
Microscopio objetivo 40x	 Conidios globosos de color verde pálido.	 Conidióforos con ramas secundarias y paredes lisas, con tres fiálides en forma de penacho o pincel.	 Conidios redondos y negros, con cabeza conidial globulosa.

REFERENCIAS

[1] M. Rodríguez Blanco, "Micotoxinas en granjas de ganado vacuno lechero," *nutriNews LATAM*, segundo trimestre, 2023. [En línea]. Disponible en: https://nutrinews.com/micotoxinas-en-granjas-de-ganado-vacuno-lechero/

[2] A. Capelli, C. García y Santos, C. Cajarville, and L. Bettucci, "El problema de las micotoxinas en los granos y concentrados para rumiantes," *nutriNews LATAM*, tercer trimestre, 2023. [En línea]. Disponible en: https://nutrinews.com/el-problema-micotoxinas-en-los-granos-y-concentrados-para-rumiantes/

[3] A. Capelli, G. Suárez, and C. García y Santos, "Aflatoxinas en alimentos y leche de vacas de 18 establecimientos comerciales de las regiones centro-sur y este de Uruguay," *Veterinaria (Montevideo)*, vol. 55, no. 212, pp. 52–56, Dec. 2019, doi: 10.29155/VET.55.212.2.

[4] R. A. Samson, J. Houbraken, U. Thrane, J. C. Frisvad, and B. Andersen, *Food and Indoor Fungi* (CBS Laboratory Manual Series, vol. 2). Utrecht, Países Bajos: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2010.

[5] F. Penagos-Tabares et al., "Mixtures of mycotoxins, phytoestrogens, and other secondary metabolites in whole-plant corn silages and total mixed rations of dairy farms in central and

ISSN: 3122-4709

northern Mexico," *Toxins*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, Art. no. 153, doi: 10.3390/toxins15020153.

[6] A. A. Goda et al., "Global health and economic impacts of mycotoxins: A comprehensive review," *Environ. Sci. Eur.*, vol. 37, no. 1, Jul. 2025, Art. no. 122, doi: 10.1186/s12302-025-01166-x.

[7] E. J. Rangel-Muñoz et al., "Caracterización de *Aspergillus flavus* y cuantificación de aflatoxinas en pienso y leche cruda de vacas en Aguascalientes, México," *Rev. Mex. Cienc. Pecu.*, vol. 11, no. 2, pp. 435–454, Apr./Jun. 2020, doi: 10.22319/rmcp.v11i2.5686.

[8] M. Carvajal, A. Bolaños, F. Rojo, and I. Méndez, "Aflatoxin M1 in pasteurized and ultrapasteurized milk with different fat content in Mexico," *J. Food Prot.*, vol. 66, no. 10, pp. 1885–1892, Oct. 2003, doi: 10.4315/0362-028X-66.10.1885.

[9] E. Hernández-Camarillo et al., "Assessment of aflatoxin M1 and M2 exposure risk through Oaxaca cheese consumption in southeastern Mexico," *Int. J. Environ. Health Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 202–213, Apr. 2018, doi: 10.1080/09603123.2018.1453054.

[10] G. Urbán et al., "Niveles de aflatoxina M1 en quesos frescos producidos en diferentes zonas de México," *Rev. Salud Anim.*, vol. 31, no. 2, pp. 115–121, 2009. [En línea]. Disponible en: https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RSA/article/view/407

[11] F. Álvarez-Días et al., "*Aspergillus flavus* and total aflatoxins occurrence in dairy feed and aflatoxin M1 in bovine milk in Aguascalientes, Mexico," *Toxins*, vol. 14, no. 5, May 2022, Art. no. 292, doi: 10.3390/toxins14050292.

ISSN: 3122-4709

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Caracterización de levaduras aisladas de *Agave angustifolia* para la producción de cerveza artesanal

Characterization of yeasts isolated from *Agave angustifolia* for craft beer production

Ángel Axhel Abascal[1]*, Edmar de Jesús Díaz[2], Marco Antonio Sánchez Medina[3]

Resumen— En la industria cervecera artesanal mexicana, el uso de levaduras comerciales importadas representa un alto costo para los productores. Ante esta limitación, surge la necesidad de buscar alternativas viables y accesibles, como el uso de levaduras silvestres. Sin embargo, el empleo de cepas nativas no garantiza su efectividad en la fermentación cervecera, debido a la falta de estudios que respalden su desempeño. Por ello, el presente trabajo aborda el problema mediante la caracterización de levaduras silvestres aisladas del *Agave angustifolia* en un palenque mezcalero de Oaxaca, evaluando su crecimiento, viabilidad y capacidad fermentativa considerando las variables de grados Brix (°Bx) y gravedad específica (GE) para determinar su potencial uso en la elaboración de fermentos. Las cepas evaluadas presentaron un comportamiento similar al control, presentando mejores rendimientos en cuanto a la viabilidad.

Palabras clave—*Agave angustifolia*, cerveza artesanal, levaduras silvestres.

Abstract—In the Mexican craft beer industry, the use of imported commercial yeasts represents a high cost for producers. Given this limitation, there is a need to seek viable and affordable alternatives, such as the use of wild yeasts. However, the use of these native strains does not guarantee their effectiveness in beer fermentation due to the lack of studies supporting their performance. Therefore, this work addresses the problem by characterizing wild yeasts isolated from agave (*Agave angustifolia*) in a mezcal Palenque in Oaxaca, evaluating their growth, viability, and fermentation capacity, considering the variables Brix degrees (Bx) and specific gravity (SG) to determine their potential use in craft beer production. The evaluated strains showed growth similar to that of the control and higher viability.

Keywords—*Agave angustifolia*, craft beer, wild yeasts.

I. INTRODUCCIÓN

La cerveza es una bebida fermentada tradicionalmente elaborada a partir de agua, malta, lúpulo y levadura [1]. Entre estos, la levadura juega un papel crucial al ser responsable del proceso de fermentación alcohólica, en el cual los azúcares se transforman en alcohol y dióxido de carbono. En México, muchos cerveceros artesanales dependen de cepas comerciales importadas para llevar a cabo la fermentación; sin embargo, estos insumos suelen ser costosos y limitan la innovación en el sector. En este contexto, las levaduras silvestres representan una alternativa viable, ya que podrían aportar nuevas características sensoriales a la cerveza y reducir los costos de producción [2], [3]. A pesar de su potencial, el uso de estas levaduras no garantiza por sí solo una fermentación eficaz ni la calidad del producto final, por lo que es necesario estudiar sus propiedades antes de incorporarlas en procesos industriales.

II. METODOLOGÍA

Las cepas (Fig. 1) fueron aisladas en un palenque mezcalero de Santiago Matatlán, Oaxaca, a partir de maguey *Agave angustifolia* cocido y molido. Posteriormente, se reactivaron en mosto cervecero de malta base Pale Ale 2 hileras. Después de 72 h de incubación a 28 ± 2 °C, se evaluó el crecimiento por conteo en cámara de Neubauer y la viabilidad por tinción vital con azul de metileno. Además, con un refractómetro portátil, se tomaron los valores de grados Brix (°Bx) y gravedad específica (GE). Todos los ensayos se realizaron por triplicado utilizando como control la levadura comercial tipo ale SafAle US-05 incubada en las mismas condiciones.

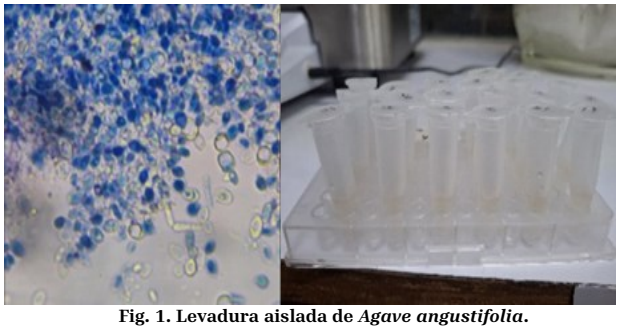


Fig. 1. Levadura aislada de *Agave angustifolia*.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, México, 0009-0009-0760-1718, 21161121@itoaxaca.edu.mx (*Autor de correspondencia)
[2] CONAHCYT-Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-9161-7027, edg.89@live.com.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0000-0002-1411-5955, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx

Recepción: 27/03/2025 | Aceptación: 02/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

III. RESULTADOS

Las cepas aisladas de maguey cocido y de maguey molido mostraron tendencias similares de grados Brix y gravedad específica con respecto al control (SafAle US-05) (Figs. 2 y 3). Del mismo modo como se muestra en la Tabla I, las levaduras silvestres tienen crecimiento similar al control, presentando un desarrollo promedio de 3.57 x 10^9 levaduras/ml entre ambas cepas, sin embargo, las levaduras silvestres tienen un mayor porcentaje de viabilidad respecto al control, con un 87.56% de valor promedio.

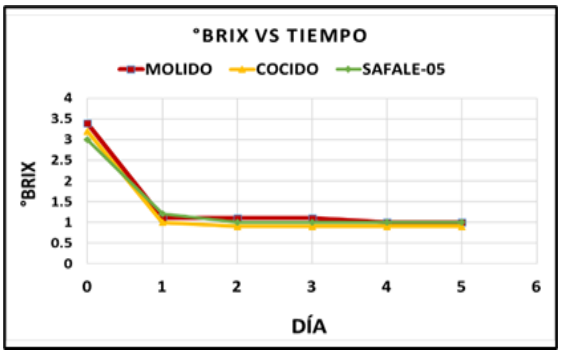


Fig. 2. Consumo de azúcares fermentables, medición de °Bx.

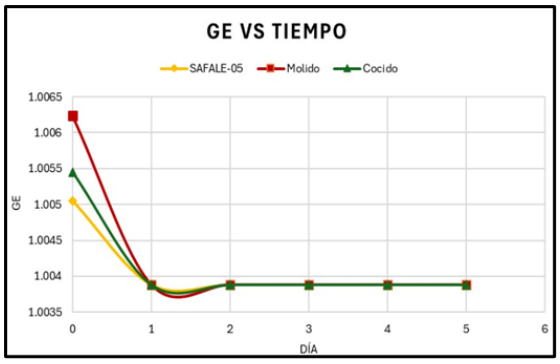


Fig. 3. Consumo de azúcares fermentables, medición de SG.

Tabla I. Número de levaduras y porcentaje de viabilidad después de 72 h de incubación a 28 ±2°C

Levadura					
Safale-05		**Molido**		**Cocido**	
Levaduras (levaduras/mL)	Viabilidad (%)	Levaduras (levaduras/mL)	Viabilidad (%)	Levaduras (levaduras/mL)	Viabilidad (%)
3.89×10^9	80.23 %	3.19×10^9	88.96 %	3.95×10^9	86.16 %

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las levaduras aisladas de maguey cocido y molido mostraron un comportamiento similar al de la levadura comercial Safale-05 cuando se cultivaron en mosto cervecero a una temperatura de 28 ± 2 °C, presentando valores parecidos en las variables de grados Brix, densidad y crecimiento. Por otro lado, las levaduras silvestres presentaron mejores porcentajes de viabilidad en comparación con el control Safale-05.

Resultados similares se reportan en [4], demostrando que 12 cepas de *Saccharomyces cerevisiae* aisladas de los ambientes del molino de caña o trapiche en Colombia presentaron una mayor tasa de crecimiento respecto a su levadura control, además de una mayor degradación de azúcares fermentables. En otra investigación, se reportaron dos cepas de *Saccharomyces eubayanus* que mostraron una mayor degradación de azúcares durante la fermentación en comparación con su levadura control [5].

Las cepas aisladas de un palenque mezcalero de maguey cocido (CO) y molido (MO) mostraron un comportamiento similar en los valores de grados Brix y densidad con respecto a la levadura comercial (safale-05), utilizada como control en este estudio, por lo que es necesario continuar los ensayos con el análisis de otros parámetros de interés en la producción de cerveza artesanal.

REFERENCIAS

[1] G. K. Guerberoff, M. A. Marchesino, P. L. López, and R. H. Olmedo, "El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación," *Nexo Agropecuario*, vol. 8, no. 1, pp. 52–59, Jul. 2020. [En línea]. Disponible: revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/28926

[2] K. I. Benites Fernández, "Impacto de la aplicación de tres variedades de levaduras (*S. cerevisiae*, *S. pastorianus*, *S. bayanus*) en la producción de cerveza artesanal tipo lager," trabajo de titulación (examen complexivo), Carrera de Agroindustria, Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17106

[3] J. A. Burini, "Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado," tesis doctoral en Biología, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Argentina, 2022. [En línea]. Disponible en: https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17094

[4] C. D. Walteros Pinzón, "Caracterización de cepas de levadura colombiana *Saccharomyces cerevisiae* para su potencial uso en la producción de cerveza 'Colombian Ale'," trabajo de grado de pregrado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/44911

[5] J. I. Eizaguirre, "Caracterización y domesticación de cepas naturales de *Saccharomyces eubayanus* para su aplicación en la industria cervecera," tesis doctoral en Biología, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Argentina, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.19073.89441.

ISSN: 3122-4709

Formulación y evaluación físico-mecánica de biopelículas a base de gomas naturales

Formulation and physicomechanical evaluation of natural gums-based biodegradable films

Emili Jaqueline Crisostomo Mendoza[1], Marco Antonio Sánchez Medina[2], Aymara Judith Díaz Barrita[3]*

Resumen— La creciente preocupación por el impacto ambiental de los materiales plásticos convencionales, especialmente los utilizados en el envasado y conservación de alimentos, ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles que sean biodegradables y provengan de fuentes renovables. En este sentido, es necesario llevar a cabo investigaciones que permitan formular biopelículas a base de biopolímeros mediante técnicas reproducibles y evaluar sus propiedades con criterios científicos, a fin de establecer diferencias entre los tipos de gomas empleadas, las condiciones de formulación y las propiedades finales del material. Los polímeros naturales pueden clasificarse según su origen en: animales, agrícolas, marinos y microbianos. Estos materiales han sido utilizados por presentar propiedades físicas, mecánicas, de barrera y estructurales que permiten la formación de películas biodegradables. En este proyecto se elaboraron biopelículas a base de almidón de yuca, almidón de papa, goma guar, quitosano y glicerol como plastificante. Cada formulación se preparó por triplicado y se evaluaron sus propiedades físicas como espesor, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, humedad, biodegradabilidad; y sus propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad. Los análisis mostraron que la biopelícula con almidón de yuca, papa y quitosano demostró un perfil físico superior y una rigidez mayor en comparación con el resto de los tratamientos.

Palabras clave—Almidón, empaque, gomas naturales, películas biodegradables.

Abstract—Growing concern regarding the environmental impact of conventional plastic materials, particularly those used in food packaging and preservation, has driven the search for sustainable alternatives that are biodegradable and derived from renewable sources. In this context, research is needed to formulate biopolymer-based biodegradable films using reproducible techniques and to evaluate their properties according to scientific criteria, in order to establish differences among the types of gums used, the formulation conditions, and the final properties of the material. Natural polymers can be classified according to their origin as animal, agricultural, marine, or microbial. These materials have been used because of their physical, mechanical, barrier, and structural properties, which enable the formation of biodegradable films. In this project, biodegradable films based on cassava starch, potato starch, guar gum, and chitosan were prepared using glycerol as a plasticizer. Each formulation was prepared in triplicate, and its physical properties, including thickness, solubility, water vapor permeability, moisture content, and biodegradability, as well as its mechanical properties, namely the modulus of elasticity, were evaluated. The analyses showed that the biofilm with cassava starch, potato starch, and chitosan demonstrated a superior physical profile and greater rigidity compared to the rest of the treatments.

Keywords—Biodegradable films, natural gums, packaging, starch.

I. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la industria se han desarrollado plásticos con buenas características; sin embargo, después de su uso, muchos de estos materiales son desechados sin control y contaminan el medio ambiente [1]. El uso de plásticos en frutas es un ejemplo de exceso de plástico ya que cuentan con una cubierta natural. Como alternativa para sustituir al plástico, han surgido ideas que permiten obtener productos biodegradables elaborados a partir de almidón, este sirve para la elaboración de bioplásticos, ya que cuenta con buena disponibilidad [2].

Hay muchos reportes acerca del uso de polímeros biodegradables como materiales industriales, entre ellos, el almidón, cuya capacidad de gelificación permite moldearlo y formar películas [3]. Este puede obtenerse del maíz, papa, trigo, sorgo, yuca, caña, entre otros y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición polimérica. Por ello, se busca obtener formulaciones de biopelículas a base de almidón de yuca, combinado con otros biopolímeros,

[1] Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, TecNM / ITO, 0009-0000-8734-5391, 20160820@itoaxaca.edu.mx
[2] División de Estudios de Posgrado, TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-1411-5955, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx
[3] TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0009-0005-9548-2827, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx (*Autor de correspondencia)

Recepción: 28/03/2025 | Aceptación: 02/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

que presenten propiedades físicas y mecánicas adecuadas, como apariencia, espesor, baja solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, humedad, biodegradabilidad, Composición Química Elemental (CQE), fuerza máxima de rotura y módulo de elasticidad.

II. METODOLOGÍA

Se realizaron cuatro formulaciones de biopelícula a base de almidón de yuca (AY), almidón de papa (P), goma guar (G) y quitosano (Q). Una vez obtenidas, se evaluaron sus características físico-mecánicas por triplicado.

La apariencia fue evaluada visualmente midiendo el color; opacidad y transparencia, rigidez y flexibilidad. El espesor fue evaluado midiendo ocho puntos aleatorios y calculando el promedio [4], la solubilidad se analizó a 23 °C y 90 °C sumergiendo recuadros de biopelícula en agua destilada. Se determinó el coeficiente de transmisión de vapor de agua (WVT), en g/h·m2, por el método ASTM E96/E96M-05 [5], para posteriormente determinar la permeabilidad al vapor de agua (PVA), en g/h·m·Pa. El porcentaje de humedad se determinó empleando el método gravimétrico, la biodegradabilidad de las biopelículas se evaluó por la técnica de compostaje [6] por un periodo de 15 días. En cuanto a la composición química elemental, se determinó mediante EDS acoplado al microscopio electrónico de barrido Phenom ProX, a 20 kV y 10,000x, área de 0.04 cm2, modo puntual. Las propiedades mecánicas se determinaron utilizando un texturómetro (Instron serie 4442) equipado con dos mordazas de medición de carga; la velocidad de cruceta fue 5 mm/min, área 25 cm2 y separación inicial de mordazas de 10 cm. Se hallaron los parámetros de fuerza y distancia en cada una de las películas obteniendo los valores de esfuerzo máximo de ruptura y el porcentaje de deformación, así como el módulo de Young con la fórmula $E=\sigma/\varepsilon$, donde E representa el módulo de elasticidad (MPa), σ, tensión (MPa) y ε, deformación (fracción). La prueba se hizo por triplicado.

III. RESULTADOS

A. Propiedades físicas

Las películas que tuvieron en su composición goma guar fueron más opacas (AYGG y AYGQ), mientras que las que no tuvieron fueron más traslúcidas y de color amarillento. La película AYGG obtuvo el espesor mayor de las cuatro formulaciones (0.0748 mm), seguida por AYGQ, identificando que el espesor aumenta debido a la presencia de goma guar (Tabla I). La biopelícula AYPQ fue la más delgada (0.0468 mm).

Tabla I. Espesor y solubilidad de biopelículas

Biopelícula	Espesor (mm)	% Solubilidad (T = 23 °C)	% Solubilidad (T = 90 °C)
AYAP	0.0546 ± 0.0038bc	10.5846 ± 1.116[a]	17.1002 ± 0.478b
AYGG	0.0748 ± .0065[a]	11.8041 ± 1.75[a]	19.4677 ± 0.544a
AYPQ	0.0468 ± 0.0034c	11.3302 ± 0.397a	15.0400 ± 0.914c
AYGQ	0.0661 ± 0.0037ab	12.2932 ± 1.017a	14.5699 ± 0.993c

Nota. Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias aritméticas en las columnas que no comparten la misma letra minúscula, son significativamente diferentes (p≤0.05).

La biopelícula que presentó la menor solubilidad en agua a 90 °C fue AYGQ; por otra parte, la biopelícula AYGG fue la que presentó el mayor porcentaje de materia soluble en agua.

Las cuatro formulaciones presentaron ser biodegradables, debido a que desaparecieron antes de 15 días siendo la biopelícula AYGQ la que tardó más tiempo en degradarse (14 días) y la biopelícula AYGG la que fue degradada en ocho días, esto se debe a la composición de cada película como la goma guar y el quitosano, comprobando que todas las formulaciones se degradaron en 15 días en condiciones de compostaje. La película AYPQ presentó ser la menos permeable al vapor de agua con un valor de 1.1627x10-08 g/(h·m·Pa) y la película con menor cantidad de humedad en su composición fue AYAP (Tabla II).

En cuanto a la composición química elemental, todas las biopelículas mostraron la presencia de carbono y oxígeno en diferentes concentraciones, en AYAP y AYGQ, además de esos elementos, hubo presencia de nitrógeno y calcio.

Tabla II. Biodegradabilidad y permeabilidad en biopelículas

Formulación	Biodegradabilidad	Permeabilidad al vapor de agua ($\frac{g}{hm\ Pa}$)	Humedad (%)
AYAP	100 %	1.9622x10-08	10.016
AYGG	100 %	2.4706x10-07	13.466
AYPQ	100 %	1.1627x10-08	10.898
AYGQ	100 %	2.0346x10-08	20.501

B. Módulo de elasticidad (o de Young)

Al adicionar quitosano, cada una de las películas cambia en función su composición, la adición de goma guar

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

marca una diferencia notable, la biopelícula AYPQ obtuvo el módulo elástico más alto, lo que significa que es la más rígida (Fig. 1).

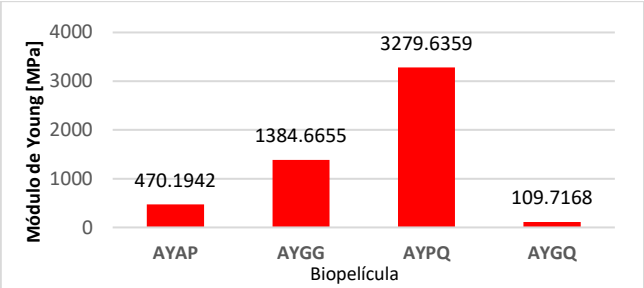


Fig. 1. Módulo de elasticidad en biopelículas

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Todas las formulaciones elaboradas lograron formar biopelículas. El almidón de yuca favoreció la apariencia traslúcida, el quitosano proporcionó un color amarillento debido a los grupos amino libres [7], mientras que la adición de goma guar dio origen a biopelículas opacas. Los espesores obtenidos oscilaron entre 0.0468 mm y 0.0748 mm, observando que la presencia de la goma guar tiene un efecto en el incremento de este, así como en el porcentaje de humedad al final del secado, observando los valores más altos en aquellas formulaciones que la tuvieron. Asimismo, en la PVA, el valor más alto lo presentó la película AYGG y el valor más bajo AYPQ, lo que sugiere que la combinación de los biopolímeros genera interacciones que modifican su comportamiento.

La conformación de la estructura del quitosano se ve afectada por la densidad de carga, por lo que las fuerzas repulsivas influyen en los grupos amino cargados, llevando a una extensión de la cadena, y, por lo tanto, afectan las propiedades de barrera de las películas [8]. La solubilidad de las biopelículas se vio afectada por la temperatura, a 23 ºC los porcentajes de solubilidad fueron menores que a 90 ºC, lo que sugiere que las películas obtenidas presentarán un mejor desempeño a temperaturas bajas.

Otra característica importante fue la rápida degradabilidad de las películas, todas las formulaciones se degradaron, en composta, en menos de 15 días, siendo las películas que tuvieron quitosano, las que tardaron más días, debido a las características antimicrobianas que tiene éste [9] y se logró determinar que las biopelículas se componen en su mayoría de carbono y oxígeno. En cuanto a las características mecánicas, las diferentes mezclas de biopolímeros generan interacciones que generan mayor o menor elasticidad, encontrando que una mezcla de AYPQ produce películas más rígidas y una mezcla AYGQ, más elásticas.

Como conclusión puede señalarse que los biopolímeros empleados: almidón de yuca, almidón de papa, goma guar y quitosano son buenos formadores de biopelículas y se lograron obtener valores como espesor, solubilidad, PVA, módulo de Young y degradación en composta, para caracterizar cada una de las mezclas realizadas.

REFERENCIAS

[1] N. Zaritzky and N. Nudelman, “Gestión de los residuos plásticos: Una preocupación a nivel global,” Instituto del Ambiente, Academia Nacional de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina, Documento no. 3, Jun. 2020. [En línea]. Disponible en: https://acading.org.ar/wp-content/uploads/2021/06/IA-N3-Gestion-residuos-plasticos.pdf

[2] A. V. García Quiñónez, *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*, 1.ª ed. San Salvador, El Salvador: ITCA Editores, 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf

[3] S. Rimsa and P. Tatarka, “Starch ester blends with linear polyesters,” U.S. Patent 7 517 924 B1, Apr. 14, 2009.

[4] E. Orozco Silvas, “Elaboración y caracterización de películas de mucílago de nopal-pectina: Efecto de la concentración del mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas,” tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 2017. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.11799/67766

[5] E. A. Carballo Medrano and E. S. Martínez Bonilla, “Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano,” trabajo de graduación de licenciatura, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2010. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14492/1039

[6] P. G. Dalev, R. D. Patil, J. E. Mark, E. Vassileva, and S. Fakirov, “Biodegradation of chemically modified gelatin films in soil,” J. *Appl. Polym. Sci.*, vol. 78, no. 7, pp. 1341–1347, Nov. 2000, doi: 10.1002/1097-4628(20001114)78:7<1341::AID-APP40>3.0.CO;2-2

[7] T. Prodpran, S. Benjakul, and A. Artharn, “Properties and microstructure of protein-based film from round scad (*Decapterus maruadsi*) muscle as affected by palm oil and chitosan incorporation,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 41, no. 5, pp. 605–614, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2007.07.020.

[8] V. A. Cepeda-Tovar, D. M. Carmona-Govea, J. R. Benavente-Valdés, L. Farías-Cepeda, L. J. Ríos-González, and A. Rubio-Ríos, “Desarrollo e importancia de las películas biopoliméricas en el procesamiento de productos alimenticios. Biopolímeros funcionales en la industria alimenticia,” *Rev. Iberoam. Polim.*, vol. 23, no. 4, pp. 101–118, Jul. 2022. [En línea]. Disponible en: https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2022/12/2022-23-4-101-118.pdf

[9] K. Ziani, I. Fernández-Pan, M. Royo, and J. I. Maté, “Antifungal activity of films and solutions based on chitosan against typical seed fungi,” *Food Hydrocoll.*, vol. 23, no. 8, pp. 2309–2314, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.06.005.

ISSN: 3122-4709

Caracterización físico-mecánica de tortillas de maíz (*Zea mays*)

Physical–mechanical characterization of corn tortillas (*Zea mays*)

Anel Karina Valencia Salazar[1], Gonzalo Santos López[2], Iván Antonio García Montalvo[3], Aymara Judith Díaz Barrita[4]*

Resumen—El maíz constituye una de las principales fuentes de energía en México, pues con él se elaboran tortillas y tostadas, entre otros alimentos. A pesar de su relevancia, no existen suficientes estudios sobre sus propiedades texturales evaluadas instrumentalmente. El presente estudio analiza el endurecimiento de tortillas de maíz elaboradas a máquina y manualmente, mediante pruebas instrumentales de textura con una máquina universal de ensayos Instron. Se analizó la extensibilidad de las muestras mediante una prueba de tracción, evaluándolas a dos velocidades constantes; además se realizaron determinaciones de humedad en diferentes días de estudio. Se determinó que entre menor sea la humedad de la tortilla, mayor será la fuerza para extender las muestras, por tanto, se concluye que la humedad es un factor determinante en la textura y calidad de las tortillas.

Palabras clave—Humedad, textura, tortilla.

Abstract—Corn is one of the main sources of energy in Mexico, as it is used to prepare tortillas and tostadas, among other foods. Despite its relevance, there are not enough studies on its textural properties evaluated instrumentally. This study analyzes the hardening of corn tortillas prepared both mechanically and manually, using instrumental texture tests with an Instron universal testing machine. The extensibility of the samples was analyzed through a tensile test, evaluating them at two constant speeds; moisture determinations were also performed on different study days. It was determined that the lower the moisture content of the tortilla, the greater the force required to stretch the samples, therefore, moisture is concluded to be a determining factor in the texture and quality of tortillas.

Keywords—Humidity, texture, tortilla.

I. INTRODUCCIÓN

La tortilla de maíz es un alimento mexicano muy popular, que no dispone de suficientes datos sobre sus propiedades mecánicas determinadas con instrumentos. El endurecimiento de la tortilla conlleva la pérdida de la flexibilidad, lo cual a menudo se considera indeseable; sin embargo, depende de cómo se consuman las tortillas [1]. De esta manera, el contenido de humedad es una característica importante para una buena definición de la calidad textural de la tortilla de maíz [2]. El objetivo de este trabajo fue analizar el endurecimiento de diferentes tipos de tortilla de maíz, empleando una máquina universal de ensayos de la marca Instron.

II. METODOLOGÍA

Se evaluó la extensibilidad en dos tipos diferentes de tortilla de maíz: tortilla elaborada a máquina (A) y tortilla elaborada en prensas manuales (B), en tres momentos de evaluación: recién hechas, un día y dos días después de su elaboración. La prueba de resistencia a la tracción para medir extensibilidad [3] se desarrolló empleando las mordazas de tornillo CAT 2710 – 004 de una máquina universal de ensayos Instron 4442 a dos diferentes velocidades: 1 mm/s (V1) y 2 mm/s (V2). Se utilizaron muestras rectangulares de tortillas de 2.5 cm x 10 cm. Asimismo, se determinó el contenido de humedad de ambos lotes de tortillas durante los mismos días de estudio.

III. RESULTADOS

En la Tabla I se observa que existe diferencia entre la fuerza de extensibilidad, tanto en el tipo de tortilla estudiada como en los días de almacenamiento de ésta. Para ambos tipos de tortilla se observa que la fuerza para romper las muestras aumenta conforme avanzan los días de almacenamiento. También se puede observar que los mayores valores de fuerza para extender las muestras se obtuvieron en las tortillas elaboradas a mano. Esto puede deberse a que estas últimas presentan un grosor mayor (tabla II), por lo que requiere de una mayor fuerza para extender la tortilla, además de que

[1] Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0009-0001-0777-0185, 20160915@itoaxaca.edu.mx
[2] Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Oaxaca, México, 0000-0002-1180-5694, gonzalo.sl@itvalletla.edu.mx
[3] Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0000-0003-4993-9249, ivan.garcia@itoaxaca.edu.mx
[4] Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México, 0009-0005-9548-2827, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx (*Autor de correspondencia)

Recepción: 27/03/2025 | Aceptación: 03/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

estas muestras desde un inicio presentan los valores más bajos de humedad. También se puede observar que al transcurrir los días de almacenamiento la humedad, en ambas muestras de tortilla, va disminuyendo, lo que influye en la textura de la tortilla, aumentando así la fuerza para extender las muestras.

En la Tabla III se observa que el contenido de humedad de ambos tipos de tortilla disminuye considerablemente conforme al paso de los días, esto indica que el efecto de las condiciones de almacenamiento influye en la textura de la tortilla.

Tabla I. Fuerza de extensibilidad de tortillas de diferentes tipos durante varios días de estudio

Día de estudio	Fuerza de rotura (N)			
	AV1[a]	AV2[b]	BV1[c]	BV2[d]
1	0.7263	1.1620	2.2969	1.2783
2	1.1559	1.2230	2.0013	1.8503
3	2.9694	2.3102	4.4222	3.6152

Nota. La Tortilla elaborada a máquina, velocidad de 60 mm/min; b Tortilla elaborada a máquina, velocidad de 120 mm/min; c Tortilla elaborada manualmente, velocidad de 60 mm/min; d Tortilla elaborada manualmente, velocidad de 120 mm/min.

Tabla II. Grosores determinados para el ensayo de tracción en tortillas a diferentes tiempos de almacenamiento.

Día de estudio	Muestra A Grosor (mm)	Muestra B Grosor (mm)
1	1.0348	1.5241
2	1.1416	1.7014
3	1.2056	1.7116

Tabla III. Determinación de humedad de tortillas durante varios días de estudio

Día de estudio	Muestra A (%)	Muestra B (%)
1	50.11	45.15
2	47.07	41.81
3	41.70	38.98

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, durante los tres días de estudio en diferentes condiciones de velocidad se obtuvieron valores de fuerza de ruptura máxima que van desde 0.7263 N hasta 4.4222 N, estos valores son similares a los reportados en bibliografía [3], donde se determinaron fuerzas de ruptura máxima de 0.51 N hasta 6.25 N para tortillas de maíz producidas a partir de harinas instantáneas comerciales.

Por otra parte, la humedad de la tortilla elaborada manualmente es menor que la tortilla elaborada a máquina en cada uno de los días de estudio. Los valores de humedad obtenidos en tortillas elaboradas a máquina se encuentran entre 41.70% y 50.11%, mientras que, los valores reportados en bibliografía [2] se encuentran entre 58.83% y 59.62% para tortillas elaboradas a base de harina de maíz instantánea; esta diferencia puede atribuirse a la variedad de harinas con que se elaboraron las tortillas.

A su vez, la humedad obtenida para tortillas elaboradas con maíz nixtamalizado fue de 38.98% a 41.81%, valores que se encuentran dentro del rango de valores reportados por bibliografía [2], que va del 39% al 43% para tortillas elaboradas por distintos procesos de nixtamalización.

Se logró analizar el endurecimiento de dos tipos de tortilla de maíz empleando un texturómetro. Se determinó que las tortillas elaboradas manualmente requieren una mayor fuerza para extender la tortilla, por tanto, se endurecen más rápido; además de que estas muestras desde un inicio presentan los valores más bajos de humedad. Se comprobó que la humedad de las muestras disminuye conforme aumentan los días de almacenamiento, por tanto, la humedad es un factor que influye en la fuerza que se utiliza para extender las muestras, es decir, entre menor sea la humedad, mayor será la fuerza utilizada para extender la muestra hasta romperla.

REFERENCIAS

[1] K. Nishinari, Ed., *Textural Characteristics of World Foods*, 1st ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons Ltd., 2020, doi: 10.1002/9781119430902.

[2] E. Calderón Chávez, "Estudio de texturógenos primarios en nixtamal, masa y tortilla como base para determinación de calidad tortillera del maíz," tesis de licenciatura, Escuela de Química, Universidad Motolinía, México, 1994. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unam.mx/contenidos/3487537

[3] G. Arámbula-Villa, J. A. Méndez-Albores, J. González-Hernández, E. Gutiérrez-Arias, and E. Moreno-Martínez, "Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.)," *Arch. Latinoam. Nutr.*, vol. 54, no. 2, pp. 216–222, Jun. 2004. [En línea]. Disponible en: https://www.alanrevista.org/ediciones/2004/2/art-12.

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Formulación de harina de setas fortificada con antioxidantes de chile huacle

Formulation of mushroom flour fortified with antioxidants from huacle chili pepper

Milca Raquel Calderón Sánchez[1], Gonzalo Santos López[2]*

Resumen—El objetivo de esta investigación fue producir harinas sin gluten enriquecidas con antioxidantes del chile huacle como un producto para personas con enfermedad celíaca o que tienen sensibilidad al gluten no celíaca, ya que la enfermedad celíaca afecta al 1 % de la población. En este caso se obtuvo harina a partir del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) fortificándola con antioxidantes de chile huacle extraídos en un medio oleoso y funcionalizando la harina con hidrocoloides como carboximetilcelulosa y goma acacia. El análisis bromatológico a las setas frescas indicó que el principal nutrimento son las proteínas con un 7.69 % en base húmeda. La funcionalidad de la harina fue probada en la elaboración de arepas, generando un producto con consistencia estable. Esta harina puede ser una alternativa nutrimental y funcional para personas con enfermedad celíaca debido a que está formulada a partir de ingredientes libres de gluten.

Palabras clave—Enfermedad celíaca, harina funcionalizada, hidrocoloides.

Abstract—The aim of this study was to produce gluten-free flours enriched with antioxidants from huacle chili pepper as a product for individuals with celiac disease or non-celiac gluten sensitivity, given that celiac disease affects approximately 1 % of the population. In this study, flour was obtained from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and fortified with huacle chili pepper antioxidants extracted in an oil-based medium. The flour was also functionalized with hydrocolloids such as carboxymethylcellulose and acacia gum. Proximate analysis of the oyster mushrooms indicated that protein was the main nutrient, accounting for 7.69 % on a wet basis. The functionality of the flour was evaluated in the production of arepas, resulting in a product with stable consistency. This flour may represent a nutritional and functional alternative for individuals with celiac disease because it is formulated from gluten-free ingredients.

Keywords—Celiac disease, functionalized flour, hydrocolloids.

I. INTRODUCCIÓN

Pleurotus ostreatus es uno de los hongos ampliamente distribuidos y consumidos en el mundo debido a que contiene nutrimentos, que dependiendo del sustrato se han reportado valores de proteína entre 13.4 a 16.9 %, de grasas totales entre 3.1 a 6.7 % y de contenido de fibras entre 17.2 a 20.3 %, además de que contiene compuestos activos de alto valor como antioxidantes, fibra y beta-glucanos [1], [2]. Debido a su alto valor nutrimental el hongo *P. ostreatus* ha sido utilizado en diferentes formas en sistemas alimentarios, una de ellas es utilizarlo en forma de harina como producto de fortificación de otras harinas.

Se ha reportado que la harina de setas en su forma desengrasada proporciona un contenido proteico por gramo cercano al 70 %, además de contener compuestos fenólicos que proveen capacidad antioxidante [3].

La harina de *P. ostreatus* tiene limitaciones, por lo que no se usa al 100 % en la elaboración de un producto, esto se debe a que las masas obtenidas no cuentan con las propiedades funcionales adecuadas para generar productos atractivos, como los que se obtienen en la industria de panificación y en donde se suele utilizar harina de trigo que contiene gluten [3, 4]. Gran parte de los productos de panificación utilizan harina de trigo, pero no todas las personas la pueden consumir ya que hay algunas a las que les genera inconvenientes por el gluten que contiene, principalmente a personas con intolerancia al gluten o que tienen enfermedad celíaca. Esto actualmente representa un problema de salud importante ya que en países como México la enfermedad celíaca afecta al 1 % de la población, por lo que la eliminación del gluten de la dieta puede mejorar síntomas gastrointestinales en personas con esta condición [5].

En este trabajo se ha propuesto utilizar harina de setas y funcionalizarla con hidrocoloides y antioxidantes de chile huacle, el cual es un ingrediente importante en la gastronomía de Oaxaca, con la intención de obtener una harina funcional y con componentes nutrimentales y compuestos bioactivos que sean de interés para los

[1] Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Oaxaca, México, 0009-0004-0881-5535, milcacalderonsanchez@gmail.com
[2] Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Oaxaca, México, 0000-0002-1180-5694, gonzalo.sl@itvalletla.edu.mx (*Autor de correspondencia)

Recepción: 27/03/2025 | Aceptación: 01/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

consumidores preferentes, como las personas con enfermedad celíaca.

II. METODOLOGÍA

Para obtener la harina de setas se realizó el cultivo del hongo en las instalaciones del TecNM / Instituto Tecnológico del Valle de Etla con el siguiente procedimiento: Se obtuvo micelio en la Unidad de Producción Setas "Ñu", ubicada en el municipio de Huitzo, Oaxaca. Posteriormente, en condiciones asépticas, se utilizaron 300 g de micelio para cada bolsa de polietileno.

En estas bolsas se usó como sustrato paja de frijol previamente lavada y pasteurizada. El llenado de las bolsas de siembra se hizo en capas, colocando el micelio en las paredes internas de las bolsas, capa por capa, hasta completarlas, cerrándolas al final. Las bolsas inoculadas se incubaron en condiciones libres de luz controlando la humedad del lugar. El periodo de incubación fue de 14 a 20 días y, una vez observados los primordios, las bolsas se trasladaron al área de fructificación, donde estuvieron de 4 a 7 días [6].

Las setas cosechadas se almacenaron en un congelador. Para preparar las harinas se siguió la metodología descrita en [7] con modificaciones, en donde se tomó el cuerpo fructífero de las setas cortándolo en fragmentos de aproximadamente 2 a 3 mm, para posteriormente lavarlo con agua potable a 70 °C durante 30 minutos para disminuir la actividad microbiológica y enzimática [7]. Las setas fueron secadas en un horno marca Riosa modelo H-48 a 60 °C por 24 horas y posteriormente molidas disminuyendo el tamaño de partícula. La harina obtenida fue cuantificada y almacenada en bolsas herméticas en el congelador hasta su uso.

A. Caracterización química de las setas frescas obtenidas:

Se determinó la composición química de las setas frescas mediante análisis bromatológico empleando las siguientes técnicas: 1) Determinación de humedad: Se aplicó el método oficial AOAC 930.15-1930 (1999), Loss on Drying (Moisture) for Feeds, para la determinación de humedad [8]; 2) Determinación de cenizas: Para la determinación de cenizas o material inorgánico se utilizó el método oficial 942.05 de la AOAC [9]; 3) Determinación de proteína total: Se determinó el contenido de nitrógeno mediante el método de micro-Kjeldahl [10]; 4) Determinación de fibra: Se utilizó el método de la AOAC 993.21 para determinar la fibra total dietaria [11]; 5) Determinación de grasas totales: Se determinó el contenido de grasa cruda o grasa total mediante el método 991.36 de la AOAC [12].

La harina de setas se funcionalizó combinándola con diferentes hidrocoloides como goma acacia y carboximetilcelulosa (CMC), por separado. Para fortificar la harina de seta se realizaron extracciones de antioxidantes de chile huacle (*Capsicum annuum*) con etanol y aceite de oliva. Mediante la construcción de curvas de calibración se realizó la cuantificación de beta-carotenos leyendo a una longitud de onda de 450 nm [13].

III. RESULTADOS

A partir de 300 g de micelio y 3 kg de sustrato se obtuvieron aproximadamente 340 g de setas cosechadas como se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Producción de setas.

Los resultados de los análisis bromatológicos indican que el contenido de humedad del hongo seta es alto, lo que es similar al valor obtenido al secar el hongo seta, obteniendo 20.9 g de setas secas a partir de un lote de 272 g. El contenido de proteína es más alto con respecto a los otros componentes haciendo su base seca de importancia nutrimental proteica (ver Tabla I). La harina de seta es considerada como un producto libre de gluten ya que no contiene gluten y aunque se utiliza frijol como sustrato este es libre de gluten, la posible contaminación cruzada del frijol con el gluten se eliminaría en el proceso de lavado del frijol y en caso de una remota contaminación esta tendría que superar las 20 ppm que es el límite permisible. Indicado por la FDA (Food and Drug Administration) [14].

Tabla I. Análisis bromatológico de harina de setas frescas

HUMEDAD (%)	PROTEÍNA TOTAL (%)	FIBRA TOTAL (%)	CENIZAS (%)	GRASA TOTAL(%)
85.06 ± 1.78	7.69 ± 4.09	3.65 ± 1.90	3.37 ± 0.57	1.38 ± 0.60

Para fortificar la harina de setas se adicionaron antioxidantes a partir del chile huacle negro, de los

ISSN: 3122-4709

cuales se buscó extraer principalmente beta-carotenos. La adición de estos compuestos se debe principalmente a que, durante el procesamiento de obtención de la harina, las setas se tienen que secar utilizando calor, por lo que sus antioxidantes son susceptibles a la degradación por calor.

Es importante indicar que la extracción de los antioxidantes del chile huacle se realizó utilizando como solvente de extracción aceite de oliva, ya que este es de naturaleza no polar y se puede aplicar a sistemas alimentarios, además de que durante el proceso de extracción se utilizó sonicación como parte de un proceso amigable con el medio ambiente sin generar sustancias tóxicas de desecho como ocurre en extracciones con solventes no polares tradicionales. La curva estándar obtenida del aceite de oliva se presenta en la Fig. 2 y el contenido de beta-carotenos por extracción fue de 10 mg/mL.

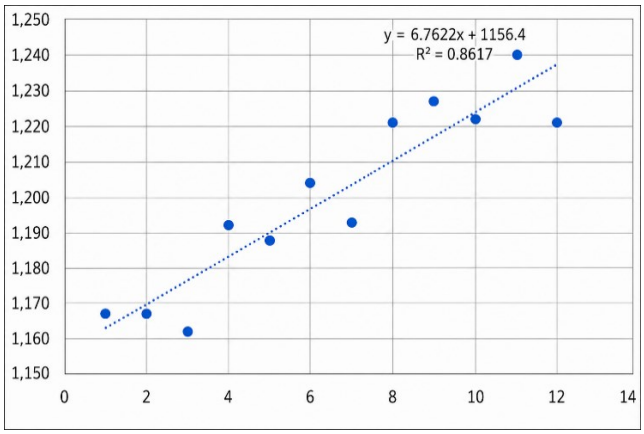


Fig. 2. Curva estándar de concentración vs absorbancia de extracción de betacarotenos con aceite de oliva.

Las harinas sin gluten presentan una baja viscosidad durante su manipulación en procesos de panificación o en la elaboración de masas. Por esta razón, es común la adición de espesantes o hidrocoloides para mejorar sus propiedades funcionales [15]. A partir de las harinas fortificadas con el extracto oleoso de chile huacle se elaboraron productos alimentarios tipo arepas como se muestra en la Fig. 3. Al probar distintas concentraciones de hidrocoloides, se observó que la incorporación de CMC en un 3 % en peso de la harina original generó masas moldeables, continuas y elásticas que resultaron en productos homogéneos. De manera similar, al utilizar goma acacia al 7 % en peso de la harina original, las harinas y productos fueron semejantes a los obtenidos de la harina con CMC.



Fig. 3. Arepa elaborada con harina de setas, antioxidantes de chile huacle e hidrocoloides: izquierda se usó carboximetilcelulosa y derecha goma acacia.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir del análisis bromatológico de las setas frescas, se puede indicar que presentan contenido relevante de proteína y fibra, lo que sugiere un posible interés como componente alimentario. Sin embargo, la variedad de aminoácidos, las posibles aplicaciones prebióticas asociadas al contenido de fibra y los antioxidantes propios de las setas deberán evaluarse en estudios posteriores. La fortificación con betacarotenos de chile huacle permite incorporar compuestos antioxidantes, mientras que la adición de hidrocoloides contribuye a mejorar la funcionalidad de la harina.

Se logró realizar un desarrollo tecnológico orientado a la obtención de harina de setas fortificada con antioxidantes de chile huacle y adicionada con hidrocoloides. Este producto permitió elaborar alimentos tipo arepa con potencial de aplicación en diferentes productos alimentarios, considerando la estandarización del procesamiento y la evaluación de la funcionalidad de las harinas con diferentes hidrocoloides.

REFERENCIAS

[1] A. Y. Landínez-Torres, C. Pérez Fagua, A. C. Sanabria López, Y. A. Deaquiz Oyola, and C. E. Girometta, "Pruning wastes from fruit trees as a substrate for *Pleurotus ostreatus*," *Acta Mycol.*, vol. 56, Aug. 2021, Art. no. 568, doi: 10.5586/am.568.

[2] J. Raman et al., "Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview," *Mycobiology*, vol. 49, no. 1, pp. 1–14, Jan. 2021, doi: 10.1080/12298093.2020.1835142.

[3] P. N. Irakiza et al., "Fortification with mushroom flour (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm) and substitution of wheat flour by cassava flour in bread-making: Nutritional and technical implications in eastern DR Congo," *Agric. Food Secur.*, vol. 10, no. 1, Sep. 2021, Art. no. 28, doi: 10.1186/s40066-021-00301-0.

[4] A. González et al., "Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom," *Food Chem.*, vol. 346, Jun. 2021, Art. no. 128884, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128884.

[5] J. M. Remes-Troche et al., "Guía clínica para diagnóstico y tratamiento de la enfermedad celíaca en México," *Rev.*

ISSN: 3122-4709

Gastroenterol. Mex., vol. 83, no. 4, pp. 434–450, 2018, doi: 10.1016/j.rgmx.2018.05.005.

[6] R. Gaitán-Hernández, D. Salmones, R. Pérez Merlo, and G. Mata, *Manual práctico del cultivo de setas: Aislamiento, siembra y producción*. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A.C., 2002.

[7] B. Thomas, K. P. Sudheer, S. Saranya, A. Kothakota, R. Pandiselvam, and M. Joseph, "Development of protein enriched cold extruded pasta products using hybrid dried processed mushroom powder and defatted flours: A study on nutraceutical, textural, colour and sensory attributes," *LWT*, vol. 170, Dec. 2022, Art. no. 113991, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113991.

[8] *Loss on Drying (Moisture) for Feeds (at 135°C for 2 Hours): Dry Matter on Oven Drying for Feeds (at 135°C for 2 Hours)*, AOAC Official Method 930.15, rev. Mar. 1999.

[9] N. Thiex, L. Novotny, and A. Crawford, "Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 revisited," *J. AOAC Int.*, vol. 95, no. 5, pp. 1392–1397, Sep. 2012, doi: 10.5740/jaoacint.12-129.

[10] American Association of Cereal Chemists, *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th ed. St. Paul, MN, USA: AACC Method 46-13.01, 2000.

[11] *Total Dietary Fiber in Foods and Food Products with ≤2% Starch: Nonenzymatic-Gravimetric Method*, AOAC Official Method 993.21, aprobación final, 1996.

[12] *Fat (Crude) in Meat and Meat Products: Solvent Extraction (Submersion) Method*, AOAC Official Method 991.36, aprobación final, 1996.

[13] H. Chutia and C. L. Mahanta, "Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 67, Jan. 2021, Art. no. 102547, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102547.

[14] U.S. Food and Drug Administration, "Gluten and food labeling." [En línea]. Disponible en: https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/gluten-and-food-labeling

[15] E. A. Irondi, Y. T. Imam, E. O. Ajani, and E. O. Alamu, "Natural and modified food hydrocolloids as gluten replacement in baked foods: Functional benefits," *Grain Oil Sci. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 163–171, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.gaost.2023.10.001.

ISSN: 3122-4709

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Monitoreo comunitario participativo del agua como indicador de servicios ecosistémicos del bosque

Community-based participatory water monitoring as an indicator of forest ecosystem services

Sandra Flor Cosmes Guzmán [1], Laura Jiménez Bautista [2], Lucina Ruiz Pérez [3], Oscar Francisco Mijangos Ricárdez [4*]

Resumen—El objetivo fue monitorear y evaluar parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, y la cantidad de agua, en zonas de aprovechamiento y conservación forestal en la comunidad de Capulálpam de Méndez que forma parte de la Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecos de la Sierra Juárez de R.I. (UZACHI), para obtener información que sirva como evidencia en la toma de decisiones por parte del Comisariado de Bienes Comunales y dar certeza en el uso de buenas prácticas ambientales en su bosque. Se definieron los sitios de monitoreo de agua en la comunidad agraria y los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Los muestreos se realizaron cada tres meses durante el periodo de dos años (2023-2024). Los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua evaluados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles; sin embargo, la dureza total rebasa el LMP establecido de 500 mg/L como $CaCO_3$, lo cual podría estar relacionado con la composición mineral del suelo forestal. Los parámetros de alcalinidad, conductividad, dureza y sólidos disueltos totales mostraron diferencias significativas entre sitios intra y extracomunitarios, esto debido a la composición vegetal y posiblemente asociadas con actividades propias del manejo forestal. De acuerdo con los análisis bacteriológicos, el agua no presenta riesgo para la salud en su uso para consumo humano.

Palabras clave—Educación ambiental comunitaria; gestión hídrica; gobernanza del agua, monitoreo comunitario participativo.

Abstract—The objective was to monitor and evaluate physicochemical and bacteriological parameters, as well as water quantity, in forest management and conservation areas within the community of Capulálpam de Méndez, which is part of the Union of Zapotec-Chinantec Forest Producer Communities of the Sierra Juárez, R.I. (UZACHI), in order to generate information that serves as evidence for decision-making by the Communal Lands Commission and to provide certainty regarding the use of good environmental practices in the community forest. Water monitoring sites were defined within the agrarian community, along with the physicochemical and bacteriological parameters. Sampling was conducted every three months over a two-year period (2023–2024). The physicochemical water-quality parameters evaluated were within the maximum permissible limits; however, total hardness exceeded the established MPL of 500 mg/L as $CaCO_3$, which may be related to the mineral composition of the forest soil. Alkalinity, conductivity, hardness, and total dissolved solids showed significant differences between sites within and outside the community, possibly due to vegetation composition and forest management activities. According to the bacteriological analyses, the water does not pose a health risk when used for human consumption.

Keywords—Community environmental education, participatory community monitoring, water governance, water management.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques son una parte muy importante de la vida en el planeta y proporcionan muchos beneficios, tales como la madera, la infiltración y limpieza del agua, retención de suelos, purificación de aire, fijación de carbono y brindan espacios de recreación y espiritualidad. Además, debido a que la vegetación controla las temperaturas de la tierra y permite el ciclo hidrosocial, la deforestación puede llegar a cambiar las condiciones micro y mesoclimáticas de una región disminuyendo la cantidad de lluvia que se produce por convección, humedad relativa y tasa de evapotranspiración. Dentro de un bosque se encuentran cuencas y ecosistemas que proporcionan servicios ambientales a la población desempeñando un papel fundamental al proporcionar un estado óptimo del ciclo hidrológico. Los bosques también aumentan las tasas de infiltración y contribuyen a la restauración de las capas acuíferas del subsuelo y de aguas superficiales; además

[1] Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México
[2] Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez (UZACHI) , Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México
[3] Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez (UZACHI) , Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México
[4] IEA, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, osramin23@unsij.edu.mx / osramin@gmail.com (*Autor de correspondencia)

Recepción: 19/02/2025 | Aceptación: 02/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

evitan la erosión del suelo, reducen la sedimentación de los cuerpos de agua y disminuyen el riesgo de deslaves e inundaciones [1]. Las actividades de monitoreo son fundamentales en el Manejo Integral Forestal (MIF), debido a que permiten tener información para retroalimentar actividades que se realizan en el mismo y tomar decisiones colectivas sobre el manejo del bosque y su importancia comunitaria.

Adicionalmente, el monitoreo del agua puede definirse como una medición sistemática y constante de variables y procesos a través del tiempo, otra definición es realizar observaciones constantes mediante estudios técnicos de varios indicadores y parámetros fisicoquímicos o bacteriológicos para detectar anomalías en el agua [2]. Si bien estas definiciones son aceptables por la academia, no satisfacen las necesidades y problemáticas de las comunidades y pueblos del estado de Oaxaca, y en particular en la Sierra Juárez. En cambio, el Monitoreo Comunitario Participativo [3-7] que tiene especial sentido en el trabajo solidario y colaborativo entre propietarios del territorio (sujeto social), academia, colectivos y/o organizaciones de base social, comunitario porque nace en las tres comunidades que tienen decisiones sobre el cuidado y uso del recurso agua, practica saberes milenarios y resguarda el territorio como fuente de vida e identidad; es participativo porque al contrario del conocimiento generado y transmitido como modelo colonial de enseñanza (alumno-profesor), es con la participación y la educación popular como se consiguen los valores de reciprocidad, solidaridad y cooperación al construir el conocimiento, el investigador y académico trascienden en su vocación de servicio y ayuda de manera sencilla para transformar y que sean los sujetos sociales quienes decidan sobre el recurso agua.

El trabajo que aquí se menciona, lo llamamos Monitoreo Comunitario Participativo (MCP) y es un proceso colaborativo para recabar y analizar datos relacionados a la cantidad y calidad del agua, comunicar los resultados y manejar de manera conjunta el recurso. Se busca involucrar a un número amplio de actores en todas las etapas del proceso, incorporando métodos de análisis e indicadores de calidad adaptados (p.ej. La gran mayoría de los análisis de calidad del agua están implementados para ciudades, actividades industriales, agrícolas y con poca participación del sujeto social; fue necesario recurrir a las necesidades de los sujetos sociales en función de sus recursos humanos, sociales y económicos para definir los parámetros más idóneos, tomando en cuenta la corresponsabilidad del conocimiento generado) y significativos para cada uno de los participantes. Quien realiza monitoreo comunitario, aprende a examinar la calidad del agua, no sólo recaba información verificable sobre el estado del recurso hídrico; sino que da fortaleza en decisión y gobernabilidad (empodera a través de las asambleas comunitarias), genera relaciones de confianza y coadyuva en la resolución de conflictos acerca de los impactos de las actividades humanas sobre el agua. Y se fortalecen capacidades de exploración en búsqueda de soluciones, la formación y capacitación que permite no tener resultados poco comprensibles sino ideas y acciones que los sujetos sociales articulan para transformar su entorno.

Recordemos que el monitoreo comunitario del agua no es solamente técnico, sino también social, político, educativo y cultural. Requiere apertura, disposición para escuchar diferentes puntos de vista, aceptación del conocimiento y rol de los diferentes participantes y reconocer los conocimientos ancestrales. El monitoreo comunitario implica diferentes niveles de participación de la comunidad, que va desde aprender cómo recolectar e interpretar los datos para la investigación científica hasta el involucramiento completo (individuo y comunidad) en la determinación del problema y la adecuación de esquemas de monitoreo en virtud de necesidades identificadas, recursos disponibles y conocimiento aprendido [8]. Por tanto, el monitoreo comunitario participativo fortalece el vínculo entre la sociedad y la academia para que, conjuntamente, se logre la comprensión de diversas problemáticas socioambientales, además, mejorando la construcción del conocimiento, el acceso a la información y disminuyendo la vulnerabilidad social.

Las etapas del monitoreo comunitario del agua son: 1) presencia de problemas, orientada a determinar el problema y de la estructura del monitoreo conveniente, 2) actividad de monitoreo, que incluye la capacitación y realización de muestreo y monitoreo comunitario participativo del agua, 3) toma de datos, enfocada en la recopilación y comunicación de datos obtenidos, diseño y acceso de base de datos y 4) generación de conocimientos dirigida al análisis de la información obtenida y desarrollo de acciones para la atención del problema (educación, normas y acuerdos desde la gestión local comunitaria y, apoyo gubernamental).

La información obtenida del monitoreo comunitario participativo puede servir como evidencia para reforzar peticiones comunitarias y, en ocasiones, permite mayor

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

influencia de las comunidades en las decisiones de los gobiernos a diferentes niveles para mejorar la calidad del agua.

El monitoreo de la calidad del agua es un estudio que se realiza con el objetivo de conocer las fluctuaciones en determinados parámetros físicos, químicos y biológicos, analizar si sus características son aptas para recreación, potabilización, servicios ecológicos y/o protección de vida acuática; proporciona información básica sobre la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua. El monitoreo de la cantidad de agua consiste en la determinación de los caudales, es decir, medir la cantidad de agua que pasa por un determinado punto por unidad de tiempo; permite estudiar el comportamiento del recurso hídrico en el tiempo y determinar la disponibilidad de agua en una zona puntual.

En este trabajo, las muestras de agua se tomaron de acuerdo con las especificaciones de la NMX-AA-014-1980 que establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados, incluyendo aspectos bacteriológicos y fisicoquímicos, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestras [9].

A las muestras colectadas se les realizó un análisis fisicoquímico y bacteriológico en los laboratorios de Análisis Ambiental de la Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), teniendo como distancia máxima entre la toma de muestras y el laboratorio de 30 km, para lo cual se conservaron en una hielera acondicionada con medios refrigerantes y conservando una temperatura de 4 °C. Los parámetros determinados son: Nitrógeno de Nitritos en aguas naturales por el método de prueba espectrofotométrica NMX-AA-099-SCFI-2021 [10], Acidez y Alcalinidad total en aguas naturales de acuerdo con la NMX-AA-036-SCFI-2001 [11]. Dureza total en aguas naturales de acuerdo con la NMX-AA-072-SCFI-2001 [12]; además se utilizan multiparamétricos de campo (marca Hanna) y laboratorio (marca Orión) para determinar Oxígeno Disuelto, Salinidad, Sólidos Disueltos Totales, Conductividad, pH, Temperatura y Presión Atmosférica [10-15]. Los resultados obtenidos se compararon con los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano establecidos por la siguiente norma: NOM-127-SSA1-2021 [16].

II. METODOLOGÍA

Es necesario clarificar que el trabajo se basa en identificar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, nitritos, alcalinidad y acidez total, dureza total, oxígeno disuelto, salinidad, sólidos disueltos totales, presión atmosférica y temperatura) y bacteriológicos (coliformes totales y fecales) más vulnerables y que modifiquen la calidad del agua, en zonas bajo manejo forestal. Dichos parámetros se midieron cada tres meses por un periodo de un año, y cada parámetro se determinó por triplicado en laboratorio, además los parámetros en campo (pH, conductividad, salinidad, temperatura, oxígeno y sólidos disueltos totales se determinan in situ adicional al trabajo en laboratorio) [10-15]. Y proponer metodologías para determinar la cantidad de agua que permitan la gestión adecuada en el territorio forestal de este recurso que es de seguridad comunitaria.

Nuestra hipótesis de trabajo se formuló argumentando que el manejo forestal practicado en la comunidad de Capulálpam de Méndez no refleja un impacto negativo significativo en la calidad, pues los parámetros se encuentran bajo los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad.

El área de estudio donde se desarrolla el monitoreo se ubicó en la comunidad de Capulálpam de Méndez, ubicada en la Sierra Juárez. Los sitios de monitoreo y toma de muestras de agua, fue de manera dirigida en la comunidad, debido a que los técnicos comunitarios ya conocen la ubicación de los cuerpos de agua, se tiene acceso y además son sitios prioritarios para las comunidades ya que de ellos se deriva el vital líquido que utilizan para uso doméstico, así mismo, son sitios cercanos a las zonas de manejo forestal. Antes de realizar dicho trabajo se realizaron sesiones con el Comisariado de Bienes Comunales con el propósito de solicitar acceso al territorio, dando a conocer los trabajos a realizar y la divulgación de la información obtenida, atendiendo al principio de diálogo horizontal y conocimiento pleno e informado de los pobladores.

El número de sitios monitoreados por comunidad dependió de tres aspectos: a) extensión del territorio, b) número de cuerpos de agua por comunidad y c) importancia del cuerpo de agua. Además, se invitó a los técnicos comunitarios y ciudadanos en general a participar en los talleres de capacitación para ser monitores ambientales y realizar de manera conjunta este trabajo, dando así fortalezas a las personas para que conozcan el territorio y sus relaciones socio-ecológicas.

El monitoreo para la calidad de agua se realizó en el año 2023 (enero a diciembre) dividido en dos etapas (época de secas y lluvias), cada una de 6 meses. Cada

ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

cuerpo de agua fue monitoreado una vez cada tres meses, con la participación de los técnicos comunitarios, consejo de vigilancia, comisariado de bienes comunales y personal técnico de la UZACHI.

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el MCP tanto de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos como de cantidad de agua (flujo de agua):

En Capulálpam de Méndez, durante la época de secas, se observó que en tres de los sitios evaluados el valor de dureza total rebasó el límite permisible para agua de uso y consumo humano establecido por la NOM-127-SSA1-2021 [16], como se muestra en la Tabla I, del mismo modo en todos los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite mínimo permisible, mientras que en todos los sitios el valor de potencial de hidrógeno (pH) no se encontró dentro del límite permisible.

Tabla I. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para la época de secas

Parámetro	Estación de monitoreo				Límite permisible	Unidad de medida
	Las pavas	Arroyo Higinio	La y	El cárcamo		
Nitritos	0	0	0	0	0.90	mg/l de N-NO2-
Alcalinidad total	52.7	37.5	44.4	233.8	300§	mg/l de $CaCO_3$
Acidez total	2.79	2.48	2.95	6.36	-	mg/l de $CaCO_3$
Dureza total	528.3	528	396	1717	500	mg/l de $CaCO_3$
Sólidos Disueltos Totales	0.03	0.07	0.03	0.13	1,000	ppm (mg/l)
Conductividad	0.03	0.07	0.02	0.25	400Þ	µS/cm
Temperatura	12.7	14.2	14.9	17	18-30Þ	°C
pH	8.25	7.91	7.68	9.28	6.5-8.5	Valor de pH

Nota. Adaptado de NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud, 1993); Þ: Decreto N.º 32327-S, Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica (Ministerio de Salud, 2005); ¶: NOM-127-SSA1-2021 (Secretaría de Salud, 2021); —: no hay normatividad establecida.

Los valores del resto de los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad del agua establecidos por la normatividad en todos los sitios. Durante la época de lluvias, se encontró que el límite permisible de agua para uso y consumo humano para la dureza total, establecido por la NOM-127-SSA1-2021 fue superado en uno de los sitios como se muestra en la Tabla II, mientras que en todos los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite permisible. El límite permisible de agua para uso y consumo humano para el resto de los parámetros fisicoquímicos no fue superado en ninguno de los sitios.

Tabla II. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para la época de lluvias

Parámetro	Estación de monitoreo				Límite permisible	Unidad de medida
	Las pavas	Arroyo Higinio	La y	El cárcamo		
Nitritos	0	0	0	0	0.90	mg/l de N-NO2-
Alcalinidad total	47.2	38	47.2	272.2	300§	mg/l de $CaCO_3$
Acidez total	8	5.2	6.2	11.1	-	mg/l de $CaCO_3$
Dureza total	264	264	264	1585	500	mg/l de $CaCO_3$
Sólidos Disueltos Totales	0.01	0.03	0.01	0.11	1,000	ppm (mg/l)
Conductividad	0.03	0.06	0.02	0.21	400Þ	µS/cm
Temperatura	12.5	13.7	14	16.8	18-30Þ	°C
pH	7.8	7.76	7.33	8.28	6.5-8.5	Valor de pH

Nota. NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud 1993); Þ: Decreto NO32327-S del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (Ministerio de Salud 2015); ¶: NOM-127-SSA1-2021 (Secretaría de Salud 2021); -: No hay normatividad establecida.

Se observa que el parámetro de dureza supera el LMP en algunos muestreos, esto debido a que es agua superficial y arrastra sales y minerales debido a la composición del suelo y rocas del territorio de la comunidad.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La continuidad del Monitoreo Comunitario Participativo del agua es fundamental para conocer su calidad y disponibilidad, a través del tiempo, y producir la información necesaria para retroalimentar el manejo adaptativo. Es necesario acompañar las mejores prácticas de manejo forestal a nivel paisaje, mediante las cuales, al considerar el tipo, tamaño y configuración de los rodales en el paisaje, se puede alcanzar un equilibrio entre los diferentes componentes del mosaico forestal, a fin de proporcionar las condiciones óptimas

ISSN: 3122-4709

para una amplia gama de especies y poblaciones presentes en los bosques de producción, también a nivel rodal, las cuales determinan la composición y estructura del rodal, lo cual se logra a través de la aplicación de tratamientos silvícolas con objetivos de sostenibilidad en cada uno de los elementos que lo componen y a nivel sitio, todo lo anterior contribuirá al aseguramiento del recurso hídrico en calidad y cantidad.

Se debe incorporar el monitoreo del agua de lluvia mediante el uso de estaciones climatológicas con el objetivo de obtener información acerca de sus características espaciales, de su frecuencia y de la cantidad precipitada sobre el área de estudio a través del tiempo. Esto también debe acompañarse del monitoreo mensual y permanente del caudal con el objetivo de identificar el mes con mayor y menor disponibilidad de agua, definir el inicio de la temporada de lluvias y de secas, aumentar la precisión del caudal promedio calculado para cada temporada, calcular la disponibilidad real, monitorear la cantidad de precipitación anualmente y determinar las posibles causas de la disminución del caudal.

Finalmente, se debe reforzar la educación ambiental comunitaria en todos los niveles educativos, pero principalmente entre ciudadanos con menor conocimiento de su territorio, o bien no visitan frecuentemente su comunidad de origen, esto fortalecerá el sentido de pertenencia y sensibilidad ante la problemática del agua, para, a través del diálogo de saberes e intergeneracional, conservar la riqueza hídrica y el entorno social que resiste presiones sobre la gestión comunitaria del agua.

REFERENCIAS

[1] P. Balvanera, "Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales," *Ecosistemas*, vol. 21, nos. 1–2, pp. 136–147, 2012.

[2] M. Y. Chacón Chaquea, *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Bogotá, Colombia: Ediciones USTA, 2017, doi: 10.15332/li.lib.2017.00030. Disponible en: https://repository.usta.edu.co/items/2bae8f00-357c-4df6-974f-6c2ea235efb0

[3] P. F. López Ruiz, "Diagnóstico socioambiental del recurso hídrico en Santiago Comaltepec, Sierra Juárez, Oaxaca," tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, 2016.

[4] J. P. Manzano Velasco, "Análisis socioambiental del agua en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca," tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, 2016.

[5] G. Suárez, "Sobre la importancia del manejo forestal comunitario para garantizar el agua que todos necesitamos," Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, 29 de mayo de 2017. [En línea]. Disponible en: ccmss.org.mx/la-importancia-del-manejo-forestal-comunitario-garantizar-agua-todos-necesitamos/

[6] H. Rivas Solórzano, Ed., *Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua*. Morelia, México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, 2018.

[7] Y. V. Nolasco Hernández, "Monitoreo de agua en zonas bajo manejo forestal en comunidades de la UZACHI," tesis de licenciatura en Ingeniería Forestal, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, 2019.

[8] F. Chapela, Ed., *Estado de los bosques de México*. Ciudad de México, México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C., 2012.

[9] *Cuerpos receptores—Muestreo*, NMX-AA-014-1980, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, 5 de septiembre de 1980. [En línea]. Disponible en: platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/nmx-aa-014-1980.pdf

[10] *Análisis de agua—Medición de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas—Método de prueba*, NMX-AA-099-SCFI-2021, Secretaría de Economía, México, 13 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-099-SCFI-2021.pdf

[11] *Análisis de agua—Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba*, NMX-AA-036-SCFI-2001, Secretaría de Economía, México, 1 de agosto de 2001. Disponible en: https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/nmx-aa-036-scfi-2001.pdf

[12] *Análisis de agua—Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba*, NMX-AA-072-SCFI-2001, Secretaría de Economía, México, 13 de agosto de 2001. [En línea]. Disponible en: https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/nmx-aa-072-scfi-2001.pdf

[13] *Análisis de agua—Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba*, NMX-AA-007-SCFI-2013, Secretaría de Economía, México, 23 de enero de 2014. Disponible en: https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/nmx-aa-007-scfi-2013.pdf

[14] *Análisis de agua—Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba*, NMX-AA-093-SCFI-2018, Secretaría de Economía, México, 26 de junio de 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5529045&fecha=26/06/2018

[15] *Análisis de agua—Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba*, NMX-AA-034-SCFI-2015, Secretaría de Economía, México, 18 de abril de 2016. Disponible en: https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp-content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf

[16] *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*, NOM-127-SSA1-2021, Secretaría de Salud, México, 2 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022

ISSN: 3122-4709

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102

Evaluación de la tolerancia a metales pesados del hongo *Calvatia gigantea*

Evaluation of heavy metal tolerance in the fungus *Calvatia gigantea*

Josué Iván Cruz García[1], Baleria María Hernández Chávez[2], Yesenia Aragón López[3], Alma Dolores Pérez Santiago[4]*

Resumen—Actualmente, la contaminación por desechos tóxicos como los metales pesados se ha incrementado en suelos y aguas, generando grandes problemas de salud debido a que estos se pueden acumular en los alimentos. Por tanto, surge la necesidad de encontrar nuevos organismos para la biorremediación de compuestos inorgánicos, en consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar la tolerancia del cultivo in vitro de *Calvatia gigantea* a Cr, Pb, Mn y Cu. La tolerancia de *C. gigantea* se evaluó en medio sólido, utilizando AEM (agar extracto de malta) mezclado con 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm de Cr, Pb, Mn y Cu, cada uno. Los cultivos se incubaron por 10 días a 28 °C. Se observó que ninguna concentración de los metales evaluados detuvo el desarrollo micelial del hongo, empero, presentó cambios morfológicos en el micelio, especialmente con 500 ppm de Cu. Estos resultados sugieren que *C. gigantea* posee la capacidad biotecnológica de micorremediación y que podría usarse para el tratamiento de suelos contaminados.

Palabras clave—Biorremediación, cultivo in vitro, micorremediación, toxicidad.

Abstract—Currently, contamination from toxic waste such as heavy metals has increased in soil and water, causing major health problems because these metals can accumulate in food. Therefore, there is a need to find new organisms for the bioremediation of inorganic compounds. Consequently, the objective of this study was to evaluate the tolerance of the in vitro culture of *Calvatia gigantea* to Cr, Pb, Mn, and Cu. The tolerance of *C. gigantea* was evaluated in solid medium, using MEA (malt extract agar) mixed with 100, 250, 500, 750, and 1000 ppm of each metal (Cr, Pb, Mn, and Cu). The cultures were incubated for 10 days at 28 °C. It was observed that none of the concentrations of the metals evaluated stopped the mycelial development of the fungus; however, morphological changes were observed in the mycelium, especially with 500 ppm of Cu. These results suggest that *C. gigantea* has the biotechnological capacity for mycoremediation and could be used for the treatment of contaminated soils.

Keywords—Bioremediation, in vitro culture, mycoremediation, toxicity.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados debido a actividades humanas, como la minería, actividades agrícolas e industriales plantea un desafío en términos de contaminación ambiental y salud pública, debido a que se bioacumulan y son tóxicos a concentraciones muy bajas. Las técnicas actuales de biorremediación utilizan microorganismos como *Enterobacter cloacae* y *Pseudomonas aeruginosa* [1], así como hongos de diferentes especies, para tolerar, bioadsorber, precipitar, biotransformar y secuestrar contaminantes: metales pesados, colorantes textiles [2], hidrocarburos aromáticos policíclicos [3] y antibióticos [4]. *Calvatia gigantea* es un hongo silvestre comestible, posee una red micelial extensa que puede absorber nutrientes disponibles en suelos, sin embargo, su influencia en los procesos de biorremediación no se ha estudiado, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de tolerancia del cultivo *in vitro* de *C. gigantea* a la presencia de Pb, Mn, Cr y Cu.

II. METODOLOGÍA

El esporoma de *C. gigantea* (Fig. 1) se colectó en una zona semiboscosa en la comunidad de San Mateo Sosola, Etla, Oaxaca a finales de la época de lluvias, en el mes de noviembre del 2023. La identificación de la especie fue realizada por el Dr. Ricardo Valenzuela Garza, jefe del Laboratorio de Micología del IPN (Instituto Politécnico Nacional).

Se aisló la cepa de *C. gigantea* a partir de la gleba (parte interna del hongo) en PDA (agar papa dextrosa) hasta obtener una cepa purificada. Posteriormente se inoculó en diferentes medios de cultivo, seleccionando AEM (agar extracto de malta) por su óptimo crecimiento. A partir de estos cultivos se realizaron inoculaciones por punción en AEM con tratamientos de 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm para cada uno de los metales Pb, Mn, Cr y Cu. Se utilizaron $Pb(CH_3COO)_2$, $MnCl_2{\cdot}2H_2O$, $Cr(NO_3)_3{\cdot}9H_2O$ y CuO, respectivamente.

[1] Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.
[2] División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM/ ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-2020-7741, baleria.hdezz28@gmail.com
[3] División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0009-0000-3633-4406, yesaragon12@gmail.com
[4] DEPI, TecNM / ITO, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, 0000-0002-4410-7307, aperez_santiago@hotmail.com (*autor de correspondencia)

Recepción: 25/03/2025 | Aceptación: 02/07/2025 | Publicación: 30/04/2026
ISSN: 3122-4709
Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2025-120309551700-102
https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista

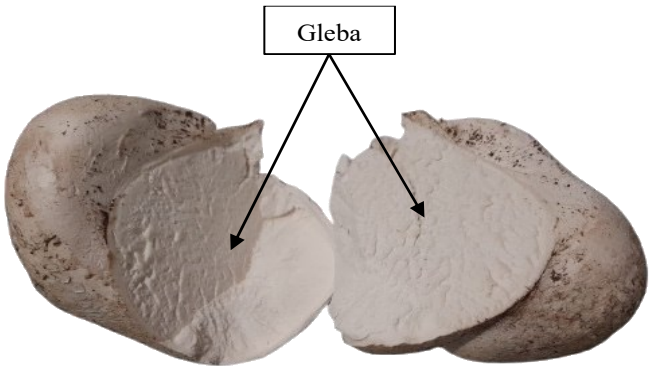


Fig. 1. *Calvatia gigantea*.

Se realizaron tres repeticiones de cada concentración por metal, los resultados son el promedio de las tres pruebas. Estos cultivos se incubaron durante 10 días a 28 °C.

III. RESULTADOS

Se presenta el efecto de los diferentes metales sobre la morfología colonial de *C. gigantea* en AEM. En la Fig. 2A se observa la colonia control de *C. gigantea*, con forma circular y micelio abundante y denso, mientras que en presencia de 500 ppm de Cu (Fig. 2B), la morfología cambia notablemente, presentándose de forma filamentosa, con elevación plana y crecimiento escaso. En la Fig. 3 se presenta el efecto de 1000 ppm de Cr, 750 ppm de Pb, 500 ppm de Mn y 250 ppm de Cu sobre el crecimiento y la morfología de *C. gigantea*. Se observa crecimiento con 1000 ppm de Cr, con micelio escaso y casi transparente; con 750 ppm de Pb, el tamaño de la colonia disminuye, pero se presenta filamentosa y densa, mostrando un micelio plano y circular; con 500 ppm de Mn, la morfología colonial es similar al control, circular y densa; mientras que, con 250 ppm de Cu, el micelio se desarrolla de forma plana, con apariencia seca y crecimiento limitado.

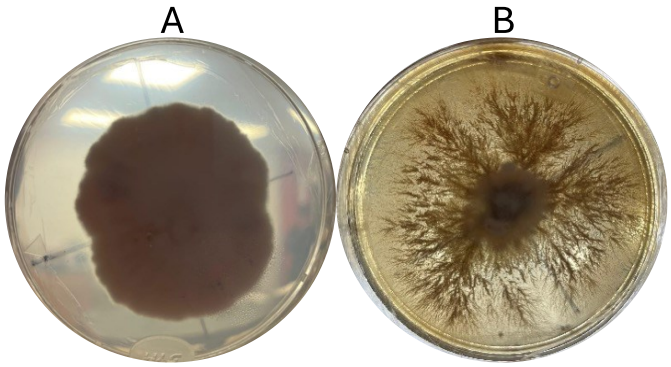


Fig. 2. *C. gigantea*: A) control; B) con 500 ppm de Cu.

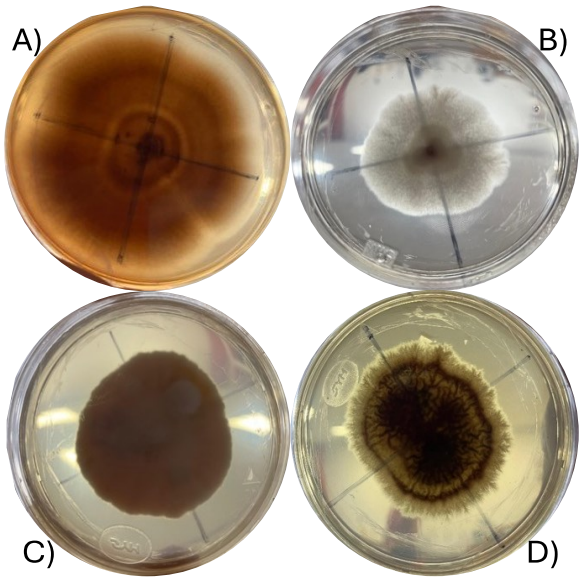


Fig. 3. *C. gigantea* en presencia de 1000 ppm de Cr (A); 750 ppm de Pb (B); 500 ppm de Mn (C); 250 ppm de Cu (D).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los metales pesados pueden acumularse en el micelio y afectar su crecimiento, así como su morfología, lo que deriva en cambios bioquímicos y metabólicos; sin embargo, la cantidad de metales pesados que se acumulan depende del tipo de sustrato y de la especie del hongo [5]. Esto respalda lo encontrado en este estudio, ya que *C. gigantea* mostró cambios en su morfología colonial, particularmente en presencia de 500 ppm de Cu. En presencia de 1000 ppm de Cr se observó crecimiento, lo que sugiere tolerancia a este metal a altas concentraciones. Vallejo Aguilar et al. [6] determinaron que *Pleurotus ostreatus* puede tolerar 20, 40, 60, 80 y hasta 100 ppm de Cr.

Cabe destacar que, de acuerdo con la literatura consultada, este es uno de los primeros reportes de *C. gigantea* en San Mateo Sosola que describe una respuesta morfológica con posible aplicación biotecnológica. A pesar de las condiciones climatológicas adversas, caracterizadas por una zona con escasa humedad y poca vegetación, estos resultados sugieren la capacidad de adaptación que poseen algunos microorganismos. Un ejemplo de esto es *Trametes versicolor*, que presentó leves alteraciones en su micelio al ser expuesto a gasolina [7]; de igual forma, *Ganoderma multipileum* demostró eficacia en la degradación de hidrocarburos [8].

El cultivo in vitro de *C. gigantea* evidenció su

ISSN: 3122-4709

capacidad de crecer en presencia de Cr, Pb, Mn y Cu en concentraciones de 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm, lo que sugiere tolerancia a estos metales durante un periodo de 10 días, en el cual se registró el crecimiento. No obstante, aún es necesario determinar la capacidad de retención de metales pesados de *C. gigantea* en fermentación sumergida. En este contexto, el uso de hongos en procesos de biorremediación se perfila como una alternativa viable y prometedora para el tratamiento de suelos y efluentes contaminados con compuestos nocivos.

REFERENCIAS

[1] O. Oziegbe, A. O. Oluduro, E. J. Oziegbe, E. F. Ahuekwe, and S. J. Olorunsola, "Assessment of heavy metal bioremediation potential of bacterial isolates from landfill soils," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 7, pp. 3948–3956, 2021, doi: 10.1016/j.sjbs.2021.03.072.

[2] A. C. B. Ferreira, Y. V. Tavares, N. R. Fontana, T. Machado Pasin, C. A. Conte-Junior, and A. G. Contato, "Bioremediation of synthetic dyes by white-rot fungi: Enzymatic mechanisms, biosorption, and environmental applications," *Molecules*, vol. 31, no. 7, 2026, Art. no. 1085, doi: 10.3390/molecules31071085.

[3] S. O. Akpasi et al., "Mycoremediation as a potentially promising technology: Current status and prospects—A review," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 8, 2023, Art. no. 4978, doi: 10.3390/app13084978.

[4] A. Singh, R. Kumari, and A. N. Yadav, "Fungal secondary metabolites for bioremediation of hazardous heavy metals," en *Recent Trends in Mycological Research: Volume 2: Environmental and Industrial Perspective*, A. N. Yadav, Ed. Cham, Suiza: Springer, 2021, pp. 65–98, doi: 10.1007/978-3-030-68260-6_4.

[5] L. I. Domínguez-Zúñiga, C. O. Puente-Valenzuela, J. R. Estrada-Arellano, E. Aguirre-Acosta, and D. R. Aguillón-Gutiérrez, "Concentración de metales pesados en hongos de la zona metropolitana de la Comarca Lagunera, México," *Sci. Fungorum*, vol. 52, 2021, Art. no. e1389, doi: 10.33885/sf.2021.52.1389.

[6] M. de la L. A. Vallejo Aguilar, M. A. Marín Castro, M. E. Ramos Cassellis, S. E. Silva Gómez, D. Ibarra Cantún, and J. V. Tamariz Flores, "Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm," *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, vol. 12, no. 2, pp. 275–289, 2021, doi: 10.29312/remexca.v12i2.2687.

[7] I. J. Hernández Galicia, "Evaluación de la degradación de gasolina por el hongo *Trametes versicolor*, (L.: Fr.) Quél. y la generación de una propuesta de biorremediación de un área contaminada," tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla de Zaragoza, Puebla, México, 2023. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12371/21203

[8] S. G. Cahuich-Flores et al., "Mycoremediation of a hydrocarbon-contaminated soil using white rot fungi," *Bioremediat. J.*, publicación anticipada, 15 de marzo de 2026, doi: 10.1080/10889868.2026.2641536.

ISSN: 3122-4709


INGENESIS

INGÉNESIS

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

CRÉDITOS DE PORTADA Y CONTRAPORTADA

VOLUMEN 1, NÚMERO 1

IMAGEN DE PORTADA

Fotografía digital de la prueba presuntiva de la producción de aflatoxinas por *Aspergillus parasiticus* en medio coco-agar de 72 horas de incubación a 28± 2ºC bajo luz UV a 364 nm. La fluorescencia azul emitida indica la presencia de aflatoxinas B.

OBTENCIÓN DE LA IMAGEN

Tipo de imagen: Fotografía digital

Ensayo presuntivo de la producción de aflatoxinas en medio coco-agar por *Aspergillus parasiticus*, realizado en zona estéril del cuarto de siembra del laboratorio de alimentos del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca.

IMAGEN DE CONTRAPORTADA

Fotografía digital del desarrollo de colonias de la interacción de *Aspergillus parasiticus* in vitro con extracto maíz de la raza Bolita de color amarillo, en placa de Petri con medio PDA, incubada 48 horas a 28± 2ºC.

OBTENCIÓN DE LA IMAGEN

Tipo de imagen: Fotografía digital

Ensayo de UFC (Unidades Formadoras de Colonias) de la interacción de *A. parasiticus* con extracto de maíz bolita amarillo, realizado en zona estéril del cuarto de siembra del laboratorio de alimentos del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca.

CRÉDITO DE IMAGEN DE PORTADA

Williams Sánchez Velasco

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Oaxaca

CRÉDITO DE IMAGEN DE CONTRAPORTADA

Williams Sánchez Velasco

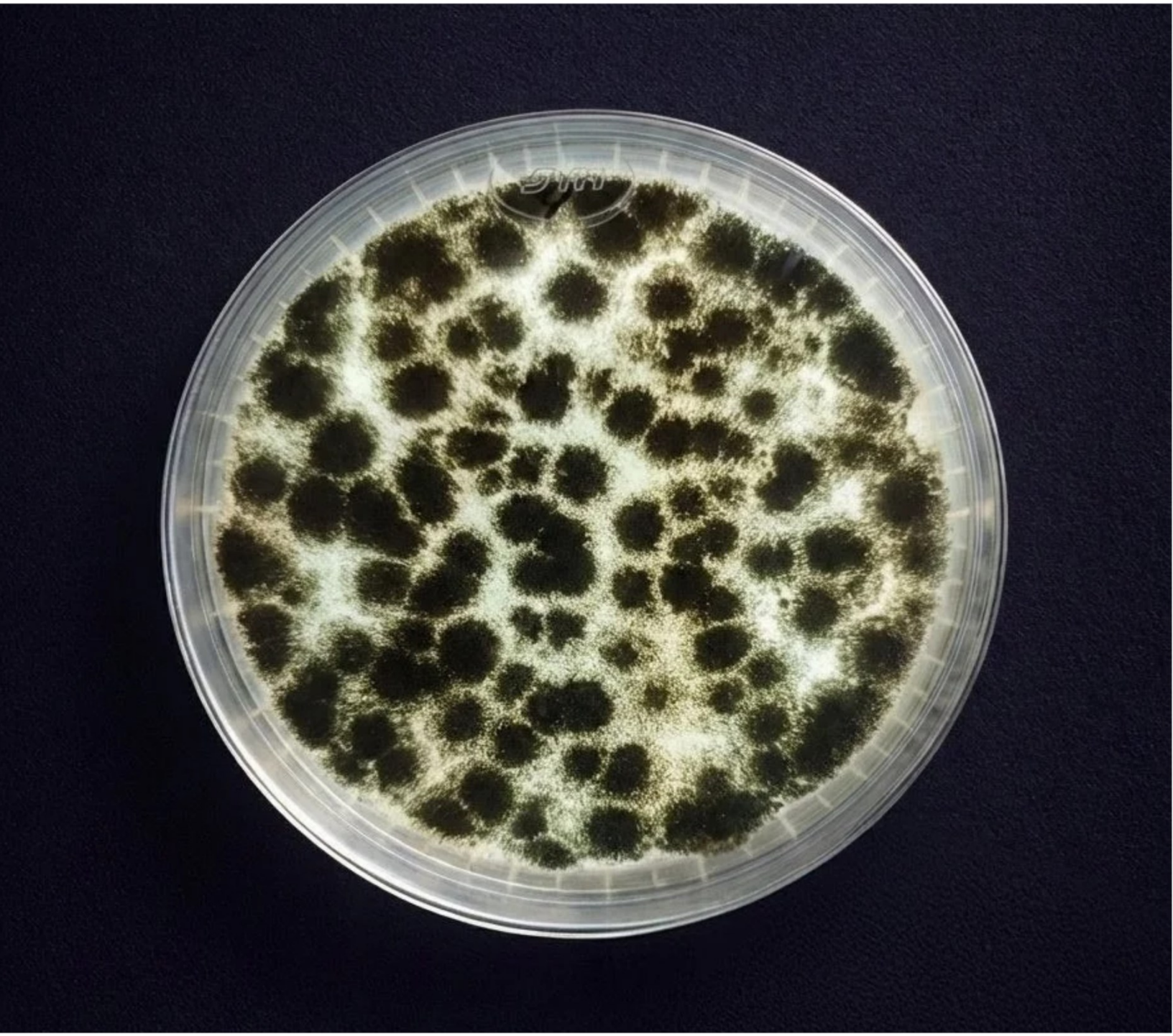
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Oaxaca

NOTA SOBRE EL TRATAMIENTO ORIGINAL DE LAS IMÁGENES

Las imágenes de portada y contraportada fueron recortadas para adaptarlas al ancho de la página. Para su utilización en la contraportada, la imagen original fue sometida a una mejora de nitidez. La versión intervenida se emplea exclusivamente con fines gráficos y no sustituye la fotografía original.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO®

INGÉNESIS
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
VOL. 1, NÚM. 1, ENERO-ABRIL DE 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

División de estudios de Posgrado e Investigación