

ISSN: En trámite

CAPÍTULO 1

**Avances de la
ingeniería química**

CAPÍTULO 2

**Ciencia y tecnología para el
desarrollo regional**

CAPÍTULO 3

**Sustentabilidad y química
ambiental**

“IMPULSANDO EL CONOCIMIENTO QUE TRANSFORMA”.

Directorio

M. C. Silvia Santiago Cruz

Directora del Instituto Tecnológico de Oaxaca

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago

Subdirectora académica

Dr. Iván Antonio García Montalvo

Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Editores

Dra. Alma Dolores Pérez Santiago

Editora en jefe

Dr. Aldo Eleazar Pérez Ramos

Editor de Ingeniería y Tecnología Aplicada

Dr. Iván Antonio García Montalvo

Editor Bioquímica y Ciencias de la Salud

Dra. Maricela Castillo Leal

Editora de Ciencias Sociales y Humanas

Comité de Desarrollo

Dr. Aldo Eleazar Pérez Ramos

Dra. Karina Aidee Martínez García

Comité Operativo

M.C. Juana Isabel Ramírez Hernández

Dra. Julita Moreno Avendaño

Comité de Indexación y Asesoría

Dra. Elsie Fernanda Monzoy Ventre

Dr. Christian Martínez Olivera

Comité Técnico Editorial

Hugo Z. Domínguez Hernández

Aniela Indriani Bonequi Ramírez

Fernando Luis Mendoza

Diseño de portada y edición

Heber Lucero Cruz

Manuel Alejandro Guzmán Nafate

Diseño portal web

Comité de revisores

- **Carlos Francisco Varapizuela Sánchez**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Marco Antonio Sánchez Medina**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Aymara Judith Díaz Barrita**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Beatriz Guadalupe Villa Martínez**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Alma Dolores Pérez Santiago**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Iván Antonio García Montalvo**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Minerva Donají Méndez López**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Gonzalo Santos López**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Emilio Hernández Bautista**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Manolo Luis González Jiménez**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Karina Aidee Martínez García**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México
- **Julita Moreno Avendaño**, Instituto Tecnológico de Oaxaca, México

INGENESIS, Vol. I, Núm. 1, diciembre 2025, es una publicación cuatrimestral electrónica editada por el Tecnológico Nacional de México, a través del Instituto Tecnológico de Oaxaca, con domicilio en Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Colonia Tecnológico, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, C.P. 68030, correo: revista.ingenesis@itoaxaca.edu.mx, Teléfono: +52(951) 5015016. Sitio web: <https://www.oaxaca.tecnm.mx/revista>
Editor Responsable: Dra. Alma Dolores Pérez Santiago.
Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del título INGENESIS No. 04-2025-120309551700-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor el 3 de diciembre de 2025.
ISSN electrónico: en trámite.
Responsable de la última actualización de este número: Dr. Aldo Eleazar Pérez Ramos, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Colonia Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

Las opiniones expresadas por los autores son responsabilidad exclusiva de los mismos y no necesariamente reflejan la postura del editor ni del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca. 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.

Editorial



Me complace presentar este volumen de **Ingenesis Revista Científica Multidisciplinaria del Instituto Tecnológico de Oaxaca**. Esta publicación surge como parte del compromiso institucional de fortalecer la generación y difusión del conocimiento, así como de impulsar la ciencia, la tecnología y la innovación que se realizan en nuestro Tecnológico y dentro del Tecnológico Nacional de México (TecNM). Sea este un espacio que invita a la comunidad académica a continuar enviando sus contribuciones para futuras ediciones.

En este ejemplar, una parte significativa de los trabajos proviene de docentes, estudiantes e investigadores del propio ITO; sin embargo, también participan autores de diversas instituciones del país, cuyo esfuerzo y colaboración enriquecen este proyecto editorial. Su contribución refleja la calidad y la diversidad temática que caracterizan a la investigación científica y tecnológica en México. A todas y todos ellos expreso, en nombre del Instituto Tecnológico de Oaxaca, un sincero agradecimiento por su valiosa participación.

Los temas abordados en esta edición abarcan líneas estratégicas como sistemas electrónicos avanzados, ingeniería aplicada, energías renovables, tecnologías de la información, desarrollo sustentable, procesos industriales y metodologías emergentes de investigación. Confío en que la aparición de este volumen constituya un paso significativo hacia la consolidación de **Ingenesis Revista Científica Multidisciplinaria del Instituto Tecnológico de Oaxaca** como un espacio de referencia para profesores, investigadores, estudiantes instituciones comprometidas con el conocimiento y su aplicación transformadora. Con ese espíritu, les invito cordialmente a recorrer estas páginas y a seguir construyendo, desde la investigación, un mejor futuro para nuestra comunidad y para nuestro estado.

M.C. Silvia Santiago Cruz
Directora del Instituto Tecnológico de Oaxaca

Índice

Capítulo I Avances de la ingeniería química..... 5

Efecto del pretratamiento de nejayote en el secado de plátano roatán (musa Cavendish)	6
Encapsulado y secados de extractos vegetales y su efecto en las propiedades fisicoquímicas	8
Evaluación del efecto de la concentración de polisacáridos en la tensión superficial	11

Capítulo II Ciencia y tecnología para el desarrollo regional14

Caracterización de levadura aisladas de <i>Agave angustifolia</i> para la producción de cerveza artesanal ..	15
Caracterización de la cinética de secado de mango ataulfo en un túnel de secado	17
Evaluación de tres métodos de extracción de carotenoides en maíces nativos de Oaxaca	21
Identificación de hongos filamentosos en forraje de reyes Etlá, Oaxaca	23
Formulación de harina sexta fortificada con antioxidantes de chile huacle	25
Caracterización físico mecánica de tortilla de maíz (Zea Mays)	29
Caracterización física del huevo de guajolote (Meleagris GALLOPAVO L.) alimentadas con forrajes	31
Modelado de secado convectivo con temperatura variable	34
Monitoreo comunitario participativo de agua como indicador de servicios ecosistémicos del bosque ...	39
Biosensor electroquímico basado en NTCPM-con a para cuantificación de glucosa	44
Desarrollo de modelo de inteligencia artificial para detección de melanoma	47

Capítulo III Sustentabilidad y química ambiental50

Diseño de un sustituto vegetal de carne a base de legumbres y cereales	51
Bioadhesivo alimentario de base de almidón de yuca	53
Evaluación de la toleración a metales pesados del hongo <i>Calvatia gigantea</i>	55
Extracción de aceite del hueso de mango "oro" (mangifera indica L.) extraído por solvente	57
Efecto de los métodos de destilación en la calidad del mezcal	59
Tolerancia de Pb, Cr, Cu y Mn por la biomasa de <i>Scleroderma texense</i>	61
Extracción de un colorante natural del hongo	64
Desarrollo de una biopelícula plástica elaborada a base de almidón de chayote (<i>Sechium edule</i>)	66
Formulación y evaluación física-mecánica de biopelículas a base de gomas naturales	70
Utilización del gas de efecto invernadero (CO ₂) durante la deshidrogenación oxidativa de etano a etileno mediante los soportes binarios Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ y TiO ₂ -ZrO ₂	73
Simulación térmica de un colector solar de doble paso	80

I. Avances de la ingeniería química

El capítulo titulado “Avances en Ingeniería Química” presenta un panorama amplio y actualizado de los cambios más significativos que ha vivido esta disciplina frente a las exigencias científicas, tecnológicas y sociales del contexto actual. A lo largo del contenido se describen avances relevantes en ámbitos estratégicos como la creación de nuevos materiales, la mejora de procesos industriales, el uso eficiente de la energía y la adopción de tecnologías innovadoras, lo que reafirma la importancia de la ingeniería química en la construcción de un desarrollo más sostenible.

Un elemento central del capítulo es la atención que se da a la innovación aplicada al diseño de procesos más eficientes y con menor impacto ambiental. Se examinan progresos en el empleo de catalizadores, bioprocesos y herramientas de modelación, los cuales contribuyen a optimizar recursos, disminuir costos y elevar el desempeño de los sistemas industriales. De igual manera, se destaca la incorporación creciente de tecnologías digitales, como la simulación y el análisis de datos, que facilitan una toma de decisiones más precisa en el diseño y la operación de procesos químicos.

Asimismo, el texto pone de relieve el papel estratégico que desempeña la ingeniería química en sectores clave como el alimentario, el ambiental y el energético, enfatizando su aportación al logro de los objetivos de desarrollo sostenible. En su conjunto, el capítulo no se limita a exponer avances técnicos, sino que también promueve una reflexión sobre la responsabilidad social y ética del ingeniero químico frente a los retos globales, consolidando a la disciplina como un actor esencial del progreso científico y tecnológico.

EFFECTO DEL PRETRATAMIENTO DE NEJAYOTE EN EL SECADO DE PLÁTANO ROATÁN (MUSA CAVENDISH)

EFFECT OF NEJAYOTE PRETREATMENT ON THE DRYING OF ROATAN BANANA (MUSA CAVENDISH)

Martha Denisse Pacheco Méndez¹, Laura Victoria Aquino González², Itandehui Arriaga González³, Lilia Leticia Méndez Lagunas⁴.

Resumen — El nejayote, un subproducto líquido resultante de la nixtamalización, se ha estudiado por su alto contenido de compuestos bioactivos y para el procesamiento de alimentos. Se evaluó el efecto del pretratamiento con nejayote en los cambios de color de plátano Roatán (Musa Cavendish) posterior a su secado.

Se determinó el ΔL , Δa y Δb , Croma, Hue y ΔE en rodajas de plátano Roatán con y sin pretratamiento de nejayote blanco y azul. Se observó que el uso de pretratamientos de soluciones enriquecidas con bioactivos de nejayote favorece en la calidad de plátano durante el secado ya que inhibe el efecto térmico y contribuye en la preservación de sus características organolépticas y nutricionales.

Palabras clave: Nejayote, plátano, pretratamiento, secado.

Abstract — Nejayote, a liquid byproduct resulting from nixtamalization, has been studied for its high content of bioactive compounds and for food processing. The effect of nejayote pretreatment on the color changes of Roatán plantain (Musa Cavendish) after drying was evaluated.

ΔL , Δa and Δb , Chroma, Hue, and ΔE were determined in Roatán plantain slices with and without white and blue nejayote pretreatment. It was observed that the use of pretreatment solutions enriched with nejayote bioactives improves plantain quality during drying by inhibiting the thermal effect and contributing to the preservation of its organoleptic and nutritional characteristics.

Keywords: Nejayote, banana, pretreatment, drying.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad y aceptación de los alimentos dependen en gran medida de la preservación de sus atributos organolépticos y nutricionales. Aunque existen diversos métodos de conservación, muchos emplean aditivos químicos artificiales que, si bien son efectivos, no contribuyen a la salud e incluso pueden tener efectos adversos. El plátano (*Musa* spp.), fruto tropical altamente perecedero, representa un desafío postcosecha, especialmente con limitaciones de almacenamiento. (Hoyos-Leyva et al. 2012)

El nejayote, subproducto de la nixtamalización, ha emergido como una alternativa prometedora debido a su perfil fitoquímico (antocianinas, flavonoides y carotenoides) con actividad antioxidante, que podría sustituir aditivos sintéticos. (Ramírez-Romero et al., 2013).

Su aplicación en el secado de plátano no solo aprovecharía un residuo agroindustrial (reduciendo su impacto ambiental), sino que también mejoraría la retención de nutrientes y características sensoriales del producto deshidratado.

Este estudio se enfoca en el plátano Roatán, evaluando el efecto combinado del nejayote con dos tipos de maíz (blanco y azul) como pretratamientos antes del secado convectivo, teniendo como objetivo principal reducir la degradación de color durante el secado y promover la sostenibilidad mediante el uso de un producto que, de otro modo, podría generar problemas ambientales. (Espinosa-Solares & Gómez Aldapa, 2012).

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

1.- Preparación de muestras:

Se seleccionaron plátanos Roatán (*Musa Cavendish*) en estado de maduración que fueron cortadas transversalmente en rodajas con 3 mm de espesor utilizando un cortador manual.

2.-Pretratamientos con nejayote:

Se prepararon dos soluciones de nejayote:

- Nejayote de maíz blanco (PN1)
- Nejayote de maíz azul (PN2)

Las rodajas se sumergieron en cada solución a temperatura ambiente durante 30 minutos, como comparación de blanco se utilizaron rodajas sin tratamiento.

3.-Proceso de secado convectivo:

Las muestras pretratadas se secaron en un secador en bandejas con temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y una velocidad de aire de 2 m/s.

4.- Medición de color:

Se evaluó el color mediante un colorímetro MiniScan HunterLab Modelo EZ 4500L con el cual se tomaron tres disparos por tratamiento, registrados en la tabla 1, y comparados en la Figura 2, utilizando las ecuaciones siguientes:

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 20161759@itoaxaca.edu.mx, 0009-0009-3366-7067

² CIIDIR, laquino@ipn.mx, 0000-0002-8438-9791

³ CIIDIR, iarriagag1800@alumnoipn.mx , 0000-0003-1514-3699

⁴ CIIDIR, 0000-0002-3301-6354

$$\Delta L = L_1 - L_0 \quad (1)$$

$$\Delta a = a_1 - a_0 \quad (2)$$

$$\Delta b = b_1 - b_0 \quad (3)$$

$$C^* = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

$$\Delta E_{CIE}^* = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (6)$$

Figura 1. Escala de Color CIELAB.

Fuente. (Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B* - Konica Minolta Sensing, s. f.)

III. RESULTADOS

Se reveló en la tabla 1 que el nejayote de maíz azul (PN2) indujo el efecto más significativo en la estabilidad de color, evidenciado por un incremento en la luminosidad “ ΔL ” (Ec1) y una menor variación en los parámetros Δa (rojo-verde Ec2) y Δb (amarillo-azul Ec3) en comparación con el blanco sin tratamiento y nejayote blanco (PN1).

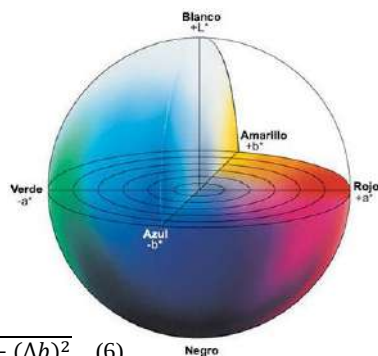
Adicionalmente, la menor diferencia total de color “ ΔE^*_{CIE} ” en PN2 mostrada en la tabla 2 confirmó su superioridad para minimizar alteraciones cromáticas durante el secado.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los hallazgos destacan el potencial del nejayote azul como tratamiento antioscurecedor, atribuible a su capacidad antioxidante y termoestabilidad, que mitiga la degradación pigmentaria, además la técnica CIELAB demostró ser la herramienta efectiva para cuantificar estos cambios respaldando el uso de subproductos de maíz en procesos de conservación de frutas.

V. REFERENCIAS

- Espinosa-Solares, T., & Gómez-Aldapa, C. A. (2012). Uso potencial del nejayote como fuente de compuestos funcionales en la industria alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(3), 593–606.
- Hoyos-Leyva, Javier Darío, Paula Andrea Jaramillo-Jiménez, Andres Giraldo-Toro, Dominique Dufour, Teresa Sánchez, y Juan Carlos Lucas-Aguirre. 2012. «Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa spp.*)». *Acta Agronómica* 61 (3): 214-29.
- Ramírez-Romero, G., Reyes-Velazquez, M., Cruz-Guerrero, A. (2013). Estudio del Nejayote como medio de crecimiento probiótico y producción de bacteriocinas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3):463-471.



ANEXOS

Tabla 1: Diferencia de color de cada pretratamiento.

	66.48	6.57	29.47

Fuente. Elaboración propia.

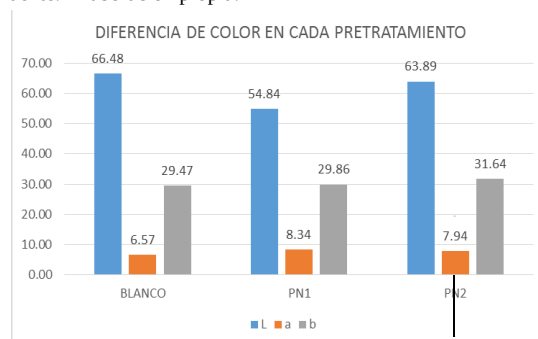


Figura 2. Gráfica de comparación del disparo con valor más alto.
Fuente. Elaboración propia.

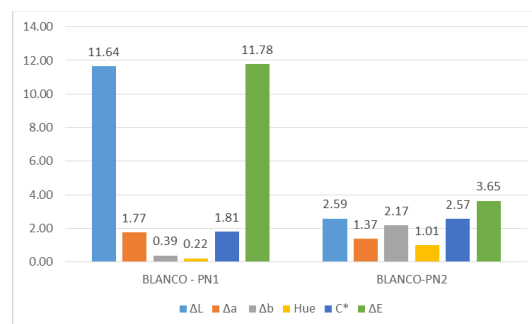


Figura 3. Gráfica de comparación del blanco contra cada pretratamiento.
Fuente. Elaboración propia.

ENCAPSULACIÓN Y SECADO DE EXTRACTOS VEGETALES Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

ENCAPSULATION AND DRYING OF PLANT EXTRACTS AND THEIR EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

Victoria Isabel Martínez¹, Laura Victoria Aquino², Itandehui Arriaga³, Lilia Leticia Méndez⁴

Resumen — Se elaboraron biopelículas a base de extractos vegetales de *Pinaropappus roseus*, planta utilizada tradicionalmente por sus propiedades antiinflamatorias. El objetivo fue desarrollar un material con potencial bioactivo para su uso como apósito en el tratamiento de lesiones cutáneas. Para ello, se emplearon matrices poliméricas de pectina y glicerol como plastificante, encapsulando el extracto mediante secado convectivo. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas, bioactivas y mecánicas de las películas obtenidas. Los resultados indicaron la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y esteroides, los cuales se conservaron tras el proceso de incorporación y secado. Se observaron buenos niveles de biodegradabilidad y adhesión en superficies biológicas, así como una alta capacidad cicatrizante en pruebas preliminares. Además, se identificó que la formulación con 1.5% de pectina presentó mayor contenido fenólico y capacidad antioxidante. Las películas mostraron características ópticas estables y estructuras homogéneas con bajo contenido de humedad. Este estudio propone una alternativa para el desarrollo biodegradable con potencial terapéutico de apósitos funcionales.

Palabras clave: antioxidantes, biopelícula, extracto vegetal, inflamación, *pinaropappus roseus*.

Abstract — Biofilms were developed using plant extracts from *Pinaropappus roseus*, a species traditionally recognized for its anti-inflammatory properties. The aim was to create a bioactive material suitable for use as a wound dressing in the treatment of skin lesions. To achieve this, polymeric matrices composed of pectin and glycerol (as a plasticizer) were employed, encapsulating the extract through convective drying. The resulting films were evaluated for their physicochemical, bioactive, and mechanical properties. The analysis confirmed the presence of phenolic compounds, flavonoids, tannins, and steroids, all of which were preserved throughout the incorporation and drying processes. The films exhibited favorable biodegradability and adhesion to biological surfaces, as well as promising healing capacity in preliminary evaluations. Additionally, the formulation containing 1.5% pectin demonstrated the highest phenolic content and antioxidant activity. The biofilms displayed stable optical properties, uniform structures, and low moisture content. Overall, this study presents a biodegradable alternative for the development with therapeutic potential of functional wound dressings.

Keywords: Biofilms, Antioxidants, inflammation, *Pinaropappus roseus*

I. INTRODUCCIÓN

El uso de plantas medicinales como alternativa terapéutica ha cobrado interés en la investigación científica debido a su alto contenido de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias (Alves da Paz et al. 2023). *Pinaropappus roseus* (espule), planta asterácea distribuida en el suroeste de México, es utilizada tradicionalmente para aliviar afecciones cutáneas inflamatorias, aunque su potencial terapéutico no ha sido científicamente validado (Cortés 2005, Rzedowski y Rzedowski 2001).

Diversos estudios han demostrado que los extractos vegetales, ricos en fenoles, flavonoides y otros metabolitos secundarios, pueden incorporarse en matrices poliméricas para desarrollar biopelículas funcionales con aplicaciones biomédicas, como apósitos para heridas (Aude Munin y Edwards-Lévy 2011; Acevedo-Fani et al. 2021). Estas películas permiten la liberación controlada del principio activo, protegen los compuestos sensibles y mejoran su biodisponibilidad (Ortiz-Romero et al. 2021). La pectina, polisacárido natural con capacidad gelificante, ha sido ampliamente usado en combinación con glicerol como plastificante para formular películas biodegradables (Muñoz Labrador 2016).

Investigaciones recientes han explorado el uso de extractos vegetales en sistemas de liberación tópica con efectos antioxidantes y cicatrizantes (Leong Loo et al. 2022), así como el comportamiento mecánico, óptico y biodegradabilidad de las películas (Solano Doblado et al. 2018). Sin embargo, no se han reportado estudios que documenten el uso de *P. roseus* en biopelículas con fines terapéuticos.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar biopelículas a base de extracto de *P. roseus* mediante técnicas de encapsulación con pectina y glicerol, evaluar sus propiedades bioactivas, mecánicas, fisicoquímicas y biodegradabilidad. Esta investigación busca validar científicamente el potencial del espule como agente antiinflamatorio natural y proponer una alternativa sostenible para el tratamiento de lesiones cutáneas.

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 19161142@itoaxaca.edu.mx, 0009-0000-9939-3470

² CIIDIR, laquino@ipn.mx, 0000-0002-8438-9791

³ CIIDIR, iarriagag1800@alumnoipn.mx, 0000-0003-1514-3699

⁴ CIIDIR, lmendezla@ipn.mx, 0000-0002-3301-6354

II. METODOLOGÍA

Se recolectaron hojas secas de *Pinaropappus roseus*, para la obtención del extracto vegetal se maceró en etanol al 50% y sonicó durante una hora. Posteriormente, se prepararon formulaciones poliméricas con pectina (0.5 a 2% p/v) y glicerol (1% p/v) como plastificante (Tabla 1). El extracto se incorporó en proporción fija y la mezcla fue vertida en moldes de silicón, secándose a 50°C por 12 horas hasta formar películas de aproximadamente 1mm. Las biopelículas se caracterizaron mediante análisis fitoquímico cualitativo. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas (color, humedad, solubilidad, rehidratación), bioactivas (contenido de fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu, capacidad antioxidante con DPPH) y biodegradabilidad en suelo. Además, se realizó una prueba in vivo para evaluar la capacidad cicatrizante en ratones.

El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$, utilizando el software Jamovi (v2.6.26).

Tabla 1. Formulación de las películas.

Código de película	E (%p/v)	P (%p/v)	G (%p/v)
EP.5	1	0.5	1
EP1	1	1	1
EP1.5	1	1.5	1
EP2	1	2	1

Fuente: elaboración propia.

III. RESULTADOS

Las películas conservaron metabolitos como fenoles, flavonoides, taninos, esteroides y cumarinas, demostrando la estabilidad de los compuestos bioactivos tras el secado (Tabla 2). Todas las formulaciones mostraron biodegradabilidad completa en un máximo de 13 días.

Tabla 2. Propiedades bioactivas de las películas

Formulación	Fenoles totales mg EAG/g	DPPH mg EAA/g
PE0.5	3.8986 ± 0.0240 ^a	4836 ± 122 ^a
PE1	2.8462 ± 0.0266 ^b	4806 ± 112 ^a
PE1.5	4.5074 ± 0.6969 ^a	4965 ± 175 ^a
PE2	2.6754 ± 0.1626 ^b	4413 ± 488 ^a

*Valor promedio ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$)

Fuente: elaboración propia.

La formulación PE1.5 presentó el mayor contenido de fenoles (4.51 mg EAG/g) y mayor actividad antioxidante, lo que sugiere una mayor retención de compuestos activos. Las pruebas in vivo mostraron actividad cicatrizante efectiva en heridas de ratón, con cierre de heridas en 11 días (ilustración 1).



Ilustración 1. Progreso de cicatrización en ratones.

Fuente: elaboración propia.

Las propiedades ópticas reflejaron cambios en luminosidad (L^*) y saturación (C^*), indicativos de la incorporación de pigmentos naturales (ilustración 2).

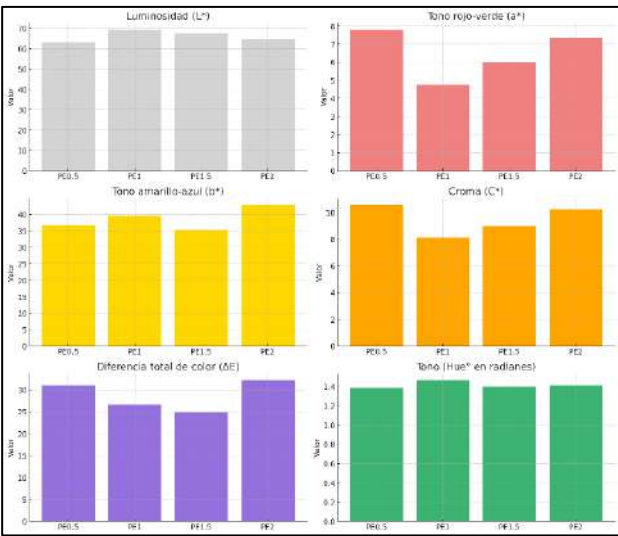


Ilustración 2. Propiedades ópticas de las películas

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Propiedades físicas de las películas

Formulación	Humedad	Rehidratación	Degradación	Solubilidad
PE0.5	5.74±2.17 ^a	1.54±0.099 ^a	5 días	17.9±0.22 ^a
PE1	5.72±0.77 ^a	3.99±0.74 ^a	11 días	20.5±1.70 ^a
PE1.5	4.51±2.05 ^a	11.56±1.52 ^a	12 días	20.1±1.82 ^a
PE2	5.30±0.16 ^a	52.20±21.81 ^a	13 días	21.8±1.23 ^a

*Valor promedio ± desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$)

Fuente: elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las películas elaboradas con extracto de *Pinaropappus roseus* mostraron propiedades fisicoquímicas y bioactivas adecuadas para su uso como apósitos biodegradables. Su biodegradabilidad, capacidad antioxidante y cicatrizante, respaldan su aplicación terapéutica. Estos resultados aportan evidencia científica al uso tradicional del espule y proponen una solución sostenible para el tratamiento de lesiones cutáneas.

V. REFERENCIAS

- Acevedo-Fani, A., L. Salcia-Trujillo, M. A. Rojas-Graü, y O. Martín-Belloso. 2021. "Edible Films from Essential-Oil-Loaded Nanoemulsions: Physical and Antimicrobial Properties." *Food Hydrocolloids* 111: 106271.
- Alves da Paz, M. E., D. D. Ferreira, M. E. Rodrigues Moreno, y D. M. Teixeira Sá. 2023. "Potencial de las Plantas Medicinales como Fuente de Bioactivos en la Industria Alimentaria: Una Revisión Sistemática." *CIAGRO*.
- Aude Munin, y F. Edwards-Lévy. 2011. "Encapsulation of Natural Polyphenolic Compounds: A Review." *Pharmaceutics* 3(4): 793–829.
- Cortés, José Luis. 2005. *Plantas Medicinales de Oaxaca*. Oaxaca: Instituto de Biología, UNAM.
- Leong Loo, C. Y., H. H. Goh, C. K. Lee, y C. H. Hong Chuah. 2022. "Chitosan-Based Nanoparticles for Wound Healing Applications: A Review." *Carbohydrate Polymers* 283: 119129.
- Muñoz Labrador, A. 2016. "Pectinas: Composición, Estructura y Aplicaciones." *Boletín del Instituto de Ciencias de la Salud* 23(1): 23–31.
- Ortiz-Romero, C., J. Ochoa-Martínez, y M. González-Herrera. 2021. "Encapsulación de Compuestos Bioactivos en Matrices Poliméricas." *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 20(3): 897–910.
- Rzedowski, Jerzy, y Graciela Calderón de Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. México: Instituto de Ecología A.C. y CONABIO.
- Solano Doblado, C. D., M. Alamilla Beltrán, y A. Jiménez Martínez. 2018. "Películas Biodegradables a Partir de Almidón y Mucílago de Nopal." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(6): 1205–1217.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE POLISACÁRIDOS EN LA TENSIÓN SUPERFICIAL

RASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF POLYSACCHARIDE CONCENTRATION ON SURFACE TENSION

Aguirre-Velasco R. A.¹, León-Martínez F. M.², Cano-Barrita P. F. de J.³

Resumen — Se estudió el efecto en la tensión superficial de la concentración de polisacáridos naturales en soluciones acuosas. Se evaluaron cinco polímeros naturales: alginato de sodio, goma arábica, goma welan, goma xantana y pectina cítrica. Las mediciones se realizaron mediante el método del anillo du Noüy. Los resultados obtenidos indicaron que es necesario un preanálisis con números adimensionales para validar el método de medición y obtener valores confiables de tensión superficial, así como el patrón de comportamiento de ésta con respecto a la concentración del soluto.

Palabras clave: Gomas, tensión superficial, tensiómetro de superficie

Abstract — The effect on surface tension of the concentration of natural polysaccharides in aqueous solutions was studied. Five natural polymers were evaluated: sodium alginate, gum arabic, welan gum, xanthan gum and citrus pectin. Measurements were performed using the du Noüy ring method. The results obtained indicated that a pre-analysis with dimensionless numbers is necessary to validate the measurement method and to obtain reliable surface tension values, as well as the pattern of surface tension behavior with respect to solute concentration.

Keywords: Gums, surface tension, surface tensiometer

I. INTRODUCCIÓN

La tensión superficial es relevante en la naturaleza e industria química. En procesos químicos interviene en la formación de microgotas, formación de espumas y emulsiones (Dongqing, Li 2015). El efecto de la concentración de alginato de sodio, pectina, carboximetilcelulosa y goma welan en disolución acuosa ha sido abordado por Boon-Beng Lee y colaboradores (Lee et al. 2012) usando distintos métodos de medición, sugiriendo que la tensión superficial tiende a disminuir con respecto a la concentración. Sin embargo, el método de medición influye en la reproducibilidad y tendencia observada. Se esperaría independientemente del método utilizado una tendencia decreciente debido a la isoterma de adsorción de Gibbs (Ecuación 1). (Sandoval Ibarra, López Cervantes, y Fadrique 2015)

$$\Gamma = - \frac{x}{RT} \frac{d\gamma}{dx} \quad (1)$$

donde x es la concentración del soluto, γ es la tensión superficial de la solución, R es la constante de los gases ideales, T es la temperatura y Γ es el exceso de concentración en la superficie.

Este problema puede deberse al mecanismo de detección utilizado para calcular la tensión superficial. Por lo tanto, si se considera un preanálisis de los resultados empleando el cálculo de números adimensionales que están involucrados en el fenómeno, permitiría la selección adecuada y obtener los patrones reales de la dependencia de la tensión superficial con respecto a la concentración (Dongqing, Li 2015).

II. MATERIALES Y MÉTODO

Se utilizaron los siguientes polisacáridos comerciales: goma xantana (GX), goma welan (GW), goma arábica (GA), pectina cítrica (PEC) y alginato de sodio (ALGC). Se prepararon disoluciones acuosas por homogenización y una posterior agitación magnética en un rango de concentraciones de 0.015625–0.250 % p/p. Se utilizó un prototipo de tensiómetro de fuerza basado en la propuesta de Julian y colaboradores (Traciak, Fal, y Zyla 2021) (Figuras 1 y 2). Se calcularon los números adimensionales (Tabla I) de Reynolds (Ecuación 2), Weber (Ecuación 3), Ohnesorge (Ecuación 4), Bond (Ecuación 5) y Capilar (Ecuación 6) con el objetivo de determinar si los valores de tensión superficial obtenidos con el método del anillo son válidos. Se midió en triplicado la tensión superficial mediante el valor de fuerza máxima de las curvas de fuerza contra tiempo a 25 °C considerando el procedimiento descrito en la norma ASTM-D971 (ASTM International 2020).

Tabla I. Lista de números adimensionales usados en el preanálisis de la tensión superficial de polisacáridos.

Número adimensional	Ecuación	Relación de fenómenos
Reynolds (Re)	$\frac{\rho v d}{\mu} \quad (2)$	Fuerzas de inercia/ Fuerza viscosa
Weber (We)	$\frac{\rho v^2 d}{\sigma} \quad (3)$	Fuerzas de inercia/ Tensión superficial
Ohnesorge (Oh)	$\frac{\mu}{\sqrt{\rho \sigma d}} \quad (4)$	Fuerza viscosa/Inercia * Tensión superficial
Bond (Bo)	$\frac{\rho g d^2}{\sigma} \quad (5)$	Fuerzas gravitacionales/ Tensión superficial
Capilar (Ca)	$\frac{\rho \mu v}{\sigma} \quad (6)$	Fuerzas viscosas/ Tensión superficial

Donde ρ es la densidad del fluido, v la velocidad de desplazamiento del tensiómetro, d diámetro del anillo, μ la viscosidad dinámica del fluido, σ tensión superficial y g es la aceleración de la gravedad.

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 19161065@itoaxaca.edu.mx, ORCID: 0009-0004-8135-0527

² Instituto Politécnico Nacional, fmleonm@ipn.mx, ORCID: 0000-0001-9817-2713

³ Instituto Politécnico Nacional, pcano@ipn.mx, ORCID: 0000-0003-3501-283X



Figura 1. Dispositivo construido para la medición de la tensión superficial por el método del anillo du Noüy

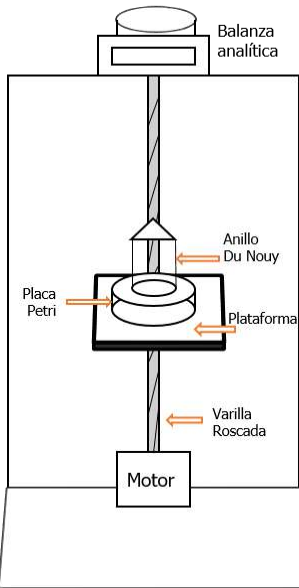


Figura 2. Esquema del tensiómetro de superficie.

III. RESULTADOS

Los valores promedio de tres repeticiones de la medición de tensión superficial se muestran en la Tabla II.

El preanálisis adimensional realizado para discriminar los datos afectados por otras fuerzas o fenómenos se reporta en la Tabla III. En el caso de tener resultados afectados por otras fuerzas, se realizaron mediciones entre los rangos de concentración donde las fuerzas de tensión superficial dominaran en el polisacárido.

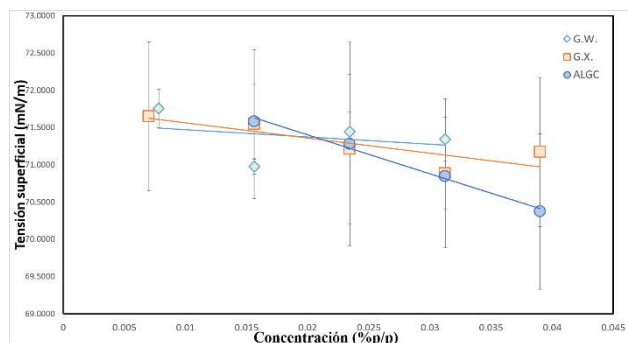
Tabla II. Valores de tensión superficial (mN/m) obtenidos por el método del anillo du Noüy.

Sust.	Concentración × 10 ⁻³ (% p/p)								
	7.81	15.62	23.43	31.25	39.06	46.87	62.5	125.0	250.0
GW	71.39	71.75	70.98	71.45	71.34	63.99	61.62	52.49	42.99
GX	71.65	71.54	71.21	70.88	71.17	--	62.55	43.70	42.16
PEC	--	71.22	--	70.83	--	--	70.52	69.30	65.80
GA	--	70.47	--	69.59	--	--	69.87	68.39	70.18
ALG C	--	71.58	71.28	70.85	70.37	71.01	64.53	59.39	56.36

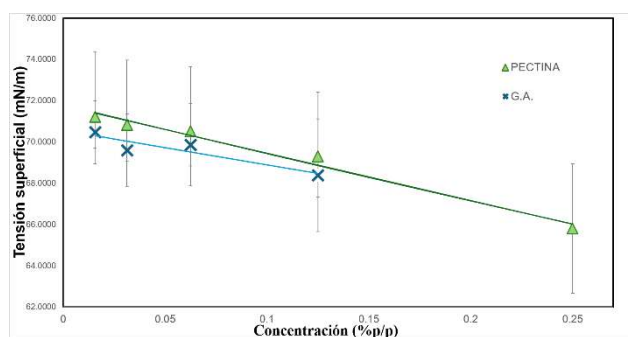
Tabla III. Números adimensionales calculados para cada medición de tensión superficial

Sust.	Concentración × 10 ⁻³ (%p/p)	Números adimensionales					
		Re × 10 ⁻⁴	We × 10 ⁻⁷	Oh	Bo × 10 ⁻⁵	Ca × 10 ⁻⁴	
GW	15.625	8.3	2.2	0.56	1.4	2.6	
	31.25	6.4	2.2	0.72	1.4	3.4	
	62.5	2.2	2.5	2.33	1.6	12	
	125	0.53	3	10.3	1.9	57	
	250	0.083	3.6	72.35	2.3	440	
GX	15.625	5.3	2.2	0.93	1.4	3.3	
	31.25	3.6	2.2	1.03	1.4	5.4	
	62.5	3.1	2.2	1.6	1.6	8	
	125	0.87	3.6	7.42	2.2	44	
	250	0.64	3.7	64.75	2.3	390	
PEC	15.625	13	2.2	0.18	1.4	1.7	
	31.25	12	2.2	0.39	1.4	1.8	
	62.5	11	2.2	0.44	1.4	2.1	
	125	8.7	2.3	0.55	1.5	2.6	
	250	6.4	2.4	0.76	1.5	3.7	
GA	15.625	16	2.2	0.3	1.4	1.4	
	31.25	16	2.2	0.3	1.4	1.4	
	62.5	15	2.2	0.31	1.4	1.5	
	125	15	2.3	0.32	1.4	1.5	
	250	14	2.2	0.33	1.4	1.6	
ALGC	15.625	7.5	2.2	0.65	1.4	2.9	
	31.25	4.5	2.2	1.05	1.4	4.9	
	62.5	2.7	2.4	1.81	1.5	8.9	
	125	1.6	2.6	3.15	1.7	16	
	250	0.79	2.8	6.68	1.7	71	
Dominio fuerzas de tensión superficial							
Dominio de otras fuerzas							

La Figura 3 muestra las tendencias observadas en la tensión superficial con respecto a la concentración de los polímeros estudiados.



(a)



(b)

Figura 3. Tendencia de la tensión superficial con respecto a la concentración del biopolímero después de la preselección de los datos por el análisis adimensional: Datos de GW, GX y ALGC (a) y datos de PEC y GA (b).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El comportamiento de la tensión fue decreciente con respecto al incremento de la concentración de los polisacáridos probados a 25 °C, coincidiendo con la predicción de la ecuación de adsorción de Gibbs, la cual predice que cuando aumenta la concentración del polímero en solución este tiende a adsorberse en la interfaz (aire-solución), actuando como agentes tensioactivos, ocupando espacio en la interfaz y reduciendo la energía necesaria para mantenerla, a medida que aumenta su concentración, la cobertura es mayor y la tensión disminuye.

El número de Oh indicó que a concentraciones mayores de 0.0625 % p/p de goma welan, goma xantana y alginato de sodio, las fuerzas dominantes fueron viscosas. En consecuencia, estos exhiben alta resistencia al desacople del anillo sumergido dentro del biopolímero, perjudicando la detección correcta de la fuerza máxima.

IV. REFERENCIAS

Li, Dongqing, 2008. *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-48998-8>

Lee, Boon-Beng, Eng-Seng Chan, Pogaku Ravindra, y Tanveer Ahmad Khan. 2012. *Surface Tension of Viscous Biopolymer Solutions Measured Using the Du Nouy Ring Method and the Drop Weight Methods*. Polymer Bulletin 69 (4): 471-89. <https://doi.org/10.1007/s00289-012-0782-2>.

Sandoval Ibarra, Federico D., José L. López Cervantes, y Jesús Gracia Fadrique. 2015. *Ecuación de Langmuir en líquidos simples y tensoactivos*, 12 de agosto de 2015.

Traciak, Julian, Jacek Fal, y Gawel Żyła. 2021. *3D Printed Measuring Device for the Determination the Surface Tension of Nanofluids*. Applied Surface Science 561 (septiembre):149878. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149878>.

ASTM D971-20 Standard test method for interfacial tension of insulating liquids against water by the ring method, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2020.

V. ANEXOS

Tabla IV. Datos de viscosidad dinámica a 25 °C (mPa·s)

Conc. $\times 10^{-3}$ (%p/p)	Sustancia				
	GW	GX	GA	PEC	ALGC
15.625	1.084	1.430	0.794	0.948	1.655
31.25	1.490	2.639	0.798	1.043	2.781
62.5	5.787	4.012	0.827	1.178	4.600
125	23.420	15.507	0.844	1.442	7.654
250	---	132.98	0.868	1.953	15.879

Tabla V. Datos de densidad a 25 °C (g/mL)

Conc. $\times 10^{-3}$ (%p/p)	Sustancia				
	GW	GX	GA	PEC	ALGC
15.625	0.9980	0.9985	0.9982	0.9968	0.9977
31.25	0.9989	0.9991	0.9995	0.9981	0.9965
62.5	0.9991	0.9995	0.9995	0.9989	0.9976
125	0.9992	1.0004	0.9997	0.9995	0.9968
250	0.9994	1.0005	1.0006	1.0004	1.0013

II. Ciencia y tecnología para el desarrollo regional

El capítulo “Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Regional” analiza el papel que desempeñan el conocimiento científico y la innovación tecnológica como motores del crecimiento económico y social en los distintos territorios. El texto plantea que el desarrollo regional no puede entenderse de manera homogénea, sino que debe construirse a partir de las necesidades, recursos y capacidades propias de cada región, donde la ciencia y la tecnología funcionan como herramientas clave para fortalecer la competitividad local.

A lo largo del capítulo se examina cómo la vinculación entre instituciones académicas, centros de investigación, sector productivo y gobiernos locales favorece la generación de soluciones adaptadas al contexto regional. Se destacan ejemplos de transferencia de tecnología, formación de capital humano y aprovechamiento del conocimiento para impulsar actividades productivas estratégicas, lo que permite reducir brechas de desarrollo y promover economías más dinámicas e inclusivas.

Asimismo, el texto subraya la importancia de orientar la investigación científica hacia la atención de problemas concretos de la región, como el uso eficiente de los recursos, la innovación en procesos productivos y el fortalecimiento del tejido social. Más allá de exponer avances técnicos, el capítulo invita a reflexionar sobre la responsabilidad social de la ciencia y la tecnología, señalando que su impacto real se logra cuando contribuyen de manera directa al bienestar de la población y al desarrollo sostenible de las comunidades.

CARACTERIZACIÓN DE LEVADURAS AISLADAS DE *Agave angustifolia* PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL.

CHARACTERIZATION OF YEASTS ISOLATED FROM *Agave angustifolia* FOR THE PRODUCTION OF CRAFT BEER.

Angel Axhel Abascal¹, Edmar de Jesus Díaz², Marco Antonio Sánchez³

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 estas 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 *Agave angustifolia* en un palenque mezcalero de Oaxaca, evaluando su crecimiento, viabilidad y capacidad fermentativa considerando las variables de grados brix (°Bx) y densidad (SG) para determinar su potencial uso en la elaboración de cerveza artesanal.

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 density (SG) to determine their potential use in craft beer production.

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/MATERIALES Y MÉTODOS

Las cepas fueron aisladas en un palenque mezcalero del municipio de Santiago Matatlán, Oaxaca; en dos etapas del proceso de producción del mezcal: maguey cocido y molido. Las cepas aisladas se reactivaron en caldo en mosto cervecero de malta base pale ale 2H, se realizaron ensayos para evaluar crecimiento y viabilidad de las levaduras al cabo de 72 h de incubación a 28 ± 2 °C. Por otro lado, durante cinco días de incubación a 28 ± 2 °C se evaluaron las variables de grados brix (°Bx) y densidad (SG). Para todos los ensayos se utilizó como control la levadura comercial tipo ale safale-05 incubada en las mismas condiciones.

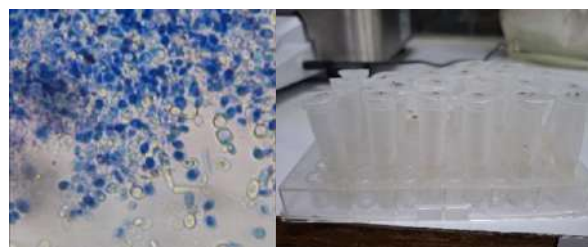


Figura 1. Levadura aislada de *Agave angustifolia*.
Fuente. Elaboración propia

III. RESULTADOS

Las cepas de maguey cocido (CO) y molido (MO) mostraron valores similares para grados brix y densidad con respecto al control (safale-05), podemos observar en las gráficas 1 y 2 que las levaduras silvestres muestran la misma tendencia que el control, por lo que podemos sugerir que las levaduras silvestres, tienen la misma capacidad para consumir azúcares fermentables. Del mismo modo, las levaduras silvestres tienen crecimiento similar al control, con un promedio de 3.67×10^9 levaduras/ml, sin embargo, las levaduras silvestres tienen un mejor porcentaje de viabilidad.

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 21161121@itoaxaca.edu.mx, 0009-0009-0760-1718

² CONAHCYT-Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, edg.89@live.com.mx, 0000-0002-9161-7027

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-1411-5955

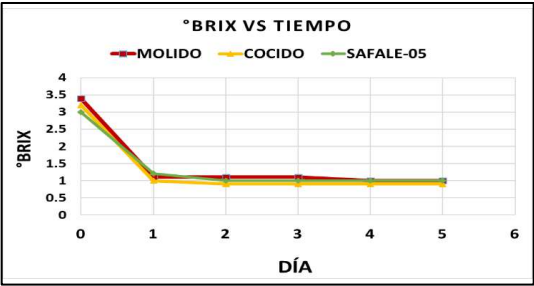


Figura 2. Consumo de azúcares fermentables, medición de °Bx
Fuente. Elaboración propia

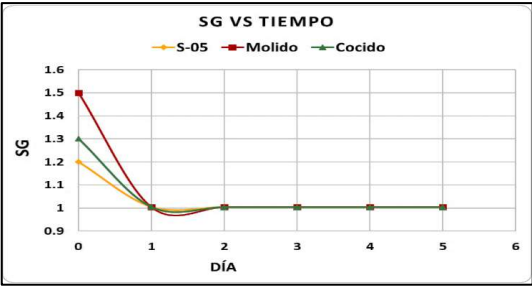


Figura 3. Consumo de azúcares fermentables, medición de SG.
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 1: Numero de levaduras y porcentaje de viabilidad después de 72 h de incubación a 28 ±2°C.

LEVADURA					
SAFALE-05		MOLIDO		COCIDO	
Levaduras	Viabilidad	Levaduras	Viabilidad	Levaduras	Viabilidad
(levaduras/ml)	(%)	(levaduras/ml)	(%)	(levaduras/ml)	(%)
3.89 x 10 ⁹	80.23 %	3.19 X 10 ⁹	88.96 %	3.95 x 10 ⁹	86.16 %

Fuente. Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las levaduras aisladas de maguey cocido y molido mostraron un comportamiento similar al de la levadura comercial safale-05, cultivas en mosto cervecero y a una temperatura de 28±2 °C, presentando valores similares para las variables de grados brix, densidad y crecimiento de levaduras, por otro lado, las levaduras silvestres presentaron mejores porcentajes de viabilidad en comparación con el control safale-05.

V. REFERENCIAS

[1] Kay Guerberoff, G., Marchesino, M. A., Lopez, P. L., & Olmedo, R. H. (2020). *El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación*. Nexa agropecuario, 8(1), 52-59.

[2] Benites Fernández, K. I. (2024). *Impacto de la aplicación de tres variedades de levaduras (S. cerevisiae, S. pastorianus, S. bayanus) en la producción de cerveza artesanal tipo lager* (Bachelor's thesis, Babahoyo, Ecuador).

[3] Burini, J. A. (2023). *Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado*.

CARACTERIZACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO DE MANGO ATAULFO EN UN TÚNEL DE SECADO

RCHARACTERIZATION OF ATAULFO MANGO DRYING KINETICS IN A TUNNEL DRYER

Leticia Arely Callejas Pérez¹, Carolina Romero-Salazar², Omar Augusto Hernández-Flores³, Sadoth Sandoval-Torres⁴

Resumen — Se caracterizó el proceso de secado convectivo de mango Ataulfo (*Mangifera caesia* Jack ex Wall) con geometría de placa delgada, mediante el análisis de su cinética de secado en un túnel de flujo transversal, en el que se controló la temperatura y la velocidad del flujo de aire. Para ello se realizaron 9 experimentos, 3 principales y 2 réplicas. Durante el secado, se monitoreó la pérdida de masa cada 10 minutos hasta que su variación fuera de 0.001 g. El contenido de humedad se determinó mediante el método gravimétrico de estufa con tiro forzado. El mango es un material biológico viscoelástico, poroso altamente complejo, en este trabajo se consideró como un material homogéneo para calcular el coeficiente de difusión efectiva en el régimen de flujo turbulento. Se determinó que la temperatura óptima de secado es de 60°C, donde la velocidad del aire influye más que la temperatura en el proceso de secado. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en la literatura y permiten establecer parámetros clave para la implementación de tecnologías de secado que empleen energía solar.

Palabras clave: coeficiente efectivo de difusión, mango Ataulfo, material viscoelástico, placa infinita, secado convectivo.

Abstract — The convective drying process of Ataulfo mango (*Mangifera caesia* Jack ex Wall) with thin plate geometry was characterised by analysing its drying kinetics in a cross-flow tunnel, in which temperature and air flow velocity were controlled. For this purpose, 9 experiments were carried out, 3 main and 2 replicates. During drying, the mass loss was monitored every 10 minutes until its variation was 0.001 g. Moisture content was determined by the gravimetric forced draught oven method. Mango is a highly complex, porous, viscoelastic biological material, in this work it was considered as a homogeneous material to calculate the effective diffusion coefficient in the turbulent flow regime. The optimum drying temperature was determined to be 60°C, where the air velocity influences the drying process more than the temperature. The results obtained are in agreement with those reported in the literature and allow establishing key parameters for the implementation of drying technologies using solar energy.

Keywords: Ataulfo mango, convective drying, effective diffusion coefficient, infinite plate, viscoelastic material.

I. INTRODUCCIÓN

El mango Ataulfo (*Mangifera caesia* Jack ex Wall) es un producto de origen mexicano con denominación de origen del Soconusco, Chiapas. En 2018 la producción de mango en Oaxaca alcanzó las 148 mil 400 toneladas, ubicándolo en el sexto lugar nacional; de esta producción se exportaron más de 39 mil toneladas de mango de las variedades Tommy y Ataulfo a los Estados Unidos, Canadá y Europa (Gobierno del Estado de Oaxaca 2019). Lo anterior sugiere que Oaxaca exportó el 26% de su producción y del 74% que no cumplió con los estándares de exportación, un porcentaje se vendió en el mercado nacional y el resto se desechó.

Si bien es notable el crecimiento del mercado nacional e internacional, la industria de la transformación en Oaxaca es aún incipiente, en el Istmo de Tehuantepec hay una sola empresa de deshidratado de frutas (Hernández-Nolasco 2023). El secado es uno de los métodos de conservación más antiguos empleado por el hombre para productos industriales y agrícolas.

Caracterizar el proceso de secado de mango a través de la aplicación de aire caliente, permite conocer el tiempo de secado, la distribución y evolución de la temperatura, el contenido de humedad, los mecanismos de transferencia de calor y masa de este material, así como validar modelos matemáticos de la cinética de secado, todo ello para diseñar dispositivos de secado eficientes o mejorar tecnologías existentes.

En 2006 (Goyal et al. 2006) estudiaron el comportamiento del secado en capa fina de rodajas de mango verde en un secador de túnel de aire de laboratorio. Las muestras se secaron a 55°C, 60°C y 65 °C, con y sin pretratamiento. El modelo de Page describió satisfactoriamente el comportamiento de secado de las rodajas de mango. El contenido de humedad final de las muestras secadas en diferentes condiciones osciló entre el 8% y el 12% (d.b.). El pretratamiento tuvo efecto sobre el transporte de la humedad en las muestras mientras que la temperatura tuvo un efecto importante en el secado, ya que a 65°C el tiempo de secado fue menor para todas las muestras. (Corzo, Bracho, and Alvarez 2008) determinaron el

¹ Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, 174175.fasbit@uabjo.mx, <https://orcid.org/0009-0006-9428-1270>

² *Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, cromero.cat@uabjo.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8559-595X>

³ Facultad de Sistemas Biológicos e Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca, oherandez.ciencias@uabjo.mx, <https://orcid.org/0000-0002-0852-9297>

⁴ Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca, ssandovalt@ipn.mx, <https://orcid.org/0000-0001-8518-1362>

coeficiente de difusión efectiva del agua de rodajas con un espesor promedio de 3 mm de mango verde y semimaduro, el secado se llevó a cabo a cuatro temperaturas del aire de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C y a velocidades de aire de 1.80 y 1.91 m/s. Con una solución simplificada de la segunda ley de Fick para la difusión, a partir de una geometría de placa plana, se determinó el coeficiente de difusión de 1.74×10^{-10} a $3.15 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y entre 2.30×10^{-10} a $3.28 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para las rodajas de mango verde y semimaduro, respectivamente. En general, el coeficiente de difusión aumentó proporcional a la temperatura y a la velocidad del aire. El coeficiente de difusión del agua en el mango verde fue menor al del mango con maduración media (CORZO, BRACHO, and ALVAREZ 2011). Se ha investigado cómo varían las características del secado convectivo de rebanadas de mango Amelie a diferentes temperaturas (50°C, 60°C y 70°C) y espesores (2.5 mm, 5 mm y 10 mm). (Dissa et al. 2008) reportaron que las tasas de secado aumentan con la temperatura y disminuyen con el grosor de las rodajas. La difusividad efectiva del agua es mayor en las rodajas más delgadas y a temperaturas más altas. Lo cual es un antecedente para entender cómo la temperatura, el espesor y el encogimiento afectan el proceso de secado de mango en capas delgadas, la tasa de secado y la difusividad.

El objetivo de este trabajo es caracterizar de la cinética de secado, en un ambiente controlado, a través de la obtención de datos experimentales del secado de rebanadas con geometría de placa delgada de mango Ataulfo, en un túnel de secado aplicando flujo de aire caliente, a tres temperaturas diferentes y en régimen turbulento.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

El secado convectivo con aire caliente de muestras de mango Ataulfo se llevó a cabo en el Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, en un túnel de flujo transversal, con número de patente 304462, así como en una estufa de vacío marca VWR Scientific, modelo 1415. Se llevaron a cabo 9 experimentos, 3 experimentos principales y 2 réplicas, en los que se monitoreó la masa de las muestras de mango en función del tiempo a tres temperaturas diferentes y a una la velocidad del aire; el cálculo del contenido de humedad se basó en el método AOAC. Los experimentos y sus réplicas, a las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C y velocidad de 1.3 m/s del aire se realizaron de manera aleatoria. El túnel de flujo convectivo transversal es un secador de bandejas donde el aire caliente fluye perpendicular a tres bandejas paralelas entre sí, donde se colocan las muestras del material a secar. Una vez que la velocidad del flujo de aire se estabiliza y su temperatura ya no presenta oscilaciones significativas, se puede iniciar el proceso de secado.

En todos los experimentos se utilizó mango Ataulfo con maduración media, por la naturaleza de la investigación, los mangos no requirieron pretratamiento, únicamente lavado y remoción de su cáscara.

Las muestras que se secaron en el túnel tenían una geometría de placa delgada de $5 \times 3 \times 0.3 \text{ cm}^3$; para el secado en estufa se usaron cubos de 1 cm^3 . En cada experimento se deshidrataron 7 muestras en el túnel y 3 en la estufa. En la bandeja media se colocaron cuatro muestras, en dos se monitoreó la temperatura utilizando termopares de contacto, las otras dos fungieron como muestras testigo. En la bandeja inferior se colocaron tres muestras, cada una de ellas se pesó manualmente cada 10 min, hasta que la diferencia entre dos lecturas consecutivas de la masa fue de 0.001 g.

Para el censado de la temperatura de las muestras se utilizaron un termómetro de termopar Marca HTI modelo HT-9815, que permite la lectura de los datos en tiempo real, así como un termohigrómetro con registrador de datos y termopar tipo K modelo BK Precision 725, con este último también se monitoreó la humedad relativa.

Como medida adicional para corroborar la temperatura y humedad relativa del aire, se utilizó el medidor de temperatura y humedad manual marca VAISALA modelo HM70 (Helsinki, Finlandia). Para el monitoreo de la pérdida de masa se utilizó la balanza analítica marca Denver Instruments modelo P-214.

En cada uno de los experimentos se calculó el contenido de humedad en base seca X con los datos del secado en estufa por medio de la ecuación:

$$X = \frac{(m_i - m_f)}{m_f}, \quad (1)$$

donde

m_i = masa inicial de la muestra colocada en la estufa.

m_f = masa final de la muestra después de 48 horas.

Con el contenido de humedad se obtiene el peso seco PSC :

$$PSC = \frac{M_i}{(X + 1)} \quad (2)$$

donde M_i = masa inicial de la muestra del túnel.

Con el PSC obtenido del secado en estufa, se calcula el contenido de humedad en cada instante de tiempo:

$$X_x = \frac{m_x - PSC}{PSC} \quad (3)$$

donde m_x = masa de la muestra secada en el túnel.

Con los datos obtenidos de la pérdida del contenido de humedad con respecto al tiempo se obtiene la cinética de secado de cada una de las muestras, así como el tiempo en el que la muestra ya no pueda perder más humedad. La rapidez de secado se obtuvo con una aproximación numérica de la derivada de datos dispersos, una diferenciación numérica regularizada (Jakub Wagner 2024).

III. RESULTADOS

Se presentan los resultados de las muestras deshidratadas a 50°C, 60°C y 70°C, todos los experimentos se realizaron a una velocidad promedio del aire de 1.3 m/s. En la figura 1 se observa que las cinéticas de secado presentan el comportamiento típico que establece la teoría de la cinética de secado. Los contenidos de humedad inicial fueron $X = 5.205$, 5.308 y 5.244 [g.m.hum/g.m.seca] para las muestras a 50°C, 60°C y 70°C respectivamente. En el periodo con velocidad decreciente, la curva inicia antes si la temperatura es mayor y tiende a ser más pronunciada conforme aumenta la temperatura. Se observa que la velocidad del flujo del aire tiene un efecto significativo en la reducción del tiempo de secado. Los contenidos de humedad final obtenidos en los experimentos fueron $X = 0.045$, 0.012 y 0.075 [g.m.hum/g.m.seca] transcurridos 160, 140 y 110 minutos para las muestras deshidratadas a 50°C, 60°C y 70°C respectivamente.

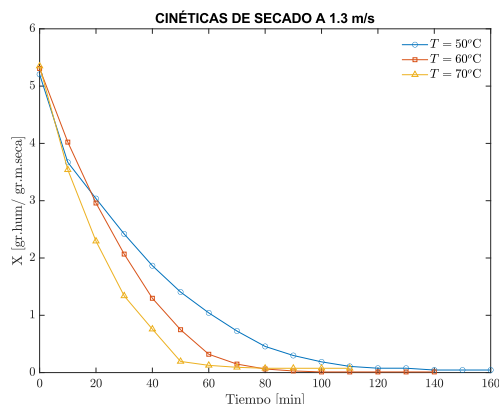


Figura 1 Cinética de secado a tres temperaturas de secado.

En la figura 2 se presenta las curvas de la rapidez de secado con respecto al tiempo, se puede observar que, a la temperatura de 60°C, la rapidez de secado inicia antes que a 50°C y 70°C. En la etapa de velocidad decreciente

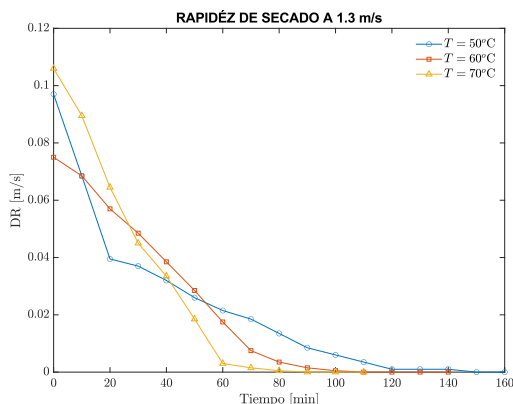


Figura 2 Rapidez de secado a tres temperaturas de secado.

todas las curvas tienen el comportamiento estándar que establece la teoría, se observa que la segunda fase de decaimiento de la velocidad a 70°C esta es más pronunciada en comparación con los otros dos casos.

En la figura 3 se presentan las curvas de la tasa de secado, se observa que a 70°C la curvatura es más pronunciada a medida que el contenido de humedad disminuye, el impacto del flujo de aire es que el contenido de humedad disminuye en un periodo más corto de tiempo de secado. Los valores del coeficiente de difusión efectiva encontrados fueron $D_{ef} = 6.3720 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $D_{ef} = 9.5181 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. El orden de magnitud de D_{ef} coincide con los valores reportados en la literatura.

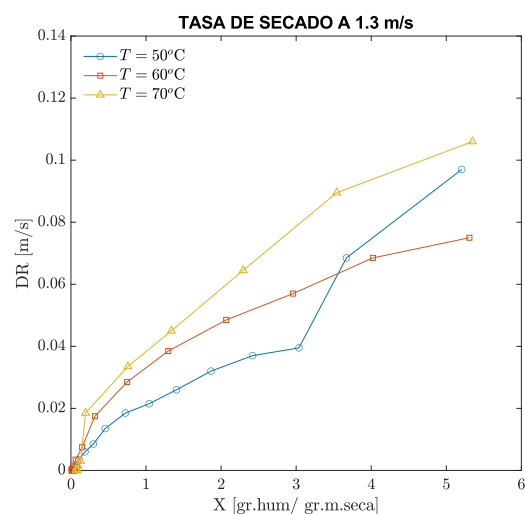


Figura 3 Tasa de secado a tres temperaturas de secado.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue obtener datos experimentales que contribuyan a la caracterización de la cinética de secado convectivo del mango en un ambiente controlado; esta etapa es necesaria para la implementación de tecnologías de secado domésticas. En condiciones de flujo turbulento dentro del túnel, se identificó que la temperatura óptima de secado fue de 60°C ya que la tasa de secado presentó un comportamiento monótono decreciente, es decir sin presentar cambios abruptos en la difusión de la humedad. En contraste, a la temperatura de 70°C, se observó que la primera fase de secado ocurre en un tiempo muchas más corto en comparación de los experimentos a menores temperaturas, por lo que la transición a la fase constante de la cinética de secado fue más abrupta. Este comportamiento podría deberse a la formación de una costra superficial que limitó la migración de humedad

ligada y disminuyó la difusión de humedad, resultando en un contenido de humedad final mayor que el obtenido a temperaturas de 50 y 60 °C. El orden de magnitud del coeficiente de difusión efectiva del agua obtenido en este trabajo es igual al de los valores reportados en trabajos experimentales de secado convectivo de mango con aire caliente.

Las frutas son materiales viscoelásticos, porosos, con una estructura extremadamente compleja y multifásica, por lo que existen múltiples maneras de abordar este tipo de sistemas, en particular, la manera más simple es homogeneizando el medio y obteniendo parámetros efectivos del proceso de secado. En este trabajo se consideró al mango como un material homogéneo y, por consecuencia, todos los valores calculados son valores efectivos. Debido a que el espesor de cada una de las muestras fue menor en un orden de magnitud que su ancho y largo, es válido considerar cada muestra como una placa delgada, con ello es válido comparar los resultados experimentales con modelos unidimensionales.

Una línea de investigación a futuro es el estudio del encogimiento del mango Ataulfo durante el secado, de la conductividad térmica y viscosidad del mango, para refinar los modelos matemáticos de la cinética de secado y predecir el proceso de secado que puede afectar la difusión de humedad y la calidad final del producto.

V. REFERENCIAS

- Corzo, Otoniel, Nelson Bracho, and Carlos Alvarez. 2008. "Water Effective Diffusion Coefficient of Mango Slices at Different Maturity Stages during Air Drying." *Journal of Food Engineering* 87 (4): 479–84.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.025>.
- CORZO, OTONIEL, NELSON BRACHO, and CARLOS ALVAREZ. 2011. "DETERMINATION OF SUITABLE THIN LAYER MODEL FOR AIR DRYING OF MANGO SLICES (*Mangifera Indica* L.) AT DIFFERENT AIR TEMPERATURES AND VELOCITIES." *Journal of Food Process Engineering* 34 (2): 332–50.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00360.x>.
- Dissa, A.O., H. Desmorieux, J. Bathiebo, and J. Koulidiati. 2008. "Convective Drying Characteristics of Amelie Mango (*Mangifera Indica* L. Cv. 'Amelie') with Correction for Shrinkage." *Journal of Food Engineering* 88 (4): 429–37.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.008>.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. 2019. "Exporta Oaxaca Más de 39 Mil Toneladas de Mango a Los EU, Canadá y Europa." <https://www.oaxaca.gob.mx/comunicacion/exp>
- orta-Oaxaca-Mas-de-39-Mil-Toneladas-de-Mango-a-Los-Eu-Canada-y-Europa/. February 28, 2019.
- Goyal, R.K., A.R.P. Kingsly, M.R. Manikantan, and S.M. Ilyas. 2006. "Thin-Layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices." *Biosystems Engineering* 95 (1): 43–49.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.001>.
- Hernández-Nolasco, Lilián. 2023. "La Cadena Productiva Del Mango. Factor Clave Para El Desarrollo Local En La Zona Oriente Del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca." *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, May.
<https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1288>.
- Jakub Wagner. 2024. "Regularised Numerical Differentiation." MATLAB Central File Exchange. 2024.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74165-regularised-numerical-differentiation>.

EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CAROTENOIDES EN MAÍCES NATIVOS DE OAXACA

EVALUATION OF THREE METHODS OF CAROTENOID EXTRACTION IN NATIVE CORN OF OAXACA

Sánchez Velasco Williams¹, Pérez Mendoza Fernando², Varapizuela Sánchez Carlos Francisco³, Sánchez Medina Marco Antonio⁴

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 raza 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 bibliografías encontrando que el método de extracción más eficiente fue el reportado por PÁDURET, et al., (2016) el cual utiliza cloroformo como solvente.

Palabras clave: Carotenos, extracción, maíz, nativos.

Abstract — Mexico has a great diversity of native corn, this variation is the result of the adaptation of corn to different biophysical environments. Among the varieties of corn are the pigmented corn, which have shades ranging from yellow, red, blue, purple, purple, white, etc. Yellow corn owes its color to the presence of carotenoids, molecules with antioxidant, antimicrobial and antifungal properties. Therefore, the objective of this project was to evaluate three methods of carotenoid extraction from native Olotón and Arrocillo corn, using different extraction solvents in order to identify the method with the best efficiency. Carotenoid concentrations similar to those reported in bibliographies were obtained finding that the most efficient extraction method was the one reported by PÁDURET, et al., (2016) which uses chloroform as solvent.

Keywords: Carotenes, extraction, corn, 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 teocinte, 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 (Martí, 2021). 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 (Mosquera et al., 2005). 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 de ellos poseen diferente actividad, si bien el que el interés por estos isoprenoides se haya multiplicado en los últimos años se ha debido a una gran variedad de estudios que parecen indicar que 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 (Meléndez et., al., 2007). 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 propósito de comparar tres métodos de extracción de carotenoides y determinar cuál de ellos ofrece una mayor eficiencia.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se eligieron dos razas de maíces nativos del estado de Oaxaca: Arrocillo y Olotón, seleccionadas por su característico color amarillo. A las muestras se les aplicaron pruebas por triplicado tanto para el análisis proximal como para la evaluación de distintos métodos de extracción de carotenoides. Para ello, los granos de maíz fueron molidos, homogenizados y posteriormente tamizados utilizando una malla de 500 micras.

Se analizaron tres métodos de extracción de carotenoides empleando distintos solventes, entre ellos acetona y cloroformo, realizando todas las extracciones por triplicado.

Método 1: Se utilizó el método reportado por PÁDURET, et., al., (2016). En tubos para centrifugación se pesaron 1.5 gr 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: Para el segundo método se utilizó un equipo de Soxhlet. Se pesaron 5 g de harina y se colocaron en un cartucho de papel filtro, se colocó la muestra en el equipo y se le adicionaron 300 ml de solvente (cloroformo). Se estandarizó la extracción a 11 reflujo (11 etapas) y se

¹ Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

² Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

³ Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

⁴ Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

recuperó el solvente de extracción. El extracto obtenido se diluyó 1:10 en tubos de ensaye y se almacenó en refrigeración hasta su utilización. (PĂDURET et al., 2016).

Método 3: Se utilizó la metodología reportada por Zapata et. al. (2014). En un matraz de 2 litros se agregaron 100 g de muestra y se adicionó 1 litro de solvente (cloroformo), dejando en agitación 24 horas. Se filtró por triplicado para eliminar impurezas y se llevó a rotavapor manteniendo la temperatura en $58 \pm 2^\circ\text{C}$. 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 espectro SPECTRONIC 20D+ ocupando las ecuaciones uno y dos.

La cuantificación de los extractos se realizó a diferentes longitudes de onda de 460, 647 y 664 nm y se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 reportadas por PĂDURET et al., (2016).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados en porcentaje de los análisis bromatológicos realizados por triplicado de las razas Olotón y Arrocillo, debido a que el maíz tiene en su mayoría un contenido considerable de almidones se puede observar su riqueza de este grano en azúcares. Haciendo una comparación con lo realizado por Urango (2009) observamos que los resultados de las dos razas de maíz están son similares a los reportados por el autor para una muestra híbrida.

Tabla 1: Resultados del análisis bromatológico de muestras de maíz			
	Olotón	Arrocillo	Urango (2009).
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%

Fuente. Elaboración propia.

A partir de las metodologías de extracción elegidas, se llevaron a cabo las extracciones de carotenoides en las dos muestras de maíces nativos. Cada extracción fue realizada tres veces para ambas variedades. Los resultados obtenidos se contrastaron con los datos reportados por Salinas et al. (2008), reportando un rango de 4.3 a 23.6 mg kg⁻¹ de carotenoides en muestra húmeda y de 9.8 a 22.5 mg kg⁻¹ de carotenoides totales en maíces híbridos. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los encontrados en otras variedades de maíz. Considerando la cantidad de muestra utilizada, el tipo de solvente y el tiempo de extracción, el método 2 fue el que mostró mayor eficacia.

Tabla 2: Resultados de concentración ocupando los diferentes métodos de extracción (mg/g).

	Olotón	Arrocillo
1 (acetona)	1.1373 $\pm$ 0.26	0.5924 $\pm$ 0.076
2 (soxhlet)	5.4361 $\pm$ 2.1365	2.5368 $\pm$ 1.6343
3 (agitación)	0.4505 $\pm$ 0.07	0.4751 $\pm$ 0.1041

Fuente. Elaboración propia.

III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se realizó el análisis bromatológico de las muestras de maíz de las razas Arrocillo y Olotón. Las muestras presentaron porcentajes bajos de grasas, con 2.62 % y 3.21 % para Arrocillo y Olotón respectivamente, mientras que el porcentaje de contenido en hidratos de carbono fue el más alto, con valores para arrocillo de 70.08% y para Olotón de un 66.60 %. De los tres métodos de extracción de carotenoides evaluados, el segundo método reportado por PĂDURET, et al. (2016) fue el más eficiente, obteniendo valores altos de carotenoides en comparación con los otros dos métodos evaluados, todo esto considerando tamaño de la muestra, solvente y tiempo de extracción.

IV. REFERENCIAS

- Martín, J. (Septiembre de 2021). *Toda la gloria del mundo cabe en un grano de maíz...*. Día Nacional del Maíz. México.
- Meléndez Martínez, A. J., M. Vicario, I., & J. Heredia, F. 2007. *Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas*. Sevilla, España.
- Mínguez Mosquera, M. I., Pérez Gálvez, A., & Hornero Méndez, D. 2005. *Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples "colorantes" naturales*. Sevilla, Sevilla, España.
- PĂDURET, S., AMARIEI, S., GUTT, G., & PISCUC, B. 2016. *The Evaluation of Dandelion (Taraxacum officinale) Properties as a Valuable Food Ingredient*. Suceava, Rumania.
- Salinas Moreno, Y., Saavedra Arellano, S., Soria Ruíz, J., & Espinoza Trujillo, E. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. Estado de México, México.
- Urango, L. A. 2009. *Componentes del maíz en la nutrición humana*. Antioquia, Medellín, Colombia.

IDENTIFICACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN FORRAJE DE REYES ETLA, OAXACA.

IDENTIFICATION OF FILAMENTOUS FUNGI IN FORAGE OF REYES ETLA, OAXACA.

Itzel Castro Baltazar¹, Marco Antonio Sánchez Medina², Carlos Fernando Varapizuela Sánchez³, Beatriz Guadalupe Villa Martínez⁴.

Resumen — La identificación y el estudio de los hongos en el forraje de los rumiantes es de gran importancia para asegurar la calidad de los productos como la carne y 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 Etlá, Oaxaca. La muestra de forraje recolectada fue sembrada mediante el método de dilución en placas de PDA e incubada durante un periodo aproximado de cinco días a 30 °C ±1°. Las cepas obtenidas se aislaron de acuerdo a su forma y color. Se lograron identificar 3 diferentes cepas de hongos pertenecientes a los géneros de *Aspergillus* y *Penicillium*, resultados que nos dan las bases necesarias para recabar información sobre los posibles riesgos sanitarios a los que pueden exponerse los habitantes del Municipio de Reyes Etlá, Oaxaca.

Palabras clave: *Aspergillus*, *Forraje*, *Micotoxinas*, *Penicillium*.

Abstract — The identification and study of fungi in ruminant forage is of great importance to ensure the quality of products such as meat and milk derivatives. Therefore, the main objective of this study was to identify the different strains of fungi in the forage of cattle from a cattle farm in the Municipality of Reyes Etlá, Oaxaca. The forage sample collected was sown using the dilution method in PDA plates and incubated for an approximate period of five days at 30 °C ±1°. The strains obtained were isolated according to their shape and color. It was possible to identify 3 different strains of fungi belonging to the genera of *Aspergillus* and *Penicillium*, results that give us the necessary bases to collect information on the possible health risks to which the inhabitants of the Municipality of Reyes Etlá, 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 son las

aflatoxinas (AFs), deoxinivalenol (DON), fumonisinas (FBs), ocratoxina A (OTA), toxina T-2 y zearalenona (ZEN) (Rodríguez Blanco, 2023), producidas principalmente por los géneros *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Capelli et al., 2023).

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 Etlá, Oaxaca.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra de forraje fue recolectada en bolsas de polietileno y almacenada a -4° C en el Laboratorio de Alimentos del Instituto Tecnológico de Oaxaca (Capelli et al., 2019, 53).

Una vez homogenizada la muestra, fueron sembrados 2 g, mediante el método de dilución en agua destilada y agua peptonada, en cajas de papa agar dextrosa (PDA), respectivamente. Posteriormente, fueron incubadas de tres a cinco días a 30 °C ±1°.

Posterior a los días de incubación, las cepas obtenidas se aislaron de acuerdo al color y la forma que presentaron, incubándolas por 4 días a 30 °C±1°, para luego ser observadas al microscopio.

III. RESULTADOS

Se lograron aislar diferentes cepas, sin embargo, solo tres de estas fueron de nuestro interés para su identificación. La Tabla 1 (ver anexo) muestra la caracterización macro y microscópica de las colonias de hongos filamentosos encontrados en la muestra.

Por las características presentadas, al ser comparadas con la bibliografía ya descrita podemos inferir que las 3 cepas obtenidas en la muestra de forraje corresponden a: *Aspergillus flavus* (Cepa 1), *Penicillium sp.* (Cepa 2) y *Aspergillus niger* (Cepa 3).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican la existencia de al menos tres especies de hongos filamentosos, *Aspergillus*

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, 20160823@itoaxaca.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, mmedinaito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1411-5955>

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, varapizuela_7@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3803-8886>

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, bgvm747@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3238-9850>

flavus, *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp., capaces de producir micotoxinas, como aflatoxina y ocratoxina, totalmente peligrosas para la salud animal y humana. Esta investigación sienta las bases para recabar la información necesaria en forraje destinado a ganado vacuno en el municipio de Reyes Etla, Oaxaca y poder conocer el riesgo sanitario al cual se pueden encontrar los habitantes de dicho municipio, así como también limitar la exposición a estos compuestos y mitigar su impacto.

V. REFERENCIAS

A. Publicaciones periódicas
Capelli A., Gonzalo Suárez, Carmen García y Santos. “Aflatoxins in food and cow milk from 18 commercial farm in the south-central and eastern regions of Uruguay”. Veterinaria (Montevideo), vol. 55, no. 212 (2019): 52-56. doi: <https://doi.org/10.29155/VET.55.212.2>.

B. Documentos de sitio web
Capelli A., Carmen García y Santos, Cecilia Cajarville, Lina Bettucci. “El problema de las micotoxinas en granos y concentrados para rumiantes”. NutriNews, 3º Trimestre 2023. <https://nutrinews.com/el-problema-micotoxinas-en-los-granos-y-concentrados-para-rumiantes/>
Rodríguez Blanco, M. “Micotoxinas en granjas de ganado vacuno”. NutriNews. 2º Trimestre 2023. <https://nutrinews.com/micotoxinas-en-granjas-de-ganado-vacuno-lechero/>

ANEXOS

Tabla 1. Descripción macro y microscópica de las colonias de hongos filamentosos.

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

Fuente. Elaboración propia.

FORMULACIÓN DE HARINA SETAS FORTIFICADA CON ANTIOXIDANTES DE CHILE HUACLE

FORMULATION OF MUSHROOM FLOUR FORTIFIED WITH HUACLE CHILLI ANTIOXIDANTS

Milca Raquel Calderón Sánchez¹, Gonzalo Santos López²

Resumen — El objetivo de esta investigación es producir harinas sin gluten enriquecidas con antioxidantes del chile huacle como un producto para personas con enfermedad celiaca o que tienen sensibilidad al gluten no celiaca ya que es un problema que afecta al 1% de la población es intolerante al gluten. 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. Del análisis de bromatológico a las setas se pudo indicar 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 celiaca debido a que no contiene gluten.

Palabras clave: enfermedad celiaca, harina funcionalizada, hidrocoloides.

Abstract — The aim of this research is to produce gluten-free flours enriched with antioxidants from huacle chilli as a product for people with celiac disease or who have non-celiac gluten sensitivity, a problem that affects 1% of the population that is intolerant to gluten. In this case, flour was obtained from the mushroom (*Pleurotus ostreatus*) by fortifying it with chili huacle antioxidants extracted in an oily medium and functionalizing the flour with hydrocolloids such as carboxymethylcellulose and gum acacia. From the bromatological analysis of the mushrooms, it was found that the main nutrient is protein, with 7.69% on a wet basis. The functionality of the flour was tested in the production of arepas, producing a product with a stable consistency. This flour can be a nutritional and functional alternative for people with celiac disease because it does not contain gluten.

Keywords: celiac disease, functionalised flour, hydrocolloids.

I. INTRODUCCIÓN

Pleurotus ostreatus es uno de los hongos ampliamente distribuidos y consumidos en mundo debido a que contiene nutrimentos (16% de proteína, 63% de carbohidratos, 23% de grasas aproximadamente) y compuestos activos de alto valor como antioxidantes, fibra y betaglucanos [Törös et al. 2024; Raman et al. 2021]. 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 alrededor de 70%, además de contener compuestos fenólicos que proveen capacidad antioxidante [Irakiza et al. 2021].

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 suelen utilizar harina de trigo que contiene gluten [Irakiza et al. 2021; González et al. 2021]. 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 celiaca. Esto actualmente representa un problema de salud importante ya que en países como México la enfermedad celiaca afecta al 1% de la población, por lo que su eliminación de la dieta puede mejorar síntomas gastrointestinales en personas con esta condición [Remes-Troche et al. 2018].

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 al consumidor preferente que son las personas con enfermedad celiaca.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener la harina de setas se realizó el cultivo del hongo en las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Etla con el siguiente procedimiento: Se utilizó micelio en la Unidad de Producción Setas "Ñu", ubicada en el municipio de Huitzo, Oaxaca. Posteriormente en condiciones asépticas se utilizaron 300 gr de micelio para cada bolsa de polietileno, en estas bolsas se usó como sustrato paja de frijol previamente lavado pasteurizado. 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, en donde, estuvieron de 4 a 7 días [Gaitán-Hernández et al. 2002].

¹Instituto Tecnológico del Valle de Etla, milcaceronsanchez@gmail.com, ORCID: 0009-0004-0881-5535

²Instituto Tecnológico del Valle de Etla, gonzalo.sl@itvalletla.edu.mx, ORCID: 0000-0002-1180-5694

Las setas cosechadas se almacenaron en un congelador y para preparar las harinas se siguió la metodología presentada por Thomas y col. (2022) con modificaciones, en donde se tomó el cuerpo fructífero de las setas cortándolo en tamaños de aproximadamente 2 a 3mm., para posteriormente lavarlas con agua potable a 70°C durante 30 minutos para disminuir la actividad microbiológica y enzimática [Thomas et al. 2022]. Las setas fueron secadas en un horno y posteriormente molidas disminuyendo el tamaño de partícula. La harina obtenida fue cuantificada y almacenada en bolsas herméticas en el congelador hasta su uso.

Caracterización química de las harinas obtenidas:

Se determinó la composición química de las harinas mediante análisis bromatológico empleando las siguientes técnicas:

•Determinación de humedad:

Se aplicó el método oficial 930.15-1930(1999) de la AOAC (Association of Official Analytical Collaboration) [«AOAC 930.15-1930(1999), Loss on drying (Moisture) for feeds. AOAC Official Method», s. f.].

•Determinación de cenizas:

Para la determinación de cenizas o material inorgánico se utilizó el método oficial 942.05 de la AOAC [Thiex, Novotny, y Crawford 2012].

•Determinación de proteína total:

Se determinó el contenido de nitrógeno mediante el método de micro-Kjeldahl [AACC 2000].

•Determinación de fibra:

Se utilizó el método de la AOAC 993.21 para determinar la fibra total dietaria [McCleary 2023].

•Determinación de grasas totales:

Se determinó el contenido de grasa cruda o grasa total mediante el método 991.36 de la AOAC [«AOAC 991.36-1996, Fat(Crude) in Meat and Meat Products -AOAC Official Method», s. f.].

La harina de setas se funcionalizó combinándola con diferentes hidrocoloides como goma acacia, carboximetilcelulosa (CMC), por separado. Para fortificar la harina de seta se realizaron extracciones antioxidantes de chile huacle (*Capsicum annuum*) con etanol y aceite de oliva. Mediante la construcción de curvas de calibración se realizó la cuantificación de betacarotenos leyendo a una longitud de onda de 450nm [Chutia y Mahanta 2021].

III. RESULTADOS

A partir de 300 g. de micelio con 3 kg de sustrato se obtuvieron aproximadamente 340 gramos de setas cosechadas (Figura 1).



Figura 1. Producción de setas.

Los resultados de los análisis bromatológicos nos 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 nutricional proteica.

Tabla 1: Análisis bromatológico de harina de setas

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

Fuente. Elaboración propia.

Para fortificar la harina de setas se adicionaron antioxidantes a partir del chile huacle negro, de los cuales se buscó extraer principalmente betacarotenos. La adición de este componente 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 natural 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 como el medio ambiente sin generar sustancias tóxicas de desecho como cuando se hacen extracciones no polares con solventes tradicionales.

La curva estándar obtenida del aceite de oliva se presenta en la figura 2 y el contenido de extracción de betacarotenos fue de 10 mg/mL.

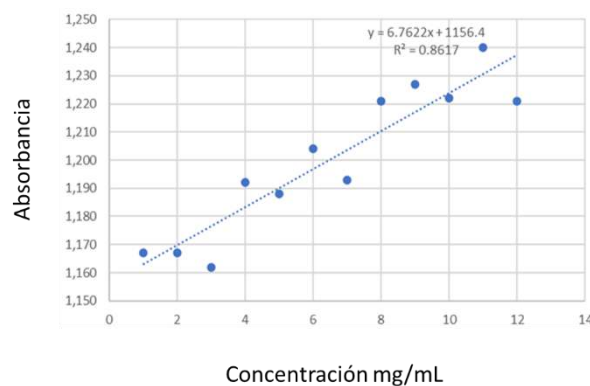


Figura 2. Curva estándar de concentración vs absorbancia de extracción de betacarotenos con aceite de oliva.

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 (Ironi et al. 2023). A partir de

las harinas fortificadas con el extracto oleoso de chile huacle se elaboraron productos alimentarios tipo arepas, al probar distintas concentraciones de hidrocoloides, resultando 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 los resultados al utilizar goma acacia al 7% en peso de la harina original las harinas y productos fueron semejantes al de la harina con CMC.



Figura 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 se puede indicar que su mayor contenido es de proteína y fibra, lo que indica que es un componente alimentario que pudiera ser atractivo por la variedad de aminoácidos que pudiera tener además del contenido de fibra que podría resultar en aplicaciones prebióticas y por el contenido de antioxidantes propios de las setas. La fortificación con betacarotenos de chile huacle permite fortificar el contenido de antioxidantes lo que aumenta los beneficios así la adición de hidrocoloides.

Como conclusiones se logró realizar un desarrollo tecnológico de obtener harina de setas fortificada con antioxidantes de chile huacle y adicionando hidrocoloides para fortificar. Este producto permitió elaborar productos tipo arepas con el potencial de aplicarlo a diferentes productos alimentarios realizando una estandarización del procesamiento y evaluando la funcionalidad de las harinas con diferentes hidrocoloides.

V. REFERENCIAS

- Törös, Gréta, Hassan El-Ramady, Áron Béni, Ferenc Peles, Gabriella Gulyás, Levente Czeglédi, Mahendra Rai, y József Prokisch. 2024. «Pleurotus Ostreatus Mushroom: A Promising Feed Supplement in Poultry Farming». *Agriculture* 14 (5): 663. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050663>.
- Raman, Jegadeesh, Jang ,Kab-Yeul, Oh ,Youn-Lee, Oh ,Minji, Im ,Ji-Hoon, Lakshmanan ,Hariprasath, y Vikineswary and Sabaratnam. 2021. «Cultivation and Nutritional Value of Prominent Pleurotus spp.: An Overview». *Mycobiology* 49 (1): 1-14. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.183514>
- 2.
- Irakiza, Patrick Ngirabakunzi, Géant Basimine Chuma, Tresor Zongwe Lyoba, Marcelin Aganze Mweze, Jean Mubalama Mondo, Parent Kulimushi Zihahirwa, Sylvain Mapatano, Alphonse Zihahirwa Balezi, y Gustave Nachigera Mushagalusa. 2021. «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». *Agriculture & Food Security* 10 (1): 28. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00301-0>.
- González, Abigail, Clarisse Nobre, Livia S. Simões, Mario Cruz, Araceli Loredó, Rosa M. Rodríguez-Jasso, Juan Contreras, José Texeira, y Ruth Belmares. 2021. «Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from Pleurotus ostreatus mushroom». *Food Chemistry* 346 (junio):128884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128884>.
- 4.
- Remes-Troche, J.M., L.F. Uscanga-Domínguez, R.G. Aceves-Tavares, A.M. Calderón de la Barca, R.I. Carmona-Sánchez, E. Cerda-Contreras, E. Coss-Adame, et al. 2018. «Guía clínica para diagnóstico y tratamiento de la enfermedad celíaca en México». *Revista de Gastroenterología de México* 83 (4): 434-50. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2018.05.005>.
- Gaitán-Hernández, Rigoberto, Dulce Salmones, Rosalía Pérez Merlo, y Gerardo Mata. 2002. *Manual práctico de cultivo de setas*. Libros. Libros. <https://libros.inacol.mx/index.php/libros/catalog/book/514>.
- Thomas, Binuja, Kundukulangara Pulissery Sudheer, S. Saranya, Anjineyulu Kothakota, Ravi Pandiselvam, y Michael Joseph. 2022. «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* 170 (diciembre):113991. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113991>.
- AACC. 2000. «Crude protein-Micro Kjeldahl method». *Approved methods of the AACC* 2.
- «AOAC 991.36-1996, Fat(Crude) in Meat and Meat Products -AOAC Official Method». s. f. Accedido 3 de febrero de 2022. http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=2528.
- Thiex, Nancy, Lawrence Novotny, y Andy Crawford. 2012. «Determination of Ash in Animal Feed: AOAC Official Method 942.05 Revisited».

- Journal of AOAC INTERNATIONAL* 95 (5): 1392-97. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>.
- McCleary, Barry V. 2023. «Measurement of Dietary Fiber: Which AOAC Official Method of AnalysisSM to Use». *Journal of AOAC INTERNATIONAL* 106 (4): 917-30. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsad051>.
- Chutia, Hemanta, y Charu Lata Mahanta. 2021. «Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 67 (enero):102547. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102547>.
- Irondi, Emmanuel Anyachukwu, Yunus Temitayo Imam, Emmanuel Oladipo Ajani, y Emmanuel Oladeji Alamu. 2023. «Natural and modified food hydrocolloids as gluten replacement in baked foods: Functional benefits». *Grain & Oil Science and Technology* 6 (4): 163-71. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2023.10.001>.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DE TORTILLAS DE MAÍZ (*Zea Mays*) PHYSICAL – MECHANICAL CHARACTERIZATION OF CORN TORTILLA (*Zea Mays*)

Anel Karina Valencia Salazar¹, Gonzalo Santos López², Iván Antonio García Montalvo³, Aymara Judith Díaz Barrita⁴

Resumen — El maíz es la principal fuente de energía en México, pues con él se elaboran tortillas, 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 de la marca 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 estudios. Se determinó que entre menor sea la humedad de las muestras, la fuerza de extensibilidad aumenta, 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 the main source of energy in Mexico, as it is used to make tortillas, tostadas, among other foods. Despite its relevance, there are not enough studies on its textural properties evaluated instrumentally. The present study analyzes the hardening of corn tortillas made by machine and manually, through instrumental texture tests with a universal testing machine of the Instron brand. The extensibility of rectangular samples of corn tortillas was analyzed, evaluating them on different days at two constant speeds; Moisture determinations were also made during the same study period. It was determined that the lower the humidity of the samples, the tensile strength increases, therefore, it is concluded that humidity is 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 a la pérdida de la flexibilidad, lo cual a menudo se considera indeseable; sin embargo, depende de cómo se consuman las tortillas (Nishinari 2020, 56). De esta manera, el contenido de humedad es una característica importante para una buena definición de la calidad textural de la tortilla de maíz (Calderón Chávez 1994, 22). 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/MATERIALES Y MÉTODOS

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 diferentes tiempos: recién hechas, un día y dos días después de su elaboración. La prueba de resistencia a la tracción para medir extensibilidad (Arámbula Villa et al. 2004), se desarrolló empleando las mordazas de tornillo CAT 2710 – 004 de una máquina universal de ensayos Instron 4442 a dos diferentes velocidades: de 1 mm/s y 2 mm/s. 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 1 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 de extensibilidad aumenta conforme avanzan los días de almacenamiento. También se puede observar que los mayores valores de extensibilidad se obtuvieron en las tortillas elaboradas a mano. Esto puede deberse a que estas últimas presentan un grosor mayor, por lo que requiere de una mayor fuerza para extender la tortilla, además de que 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 de extensibilidad en las muestras.

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

Día de estudio	Fuerza de extensibilidad (kN)			
	AV1	AV2	BV1	BV2
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

Fuente: Elaboración propia.

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 20160915@itoaxaca.edu.mx, 0009-0001-0777-0185

² Instituto Tecnológico del Valle de Etla, gonzalo.sl@itvalletla.edu.mx, 0000-0002-1180-5694

³ Instituto Tecnológico de Oaxaca, ivan.garcia@itoaxaca.edu.mx, 0000-0003-4993-9249

⁴ Instituto Tecnológico de Oaxaca, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx, 0009-0005-9548-2827

En la Tabla 2 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 II. 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

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se logró analizar el endurecimiento de dos tipos de tortilla de maíz empleando un texturómetro. Se determinó que las tortillas elaboradas manualmente se endurecen más rápido por lo que requieren una mayor fuerza para extender la tortilla, 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 extensibilidad de las muestras.

V. REFERENCIAS

- Arámbula Villa, Gerónimo, J. Abraham Méndez Albores, Jesús González Hernández, Edmundo Gutiérrez Arias y Ernesto Moreno Martínez. 2004. "Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.)". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2): 216 – 222. doi:10.4185/RLCS-66-2011-941-454-481.
- Calderón Chávez, Elizabeth. 1994. "Estudio de texturógenos primarios en nixtamal masa y tortilla como base para determinación de calidad tortillera del maíz". Tesis de Licenciatura. Universidad Motolinía, Escuela de Química, UNMO. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3487537>
- Nishinari, Katsuyoshi. 2020. *Textural Characteristics of World Foods*. India: John Wiley & Sons Ltd.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HUEVO DE GUAJOLOTA (*Meleagris gallopavo* L.) ALIMENTADAS CON FORRAJES

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF TURKEY EGGS (*Meleagris gallopavo* L.) FED WITH FORAGES

América Naomi Hernández Gutiérrez^{1*}, Martha Patricia Jerez Salas², Marco Antonio Camacho Escobar³, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez⁴

Resumen — El huevo representa una fuente completa de proteínas de alto valor nutricional y bajo costo, cuya calidad puede verse influenciada por el tipo de alimentación que recibe el ave. En esta investigación evaluó la calidad física, tanto externa como interna de los huevos producidos por guajolotas (*Meleagris gallopavo* L.) alimentadas con una dieta alternativa enriquecida con forrajes como acelga, verdolaga y espinaca, comparada con el alimento comercial. Se usaron 16 aves distribuidas en cinco tratamientos: alimento comercial (testigo), dieta alternativa, dieta alternativa suplementadas con acelga, verdolaga y espinaca. Los datos obtenidos revelaron que las dietas enriquecidas con espinaca y acelga promovieron mejoras notables en varios aspectos físicos del huevo, como el peso total, el grosor y peso de la cáscara, la pigmentación de la yema, el tamaño de la cámara de aire y la altura del albumen. Estos resultados indican que la dieta alternativa más acelga y espinaca pudieran ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad del huevo de guajolota en sistemas de producción de traspatio. No obstante, se recomienda realizar estudios adicionales que permitan evaluar su viabilidad nutricional y su impacto a largo plazo en sistemas de traspatio sustentable.

Palabras clave: Acelga, calidad, espinaca, verdolaga.

Abstract — The egg represents a complete source of high nutritional value protein at low cost, whose quality can be influenced by the type of feed provided to the bird. This study evaluated the physical quality, both external and internal, of eggs produced by turkeys (*Meleagris gallopavo* L.) fed an alternative diet enriched with forages such as Swiss chard, purslane, and spinach, compared to a commercial feed. Sixteen birds were used and distributed across five treatments: commercial feed (control), alternative diet, and alternative diet supplemented with Swiss chard, purslane, and spinach. The data obtained showed that the diets enriched with spinach and Swiss chard led to significant improvements in several physical characteristics of the egg, such as total weight, shell thickness and weight, yolk pigmentation, air cell size, and albumen height. These findings suggest that the alternative diet with added spinach and Swiss chard could be an effective strategy for enhancing turkey egg quality in backyard production systems. However, further research is recommended to assess the nutritional feasibility and long-term sustainability of these diets in low-scale, sustainable poultry systems.

Keywords: Quality, spinach, Swiss chard, purslane.

I. INTRODUCCIÓN

El huevo es una de las fuentes proteicas más completas y

económicas, destacando por su alto valor biológico, vitaminas (A, D, E, B) y minerales (hierro, calcio), siendo clave en la seguridad alimentaria (Réhault-Godbert, Guyot, y Nys 2019). Su calidad física (cáscara, clara, yema) determina su durabilidad y aceptación en el mercado (Bain et al. 2013). A diferencia del huevo de gallina, el huevo de guajolota (*Meleagris gallopavo* L.) es menos frecuente en el mercado, el huevo de guajolota presenta diferencias notables frente al de gallina, destacando por su mayor tamaño y un cascarón más grueso. La falta de una normativa específica que regule sus características físicas dificulta su estandarización y comercialización, lo que representa un reto tanto para productores como para consumidores. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar y caracterizar las propiedades físicas (externas e internas) del huevo de guajolota, alimentadas con una dieta alternativa enriquecida con forrajes (acelga, verdolaga y espinaca).

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el módulo de avicultura de traspatio del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, se trabajó con 16 guajolotas distribuidas en 4 grupos con un 1 guajolote por grupo. Durante el periodo de enero-octubre 2024, se alimentaron diariamente con 150 g/ave/día con una dieta alternativa (D.A, 16% proteína), variando el forraje. Los tratamientos fueron: T1 (Alimento Comercial, testigo), T2 (D.A), T3 (D.A + acelga), T4 (D.A + verdolaga) y T5 (D.A + espinaca). Se evaluaron las variables para la calidad física externa e interna de los huevos. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con $P < 0.05$ y una prueba de medias múltiple por el método Duncan ($P < 0.05$). Se estimó la media y el error estándar, todo esto con el paquete estadístico SAS versión 9.4.

III. RESULTADOS

Los huevos de guajolotas alimentadas con la dieta alternativa, específicamente aquellas suplementadas con espinaca o acelga, presentaron mejores características físicas externas e internas (Tabla 1 y 2). El mayor peso de huevo se observó en la dieta alternativa (81.7 g), con diferencias significativas frente al alimento comercial (74.6 g). Asimismo, el diámetro transversal (47.3 mm) y longitudinal (68.2 mm) fueron mayores con los huevos de la dieta alternativa. Aunque no se observaron diferencias significativas en el grosor del cascarón, sí se evidenció un

¹ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, naomihernandezgutierrez@gmail.com, 0009-0006-5528-4700

² Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, drapatyerez@gmail.com, 0000-0002-6318-4578

³ Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, marcama@zicatel.umar.mx, 0000-0001-9693-1026

⁴ Instituto Tecnológico de Oaxaca, carlos.varapizuela@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-3803-8886

Tabla 1. Variables de calidad externa de huevo de guajolota (*Meleagris gallopavo* L.)

Variable	Tratamiento				
	A.C.	D.A.	D.A.A.	D.A.V.	D.A.E.
Peso de huevo entero (g)	74.6 ^b ±1.8	81.7 ^a ±0.8	80.9 ^a ±1.3	72.5 ^b ±1.5	81.5 ^a ±0.6
Diámetro transversal (mm)	46.1 ^b ±0.4	47.3 ^a ±0.2	46.7 ^{ab} ±0.3	45.8 ^b ±0.4	47.3 ^a ±0.2
Diámetro longitudinal (mm)	63.6 ^b ±1.0	68.2 ^a ±0.4	68.0 ^a ±0.6	63.5 ^b ±2.3	67.0 ^a ±0.7
*Índice de forma	72.6 ^a ±0.8	69.2 ^{bc} ±0.4	68.7 ^c ±0.6	72.4 ^a ±0.36	70.6 ^b ±0.8
*Grosor del cascarón (mm)	0.9 ^a ±0.3	0.9 ^a ±0.1	0.9 ^a ±0.1	0.7 ^a ±0.1	0.8 ^a ±0.1
Peso del cascarón (g)	8.9 ^{bc} ±0.2	9.6 ^a ±0.1	9.4 ^{ab} ±0.1	8.5 ^c ±0.2	9.2 ^{ab} ±0.2
*Porcentaje de cascarón (%)	12.1 ^a ±0.2	11.7 ^{ab} ±0.1	11.7 ^{ab} ±0.1	11.9 ^a ±0.2	11.3 ^b ±0.3

Medias ± EE. ^{a,b,c} Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05). *Datos transformados ($\sqrt{x}$) para el análisis de varianza y ajuste de medias de tratamiento por mínimos cuadrados y efecto de covariable. A.C.= Alimento comercial. D.A.= Dieta alternativa. D.A.A.= Dieta alternativa más acelga. D.A.V.= Dieta alternativa más verdolaga. D.A.E.= Dieta alternativa más espinaca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Variables de calidad interna de huevo de guajolota (*Meleagris gallopavo* L.).

Variable	Tratamiento				
	A.C.	D.A.	D.A.A.	D.A.V.	D.A.E.
Peso de la albúmina (g)	35.1 ^{bc} ±1.1	40.5 ^a ±0.7	37.4 ^b ±1.0	34.7 ^c ±0.9	41.2 ^a ±0.7
Peso de la yema (g)	28.0 ^b ±0.7	28.8 ^{ab} ±0.4	30.1 ^a ±0.9	26.0 ^c ±0.7	28.4 ^b ±0.6
Diámetro de la albúmina fluida (mm)	145.3 ^a ±2.5	142.2 ^a ±3.1	139.9 ^a ±5.9	136.5 ^a ±2.7	141.0 ^a ±2.9
Diámetro de la albúmina densa (mm)	80.7 ^a ±3.2	77.9 ^a ±3.2	77.8 ^a ±2.9	75.5 ^a ±1.7	75.5 ^a ±2.4
Diámetro de la yema (mm)	51.4 ^{bc} ±1.0	54.1 ^{abc} ±0.8	56.8 ^a ±1.0	51.1 ^c ±2.0	55.2 ^{ab} ±0.7
Altura de la albúmina (mm)	3.8 ^b ±0.5	4.8 ^a ±0.3	4.5 ^{ab} ±0.2	5.0 ^a ±0.3	5.3 ^a ±0.3
Altura de la yema (mm)	13.3 ^b ±1.1	15.4 ^a ±0.4	14.1 ^{ab} ±0.5	15.1 ^{ab} ±0.4	14.5 ^{ab} ±0.6
Color de la yema (Escala Roche)	8.8 ^c ±0.3	10.9 ^b ±0.3	12.4 ^a ±0.3	10.9 ^b ±0.3	12.2 ^a ±0.3
pH de la albúmina	9.2 ^{bc} ±0.3	9.6 ^a ±0.4	9.1 ^c ±0.4	9.2 ^{bc} ±0.4	9.5 ^{ab} ±0.4
pH de la yema	7.2 ^b ±0.3	7.3 ^{ab} ±0.4	7.7 ^a ±0.4	7.3 ^{ab} ±0.4	7.2 ^b ±0.4
*Cámara de aire (mm)	2.8 ^a ±0.3	2.5 ^a ±0.4	3.8 ^a ±0.4	1.4 ^b ±0.4	2.8 ^a ±0.4
*Porcentaje de la albúmina (%)	47.4 ^{bc} ±0.9	48.7 ^{ab} ±0.5	46.2 ^c ±1.0	48.3 ^{abc} ±0.9	50.2 ^a ±0.9
*Porcentaje de la yema (%)	37.1 ^a ±0.8	35.9 ^{abc} ±0.4	37.0 ^{ab} ±1.0	35.4 ^{bc} ±0.7	35.0 ^c ±0.7
*Unidades Haugh	52.4 ^b ±7.1	53.5 ^{ab} ±3.0	51.7 ^b ±3.1	63.4 ^a ±4.0	58.5 ^{ab} ±3.4

Medias ± EE. ^{a,b,c} Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05). *Datos transformados ($\sqrt{x}$) para el análisis de varianza y ajuste de medias de tratamiento por mínimos cuadrados y efecto de covariable. A.C.= Alimento comercial. D.A.= Dieta alternativa. D.A.A.= Dieta alternativa más acelga. D.A.V.= Dieta alternativa más verdolaga. D.A.E.= Dieta alternativa más espinaca. Fuente: Elaboración propia.

mayor peso de este en los huevos de la dieta alternativa (9.6 g) en comparación con el alimento comercial (8.9 g). En cuanto a peso de la albúmina, los mayores valores se registraron en la dieta alternativa con espinaca (41.2 g), mientras que el mayor peso de yema se presentó con la dieta alternativa más acelga (30.1 g). La altura de la albúmina alcanzó su mayor valor con la dieta alternativa

más espinaca (5.3 mm) y la altura de la yema con la dieta alternativa (15.4 mm). Para el color de yema el mayor (12.4 en escala Roche) se obtuvo con la dieta alternativa más acelga. El pH de la albúmina fue mayor con los huevos de la dieta alternativa (9.6) y el de la yema con la dieta alternativa más acelga (7.7). La menor cámara de aire se registró en los huevos de la dieta alternativa más

verdolaga (1.4 mm). Finalmente, la dieta alternativa más espinaca incrementó el porcentaje de albúmina (50.2 %), mientras que el alimento comercial aumentó el porcentaje de yema (37.1 %) con respecto a los demás tratamientos. El mayor valor de unidades Haugh se encontraron en los huevos de la dieta alternativa más verdolaga (63.4).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La dieta alternativa más los forrajes usados (específicamente espinaca y acelga) mejoran significativamente el peso, el diámetro, el grosor del cascarón, la coloración de la yema y el porcentaje de albúmina, superando en algunas características al alimento comercial. Se obtuvo una producción con mejores características comerciales, como forma ovoide (índice de forma), resistencia a rotura (grosor y peso de cascarón) y coloración de yema. Los forrajes utilizados, como la acelga (*Beta vulgaris*), la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y la espinaca (*Spinacia oleracea*), son ricos en compuestos bioactivos que representan una opción viable y económica para la avicultura de traspatio y mejorar la calidad alimentaria. La acelga contiene betalainas, polifenoles y minerales esenciales con propiedades antioxidantes (Gamba et al. 2021). La verdolaga aporta omega-3, flavonoides como kaempferol y quercetina, y mucílagos con efectos antiinflamatorios (Uddin et al. 2012). Por su parte, la espinaca se distingue por su alto contenido de carotenoides (luteína y zeaxantina), ácido fólico y vitaminas antioxidantes A, C y E (Roberts and Moreau 2016). Estos compuestos funcionales podrían contribuir a mejorar la absorción de nutrientes y la salud general de las aves, lo que se podría observar en una mejor calidad física y nutricional del huevo producido por las guajolotas.

Se recomienda desarrollar normativas específicas para huevos de guajolota, ya que actualmente solo se cuenta con estándares diseñados para gallinas como la NMX-FF-127-SCFI-2016 (DOF 2016). Asimismo, se sugiere realizar investigaciones complementarias sobre su impacto nutricional y exploración de otros forrajes funcionales.

V. REFERENCIAS

Bain, M. M., K. McDade, R. Burchmore, A. Law, P. W. Wilson, M. Schmutz, R. Preisinger, y I. C. Dunn. 2013. "Enhancing the Egg's Natural Defence against Bacterial Penetration by Increasing Cuticle Deposition." *Animal Genetics* 44 (6): 661–668. <https://doi.org/10.1111/age.12071>.

Diario Oficial de la Federación. 2016. *NMX-FF-127-SCFI-2016 Productos Avícolas-Huevo Fresco de Gallina-Especificaciones y Métodos de Prueba (cancela a la NMX-FF-079-2004)*. Secretaría de Economía. Consultado el 01 de junio de 2025. https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-127-SCFI-2016_Huevo_fresco.pdf

Gamba, Magda, Peter Francis Raguidin, Eralda Asllanaj, Francesco Merlo, Marija Glisic, Beatrice Minder, Weston Bussler, Brandon Metzger, Hua Kern, y Taulant Muka. 2021. "Bioactive Compounds and Nutritional Composition of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* and *flavescens*): A Systematic Review." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61 (11): 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1799326>.

Réhault-Godbert, S., N. Guyot, y Y. Nys. 2019. "The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health." *Nutrients* 11 (3): 684. <https://doi.org/10.3390/nu11030684>.

Roberts, Jennifer L., y Robert Moreau. 2016. "Functional Properties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Phytochemicals and Bioactives." *Food & Function* 7 (8): 3337–3353. <https://doi.org/10.1039/c6fo00051g>.

Uddin, Md Kamal, A. S. Juraimi, M. E. Ali, y M. R. Ismail. 2012. "Evaluation of Antioxidant Properties and Mineral Composition of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) at Different Growth Stages." *International Journal of Molecular Sciences* 13 (8): 10257–10267. <https://doi.org/10.3390/ijms130810257>.

MODELADO DE SECADO CONVECTIVO CON TEMPERATURA VARIABLE

MODELING OF CONVECTIVE DRYING UNDER VARIABLE TEMPERATURE CONDITIONS

O. A. Hernández-Flores¹, L. A. Callejas-Pérez², C. Romero-Salazar³, S. Sandoval-Torres⁴

Resumen — Se estudia el proceso de secado convectivo en un material viscoelástico (mango Ataulfo) en el que la temperatura del aire varía en el tiempo. Para ello, se utiliza una teoría de campo efectivo para describir el material y, mediante simulaciones computacionales apoyadas por modelos matemáticos de las cantidades físicas efectivas, se obtienen la masa y la temperatura promedio de la muestra en función del tiempo. Se realiza un cotejo con datos experimentales a una temperatura base del aire constante para hallar los parámetros característicos del sistema y, con ello, se realizan dos simulaciones: la primera considera un aumento de la temperatura del aire con respecto a la temperatura base y la segunda, una disminución de la temperatura del aire con respecto a la temperatura base. La primera simulación predice una mejora del proceso de secado.

Palabras clave: Cinética de secado, Modelado matemático, Temperatura variable.

Abstract — The convective drying process in a viscoelastic material (Ataulfo mango) in which the air temperature varies in time is studied. For this purpose, an effective field theory is used to describe the material and, by means of computational simulations supported by mathematical models of the effective physical quantities, the average mass and temperature of the sample are obtained. A comparison with experimental data at a constant base air temperature is made to find the characteristic parameters of the system and, with this, two simulations are performed: the first one considers an increase of the air temperature with respect to the base temperature and the second one a decrease of the air temperature with respect to the base temperature. The first simulation predicts an improvement of the drying process.

Keywords: Drying kinetics, Mathematical modelling, Variable temperature.

I. INTRODUCCIÓN

El deshidratador solar doméstico, como dispositivo de deshidratación de alimentos, contribuye a la seguridad alimentaria, ya que permite la conservación prolongada de productos secos. En las comunidades agrícolas, esto resulta en un aumento de la disponibilidad de productos nutritivos fuera de temporada, lo que puede tener un

impacto significativo en la salud y el bienestar de los habitantes. Desde una perspectiva medioambiental y económica, la deshidratación del mango presenta varios beneficios. Por un lado, se garantiza la sostenibilidad de las comunidades agrícolas, ya que el proceso de secado y conservación de alimentos no requiere combustibles fósiles. Por lo tanto, no se ve afectada la agroeconomía y el ecosistema no sufre un impacto ambiental. Por otro lado, al reducir la necesidad de transporte y almacenamiento en frío, se disminuye la huella de carbono asociada con la cadena de suministro (Radhakrishnan et al. 2024). La integración de técnicas respetuosas con el medio ambiente en el procesamiento de alimentos resulta esencial para avanzar hacia sistemas alimentarios más resilientes y responsables con el entorno natural (Fernandes and Tavares 2024), ya que, al aprovechar tecnologías como el secado solar, se puede minimizar el consumo de energía no renovable y promover prácticas agrícolas más ecológicas. A pesar de que la tecnología de secado solar ha sido objeto de numerosos trabajos científicos en todo el mundo, es imperativo aplicar esta tecnología con un enfoque social, para que comunidades rurales como San Francisco Ixhuatán, Oaxaca, México, puedan aprovechar el mango que no se comercializa debido al corto periodo de cosecha (que se extiende de abril a junio) y por no cumplir con los estándares de exportación.

La presencia de nubes en la atmósfera constituye el principal factor que afecta el desempeño de un deshidratador solar. La presencia de nubes en la atmósfera ejerce un impacto significativo sobre la radiación solar que alcanza el colector, lo que resulta en una disminución de la temperatura dentro del deshidratador. Esta reducción en la temperatura provoca una disminución o detención del proceso de deshidratación, es decir, el producto experimenta constantes fluctuaciones en su temperatura. En contraste con el secado continuo, que preserva una temperatura constante, el secado con variaciones de temperatura puede incidir en la calidad y el tiempo de secado del producto (Kumar, Karim, and Joardder 2014). La presente investigación tiene como objetivo analizar la correlación entre la temperatura del aire de secado y el

¹ Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Av. Universidad s/n Col. Cinco Señores, C.P. 68000, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. oherandez.ciencias@uabjo.mx, ORCID: 0000-0002-0852-9297

² Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Av. Universidad s/n Col. Cinco Señores, C.P. 68000, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. 174175.fasbit@uabjo.mx, ORCID: 0009-0006-9428-1270

³ Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Av. Universidad s/n Col. Cinco Señores, C.P. 68000, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. cromero.cat@uabjo.mx, ORCID: 0000-0002-8559-595X

⁴ Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca, Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, C.P. 71230. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ssandovalt@ipn.mx, ORCID: 0000-0001-8518-1362

proceso de deshidratación, a través de experimentos numéricos que muestran, en una primera instancia, que el proceso de secado se puede mejorar perturbando el secado con un pulso de calor.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

Se prepararon muestras de mango Ataulfo en forma de láminas rectangulares de dimensiones $100 \times 50 \times 1$ mm sin pretratamiento. Las láminas se secaron utilizando un túnel de secado convectivo (Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca) con número de patente 304,462 operando a una temperatura y velocidad del aire de 70°C y 1 m/s, respectivamente. La temperatura interior de las muestras de mango se colectó con un registrador de datos Vaisala Veriteq 1700 (Helsinki, Finlandia), mientras que la masa de estas se registró mediante una balanza analítica Denver TP-214 (precisión 0.001 g). Para garantizar la operatividad óptima del túnel de viento, se procedió al registro de la velocidad del viento mediante la utilización de un anemómetro Extech AN340 (Nashua, NH, EE. UU.). De manera adicional, se llevó a cabo la medición de la humedad relativa y la temperatura del aire, empleando un medidor portátil de humedad y temperatura Vaisala HM70 (Helsinki, Finlandia).

Para las simulaciones, se considera una muestra rectangular de mango de largo a , anchura b y grosor d , sometida a un flujo de aire con velocidad v_A a una temperatura T_A y fluye paralelo al plano ab . Asumiremos que el material esta homogeneizado y que las dimensiones de la muestra cumplen que $\min\{a, b\} \gg d$ (aproximación de placa infinita), por lo que un campo de masa $\mathcal{M}(x, t)$ describe la distribución de la masa en la muestra, de aquí, el promedio espacial $m(t) = \langle \mathcal{M}(x, t) \rangle$ proporciona la masa total durante el proceso de secado. La ecuación de continuidad de difusión de masa (sin fuentes o sumideros) se utiliza para describir el transporte de masa:

$$\frac{\partial \mathcal{M}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial \mathcal{M}}{\partial x} \right), \quad (1)$$

donde $D = D(x, t)$ es el coeficiente de difusión efectivo. La ecuación anterior está sujeta a una condición inicial de campo de masa uniforme,

$$\mathcal{M}(x, t_i) = \mathcal{M}_i = m_i, \quad (2)$$

y a una condición de frontera convectiva

$$D \frac{\partial \mathcal{M}}{\partial x} \bigg|_{x=0,d} = h_{\mathcal{M}} (\mathcal{M}(x, t) - m_f) \bigg|_{x=0,d}. \quad (3)$$

Aquí $h_{\mathcal{M}}$ es el coeficiente de transferencia de masa y $m_f = \langle \mathcal{M}(x, t_f) \rangle$.

De manera análoga, definimos el campo de temperatura $\mathcal{T}(x, t)$ (en Kelvin), aquí el promedio espacial del campo de temperatura $\theta(t) = \langle \mathcal{T}(x, t) \rangle$ proporciona la

temperatura de la muestra durante el proceso de secado (Kaya, Aydın, and Dincer 2006). La ecuación de continuidad de difusión de calor (sin fuentes y sumideros) se utiliza para describir la distribución de la temperatura en la muestra:

$$\rho c_p \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial x} \right), \quad (4)$$

donde K es la conductividad térmica efectiva. Esta ecuación esta sujeta a la condición inicial de temperatura uniforme θ_i en Kelvin,

$$\mathcal{T}(x, t_i) = \theta_i, \quad (5)$$

y a una condición de frontera convectiva (Wang and Brennan 1995)

$$K \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial x} - \lambda_v D \frac{\partial \mathcal{M}}{\partial x} \bigg|_{x=0,d} = h_{\mathcal{T}} (\mathcal{T}(x, t) - \theta_A) \bigg|_{x=0,d}. \quad (6)$$

Aquí $h_{\mathcal{T}}$ es el coeficiente de transferencia de calor, λ_v es la tasa de evaporación del agua y $\theta_A = \theta_A(t)$ es la temperatura del aire. Los coeficientes de transferencia de masa y calor están dados por las ecuaciones siguientes (Wang and Brennan 1995):

$$h_{\mathcal{M}} = a_{\mathcal{M}} \frac{D_w}{L} (2 + 0.522 Re^{1/2} Sc^{1/3}) \quad (7)$$

$$h_{\mathcal{T}} = a_{\mathcal{T}} \frac{K_A}{L} (0.666 Re^{1/2} Pr^{1/3}) \quad (8)$$

donde $Re = \rho_A U_A L / \mu_A$, $Sc = \mu_A / (\rho_A D_w)$, $Pr = c_{p,A} \mu_A / K_A$, ρ_A la densidad del aire, U_A la velocidad del aire, μ_A la viscosidad dinámica del aire, $c_{p,A}$ la capacidad calorífica del aire, L la longitud de la muestra, K_A la conductividad térmica del aire, D_w , $a_{\mathcal{T}}$ y $a_{\mathcal{M}}$ son parámetros de ajuste. Por otro lado, las propiedades físicas de la muestra (densidad, capacidad calorífica, conductividad térmica, coeficiente de difusión) dependen localmente tanto del campo de masa $\mathcal{M}$ como del campo de temperatura $\mathcal{T}$ de la muestra y están dadas por las siguientes expresiones (Kaya, Aydın, and Dincer 2006):

$$\rho = \rho_c \left(1 + \rho_1 \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M} + m_0} + \rho_2 \mathcal{T} \right) \quad (9)$$

$$c_p = c_{p,c} \left(1 + c_{p,1} \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M} + m_0} + c_{p,2} \mathcal{T} \right) \quad (10)$$

$$K = K_c \left(1 + K_1 \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M} + m_0} + K_2 \mathcal{T} \right) \quad (11)$$

$$D = D_c \exp \left(\frac{D_1 m_0}{\mathcal{M}} + \frac{D_2}{\mathcal{T}} \right) \quad (12)$$

donde ρ_c , $c_{p,c}$, K_c , D_c , m_0 son constantes características de la muestra (Bon et al. 2010) mientras que ρ_1 , ρ_2 , $c_{p,1}$, $c_{p,2}$, K_1 , K_2 , D_1 , D_2 son parámetros de ajuste. La masa de equilibrio se modela con (Silakul and Jindal 2002)

$$m_f = \frac{A_M}{\theta_A^2} \quad (13)$$

mientras que la variación de la temperatura del aire en las simulaciones sigue la siguiente regla:

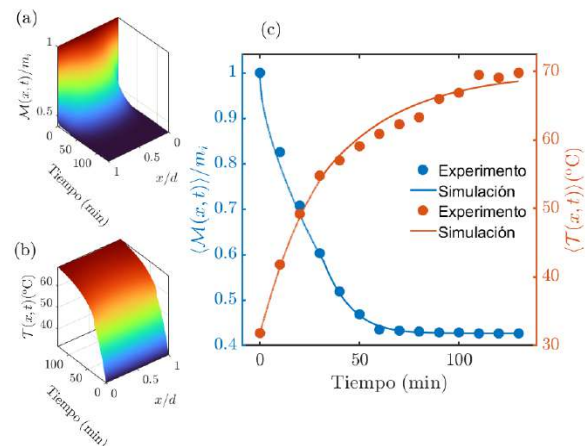
$$\theta_A = \theta_{A,max} \exp\left(-\frac{t_1}{t+t_2} \left(\frac{t-t_3}{t_4}\right)^2\right) \quad (14)$$

aquí A_M , $\theta_{A,max}$, t_1 , t_2 , t_3 , t_4 son parámetros de ajuste. El sistema de ecuaciones en derivadas parciales anterior se resolvió numéricamente con la herramienta *pdepe* (incluida en el software comercial MATLAB R2020b) que resuelve sistemas de ecuaciones en derivadas parciales unidimensionales tanto elípticas como parabólicas. Dado que el mango es un material viscoelástico la aproximación de campo efectivo requiere que los coeficientes de transferencia de masa y calor dependen de la temperatura, mientras que la conductividad, la densidad, el coeficiente de difusión y la capacidad calorífica de la muestra dependan tanto de la temperatura como de la masa (Bon et al. 2010).

III. RESULTADOS

Nuestras simulaciones calculan la distribución de masa de la muestra, por lo que se realiza un promedio espacial para hallar la masa total $m(t)$ de la muestra, de manera análoga, se calcula la distribución de temperatura en la muestra cuyo promedio espacial es $\theta(t)$. Aquí tomamos como masa inicial la masa inicial experimental y, por otro lado, tomamos como temperatura inicial la temperatura inicial experimental.

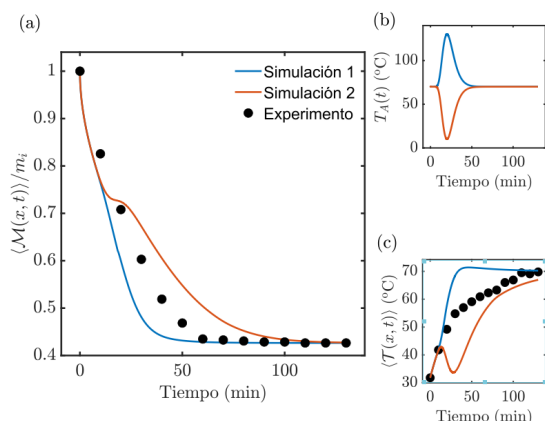
Previamente a la recreación de un ambiente de temperatura de aire de secado variable en el tiempo, resulta imperativo determinar los múltiples parámetros asociados a las propiedades físicas de la muestra. Tal determinación se lleva a cabo mediante el cotejo experimental a una temperatura del aire de secado fija durante todo el proceso de secado, la cual es de 70°C. El panel (c) de la gráfica 1 ilustra la calibración de la simulación mediante el cotejo experimental. El panel (a) muestra la distribución de masa normalizada a la masa inicial m_i conforme transcurre el tiempo, como se puede apreciar, la mayor pérdida de masa ocurre en los extremos de la muestra, mientras que el estado estacionario se alcanza alrededor de los 100 minutos, que corresponde a la masa de equilibrio m_e . El panel (b) ilustra la distribución de temperatura $T(x,t)$ (en grados centígrados), como se puede apreciar la temperatura es uniforme, esto se debe a que la difusión térmica es más rápida que la difusión de masa. En el panel (c) el eje vertical de color azul representa la masa promedio (normalizada a la masa inicial) en función del tiempo, las bolas azules son los datos experimentales de la masa de la muestra normalizada a la masa inicial.



Gráfica 1 Calibración de la simulación mediante el cotejo experimental. (a) Distribución de masa. (b) Distribución de temperatura en la muestra. (c) El eje vertical azul representa la masa promedio vs tiempo, mientras que, el eje vertical rojo representa la temperatura promedio de la muestra vs tiempo.

El eje vertical de color rojo representa la variación de la temperatura promedio de la muestra en función del tiempo, las bolas azules son los datos experimentales. Alrededor del minuto treinta de secado, se evidencia un cambio en el comportamiento de la masa y en la temperatura, para incorporar este hecho en la simulación se modifica (disminuye) artificialmente la capacidad calorífica de la muestra en ese instante de tiempo (Adduci et al. 2025). Con este procedimiento se obtiene un notable acuerdo entre la masa promedio teórica y la masa experimental, así como la temperatura promedio teórica de la muestra con la temperatura experimental.

Establecido este acuerdo entre la teoría y los datos experimentales, se procedió a realizar la simulación numérica del secado convectivo variando la temperatura del aire de forma continua. La temperatura base de secado (70°C) se perturba mediante un pulso gaussiano durante los primeros 40 minutos del proceso de secado, tal y como se ilustra en la gráfica 2. Se realizaron dos experimentos numéricos. En el primero, etiquetado como simulación 1 (línea azul), se incrementó la temperatura de secado T_A desde su valor base hasta el valor máximo $T_{max} = \max\{T_A\} = 130^\circ\text{C}$, para después disminuirla hasta el valor base. En el segundo, etiquetado como simulación 2 (línea roja), se disminuyó la temperatura de secado T_A desde su valor base hasta el valor mínimo $T_{min} = \min\{T_A\} = 10^\circ\text{C}$, para después aumentarla hasta el valor base.



Gráfica 2 (a) Simulación numérica de la cinética de secado empleando una perturbación gaussiana a la temperatura del aire de secado. Las bolas negras son los datos experimentales (temperatura constante) normalizados a la masa inicial. (b) Variación de la temperatura del aire para las simulaciones 1 y 2. (c) Temperatura promedio de la muestra durante las simulaciones 1 y 2.

La variación con el tiempo de la temperatura de secado se ilustra en el panel (b). El panel (c) ilustra el cambio de la temperatura promedio de la muestra para cada simulación junto con los datos experimentales para el caso de temperatura constante para diferenciar los procesos de secado. Se puede apreciar que para la simulación 1 la temperatura promedio alcanza la temperatura base antes de los 40 minutos y se mantiene alrededor de ese valor, mientras que para la simulación 2 la temperatura promedio aumenta hasta los 40°C, a continuación, disminuye sin alcanzar la temperatura promedio inicial y posteriormente aumenta, pero no alcanza la temperatura base. El valor de la masa en el mínimo local de la temperatura no corresponde a una posible transición vítrea por lo que no es necesario considerar este fenómeno en la simulación. El panel (a) ilustra la masa promedio de cada simulación (normalizada a la masa inicial) y se compara con los datos experimentales (temperatura de secado constante) denotados con bolas negras. La simulación 2 no mejora la cinética de secado, mientras que la simulación 1 si lo hace ya que alcanza la masa de equilibrio en un tiempo más corto comparado con el caso de temperatura constante.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aun cuando se evidencia un notable acuerdo entre la masa promedio teórica y la masa experimental, así como la temperatura promedio teórica de la muestra con la temperatura experimental, se desconocen las causas subyacentes del cambio de comportamiento tanto en la masa como en la temperatura alrededor del minuto treinta de secado, lo que requiere de un estudio exhaustivo y detallado para una explicación concluyente.

La simulación numérica indica que la variación continua de la temperatura del aire mediante un pulso gaussiano disminuye el tiempo de secado por convección con respecto al secado continuo.

V. REFERENCIAS

- Adduci, Gaetano, Francesco Petrosino, Eleonora Manoli, Emily Cardaropoli, Gerardo Coppola, and Stefano Curcio. 2025. "Glass Transition in Pasta Drying: Advanced Modeling of the Glassy Layer Evolution." *LWT* 218 (February):117484. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117484>.
- Bon, J., H. Váquiro, J. Benedito, and J. Telis-Romero. 2010. "Thermophysical Properties of Mango Pulp (Mangifera Indica L. Cv. Tommy Atkins)." *Journal of Food Engineering* 97 (4): 563–68. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.001>.
- Fernandes, Lisete, and Pedro B. Tavares. 2024. "A Review on Solar Drying Devices: Heat Transfer, Air Movement and Type of Chambers." *Solar* 4 (1): 15–42. <https://doi.org/10.3390/solar4010002>.
- Kaya, Ahmet, Orhan Aydın, and Ibrahim Dincer. 2006. "Numerical Modeling of Heat and Mass Transfer during Forced Convection Drying of Rectangular Moist Objects." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49 (17–18): 3094–3103. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.01.043>.
- Kumar, Chandan, M.A. Karim, and Mohammad U.H. Joardder. 2014. "Intermittent Drying of Food Products: A Critical Review." *Journal of Food Engineering* 121 (January):48–57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.014>.

- Radhakrishnan, Ganesh, Teodora Odett Breaz, Al Waleed Ahmed Al Mahrouqi, Nasser Ahmed Al Zakwani, Mohammed Hamed Al Fahdi, Ahmed Said Al Shuraiqi, Said Almur Al Awamri, Rashid Sultan Al Aamri, and Kadhavoor R. Karthikeyan. 2024. "A Comparative Management Analysis on the Performance of Different Solar Drying Methods for Drying Vegetables and Fruits." *Sustainability* 16 (2): 775. <https://doi.org/10.3390/su16020775>.
- Silakul, T., and V.K. Jindal. 2002. "EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT ISOTHERMS OF MUNGBEAN." *International Journal of Food Properties* 5 (1): 25–35. <https://doi.org/10.1081/JFP-120015591>.
- Wang, N., and J.G. Brennan. 1995. "A Mathematical Model of Simultaneous Heat and Moisture Transfer during Drying of Potato." *Journal of Food Engineering* 24 (1): 47–60. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1607-Y](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1607-Y).

Monitoreo Comunitario Participativo de agua como indicador de servicios ecosistémicos del bosque

Participatory Community Monitoring of Water as an Indicator of Forest Ecosystem Services

Sandra Flor Cosmes Guzmán¹, Laura Jiménez Bautista², Lucina Ruiz Pérez³ y Oscar Francisco Mijangos Ricárdez⁴

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 integra 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 se definieron los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Los muestreos se realizaron cada tres meses por el periodo de dos años (2023-2024).

La calidad de agua en parámetros fisicoquímicos se encuentra en los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo a normatividad, sólo la dureza total rebasa el LMP de 500 ppm, esto debido a la composición del suelo forestal. Los parámetros de alcalinidad, conductividad, dureza y sólidos disueltos totales mostraron diferencias significativas entre sitios inter y extra-comunidad, estos debido a la composición vegetal y actividades propias del manejo forestal.

De acuerdo con los análisis bacteriológicos, el agua, no presenta riesgo a la salud en el agua 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, and the quantity of water, in forest exploitation and conservation areas in the community of Capulálpam de Méndez, which is part of the Unión of Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecos of the Sierra Juárez of R.I. (UZACHI), in order to obtain information that could serve as evidence in decision-making by the Communal Property Commission and to provide certainty in the use of good environmental practices in its forest. Water monitoring sites were defined in the agricultural community, and physicochemical and bacteriological parameters were determined. Sampling was conducted every three months for a two-year period (2023-2024).

Water quality in terms of physicochemical parameters was within the maximum permissible limits (MPL) according to regulations; only total hardness exceeds the MPL of 500 ppm, due to the composition of the forest soil.

The parameters of alkalinity, conductivity, hardness, and total dissolved solids showed significant differences between inter- and extra-community sites, due to plant composition and forest management activities.

According to bacteriological analyses, the water does not pose a health risk for human consumption.

Keywords: *Community Environmental Education; Water Management; Water Governance; Participatory Community Monitoring.*

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 de agua, retención de suelos, purificación de aire, fijación de carbono y brinda 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 evitan la erosión del suelo, reducen la sedimentación de los cuerpos de agua y disminuyen el riesgo de deslaves e inundaciones (Balvanera, 2012). 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 de 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

¹Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez

²Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez

³Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez

⁴Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez,

osramin23@unsij.edu.mx / osramin@gmail.com

(Chacon 2016). 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 (López, 2016, Manzano, 2016, Suárez, 2017, Rivas, 2018 y Nolasco, 2019), 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 de 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 (Chapela 2012). 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:

- Presencia de Problemas: determinación del problema y de la estructura del monitoreo conveniente.
- Actividad de Monitoreo: capacitación y realización de muestreo y monitoreo comunitario participativo del agua.
- Toma de Datos: recopilación y comunicación de datos obtenidos, diseño y acceso de base de datos.
- Generación de Conocimientos: 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 influencia de las comunidades en las decisiones de los gobiernos a diferentes niveles para mejorar la calidad del agua.

El monitoreo de la calidad de 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 de 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 (Secofi, 1980).

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 (Se, 2021), Acidez y Alcalinidad total en aguas naturales de acuerdo a la NMX-AA-036-SCFI-2001(Se, 2001), Dureza total en aguas naturales de acuerdo a la NMX-AA-072-SCFI-2001 (Se, 2001); 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 (Secofi, 2013, Secofi, 2018, Se, 2001, Se, 2001, Se, 2015, Se, 2021). Los resultados obtenidos se compararon con los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano establecidos por las siguiente norma: NOM-127-SSA1-2021.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

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 período de un año, y cada parámetro se determinó por triplicado en laboratorio, además los parámetros en campo (pH, conductividad, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales se determinan in situ adicional al trabajo en laboratorio) (Secofi, 2013, Secofi, 2018, Se, 2001, Se, 2001, Se, 2015, Se, 2021).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 las 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 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): Capulálpam de Méndez. Para la época de secas (Tabla 1), se observó que en tres de los sitios el valor obtenido de dureza total no se encontró dentro del límite permisible de agua para uso y consumo humano establecido por la NOM-127-SSA1-2021, 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. Los valores obtenidos del resto de los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad de agua establecidos por la normatividad en todos los sitios. Para la época de lluvias (Tabla 2), 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, 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 todos los sitios.

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para la época de secas

Parámetro	Estaciones de monitoreo				Límite permisible	Unidad de medida
	Las pavas	Arroyo Higüero	La y	El cárcamo		

		nio				
Nitritos	0	0	0	0	0.90 [§]	mg/l de N-NO ₂ -
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	400 ^p	µS/cm
Temperatura	12.7	14.2	14.9	17	18-30 ^p	°C
pH	8.25	7.91	7.68	9.28	6.5-8.5 [§]	Valor de pH

[§]: NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud 1993); ^p: 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. Fuente. Elaboración propia.

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para la época de lluvias

Parámetro	Estaciones de monitoreo				Límite permisible	Unidad de medida
	Las pавas	Arroyo higinio	La y	El cárcamo		
Nitritos	0	0	0	0	0.90 [§]	mg/l de N-NO ₂ -
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	400 ^p	µS/cm
Temperatura	12.5	13.7	14	16.8	18-30 ^p	°C
pH	7.8	7.76	7.33	8.28	6.5-8.5 [§]	Valor de pH

[§]: NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud 1993); ^p: 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. Fuente. Elaboración propia.

Se observa que el parámetro de Dureza supera en varias ocasiones el LMP, 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 al Monitoreo Comunitario Participativo del agua es fundamental para conocer su calidad y disponibilidad actual, a través del tiempo, y producir la información necesaria para retroalimentar el manejo

adaptativo. Acompañar las mejores prácticas de manejo forestal a nivel paisaje, 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 para una amplia gama de especies y poblaciones presentes en los bosques de producción, también a nivel rodal, las cuales determina la composición y estructura del rodal, la 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 brindará aseguramiento del recurso hídrico en calidad y cantidad.

Se debe adicionar 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 de caudal mensualmente permanentemente 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 precipitaciones anualmente y determinar las posibles causas de la disminución del caudal.

Finalmente reforzar la educación ambiental comunitaria en todos los niveles educativos, pero primordialmente en ciudadanos que no conocen su territorio, o bien no visitan frecuentemente su comunidad de origen, esto dará valor 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 embates del neoliberalismo del agua.

V. REFERENCIAS

- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*. 21: 136-147.
- Chacon, M. (2016). Análisis físico y químico de la calidad del agua. <https://repository.usta.edu.co/items/2bae8f00-357c-4df6-974f-6c2ea235efb0>
- Chapela, F. (2012). Estado de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 217 p.
- López, P. (2016). Diagnóstico socioambiental del recurso hídrico en Santiago Comaltepec, Sierra Juárez, Oaxaca. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.
- Manzano, J. (2016). Análisis socioambiental del agua en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.
- Nolasco, Y. 2019. Monitoreo de agua en zonas bajo manejo forestal en comunidades de la UZACHI. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.
- Rivas, H. (2018). Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua. UNAM: CIGA. Morelia, México. 130 p.
- Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1980). NMX-AA-

014-1980. Análisis de agua en cuerpos receptores, muestreo”. Diario Oficial de la Federación, 5 de septiembre de 1980. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166769/NMX-AA-014-1980.pdf>

Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2013). NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de Agua - Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 9 de diciembre de 2013. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-007-SCFI-2000.pdf>

Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2018). NMX-AA-093-SCFI-2018 Análisis de Agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica - Método de Prueba”. Diario Oficial de la Federación, 10 de abril de 2018. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5529045&fecha=26/06/2018#gsc.tab=0

Se, Secretaría de Economía. (2001). NORMA MEXICANA NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 01 de agosto de 2001. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166776/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>

Se, Secretaría de Economía. (2001). NORMA MEXICANA NMX-AA-072-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba”. Diario Oficial de la Federación, 13 de agosto de 2001. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166788/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf>

Se, Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015 Análisis de Agua - Medición de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 11 de febrero de 2016. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

Se, Secretaría de Economía. (2021). NORMA MEXICANA NMX-AA-099-SCFI-2021, Análisis de Agua – Medición de Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales, Residuales, Residuales Tratadas y Marinas – Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 13 de agosto de 2021. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-099-SCFI-2021.pdf>

SS, Secretaría de Salud. (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, 17 de diciembre de 2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0

Suárez, G. (2017). Sobre la importancia del manejo forestal comunitario para garantizar el agua que todos necesitamos. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. <https://ccmss.org.mx/la-importancia-del-manejo-forestal-comunitario-garantizar-agua-todos-necesitamos/>

BIOSENSOR ELECTROQUÍMICO BASADO EN NTCPM-Con A PARA LA CUANTIFICACIÓN DE GLUCOSA

ELECTROCHEMICAL BIOSENSOR BASED ON NTCPM-Con A FOR GLUCOSE QUANTIFICATION

Aarón David Salinas-Cruz¹, Alma Dolores Pérez-Santiago², Luis Humberto Robledo-Taboada³

Resumen — La cronopotenciometría permite la cuantificación de analitos mediante la medición del potencial generado por el 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 NTC de pared múltiple conjugados con la lectina Concanavalina A (Con A). Para ello, se realizó la funcionalización de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) con Con A, empleando una suspensión de nanopartículas en PBS pH 7.2, incubando con una solución 1 mg.mL⁻¹ de la lectina, agitando y manteniendo a 4°C durante 24 h, el bioconjugado se centrifugó a 10000 rpm y se lavó con PBS. Se comprobó la actividad de lectina del bioconjugado y posteriormente, se caracterizó mediante cronopotenciometría a corriente constante, generando curvas estándar de glucosa en PBS pH 7.2, empleando 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 allows the quantification of analytes by measuring the potential generated by the effect of a constant electric current. For this purpose, nanomaterials can be used whose physical properties increase the response signal and also allow the incorporation of biomolecules that act as biological recognition elements, an example of which are carbon nanotubes. The aim of this work was to quantify glucose concentration by means of an electrochemical biosensor based on multi-walled NTC conjugated with the lectin Concanavalin A (Con A). For this purpose, functionalization of multi-walled carbon nanotubes (MWCNs) with Con A was performed by employing a suspension of nanoparticles in PBS pH 7.2, incubating with a 1 mg.mL⁻¹ solution of the lectin, shaking and keeping at 4°C for 24 h, the bioconjugate was centrifuged at 10000 rpm and washed with PBS. The lectin activity of the bioconjugate was tested and subsequently characterized by constant current chronopotentiometry, generating standard glucose curves in PBS pH 7.2, using three different concentrations. Lectin-carbohydrate interaction between the NTCPM-Con A bioconjugate and glucose could be

detected in a range of 0-50 mM, obtaining 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 (Cánovas et al. 2017). 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. Los NTC pueden funcionalizarse con diferentes moléculas biológicas, con el propósito de generar materiales versátiles para el desarrollo de aplicaciones biomédicas como los biosensores (Anzar et al. 2020). Estos se construyen con moléculas que poseen sitios activos de reconocimiento específico, como las lectinas, cuya característica fundamental es reconocer carbohidratos de manera específica. 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. Este tipo de reconocimiento lectina-carbohidrato puede ser caracterizado mediante métodos electroquímicos como la cronopotenciometría (Quinchia et al. 2020; Itakura et al. 2017). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la concentración de glucosa empleando un biosensor electroquímico basado en NTCPM funcionalizados con la lectina Concanavalina A.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

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 pH 7.2 a una concentración de 25 ng. mL⁻¹ y 150 µL de solución 1 mg.mL⁻¹ de la lectina, agitando y

¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, aaroncruz08@gmail.com, 0009-0007-4911-7583

² TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, alma.ps@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-4410-7307

³ TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, luis.rt@itoaxaca.edu.mx, 0000-0003-0760-9508

manteniendo a 4°C durante 24 h, el bioconjugado se centrifugó a 10000 rpm por 1 h, lavando repetidas veces con PBS. El bioconjugado 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 μ L de suspensión de NTCPM puros, (-) 25 μ L de NTCPM con 25 μ L de solución 25 mM de glucosa y (+) 25 μ L del bioconjugado NTCPM-Con A con 25 μ L de solución 25 mM de glucosa, incubados 1 h. La cuantificación de glucosa se realizó mediante cronopotenciometría a corriente constante ($\pm 2 \mu$ A) con 25 μ L del bioconjugado NTCPM-Con A con 25 μ L 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 figura 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).

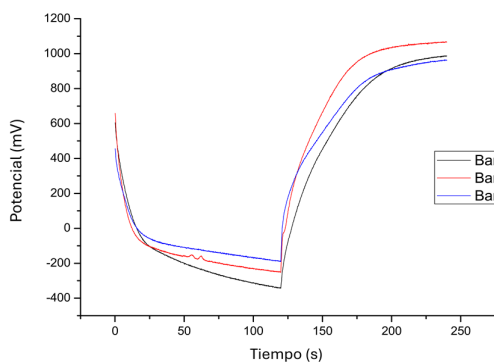


Figura 1. Cronopotenciogramas del bioconjugado NTCPM-Con A.
Fuente. Elaboración propia.

De la figura 1, se pudo observar diferencia en la *waveform* producida por las diferentes 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 figura 2 se presentan los cronopotenciogramas generados a partir

de 25 μ L 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 figura 1. En la tabla 1 se muestra el tiempo de inflexión, punto de inflexión y el potencial óhmico de los tres ensayos realizados.

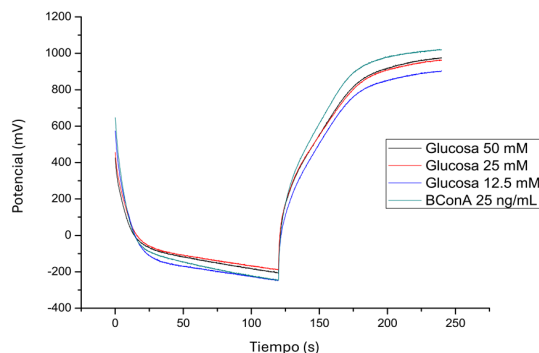


Figura 2. Bioconjugado NTCPM-Con A en presencia de glucosa.
Fuente. Elaboración propia.

Con los datos de la tabla 1, se generó un modelo experimental exponencial (Figura 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 1. 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

Fuente. Elaboración propia.

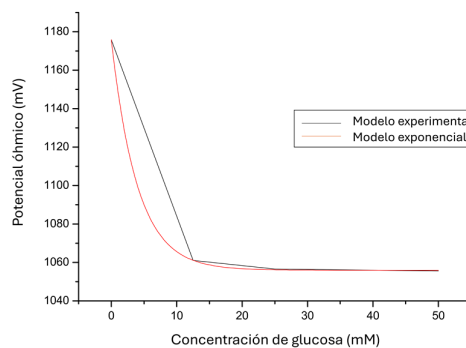


Figura 3. Modelo experimental y ajuste exponencial.
Fuente. Elaboración propia.

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

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 milivolts y la variable independiente “x” representa la concentración milimolar de glucosa.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El biosensor electroquímico basado en el bioconjugado NTCPM-Con A como elemento de reconocimiento biológico, fue capaz de detectar la concentración de glucosa en un rango de 0 a 50 mM, al aplicar una corriente constante de $\pm 2 \mu\text{A}$. 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. 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 (Vacek et al. 2023).

V. REFERENCIAS

- Cánovas, Rocío, Parrilla, Marc, Blondeau, Pascal y Andrade, Francisco Javier. 2017. «A novel wireless paper-based potentiometric platform for monitoring glucose in blood». In: *Lab Chip* 17: 2500-2507. doi: 10.1039/c7lc00339k.
- Anzar, Nigar, Hasan, Rahil, Tyagi, Manshi, Yadav, Neelam y Narang, Jagriti. 2020. «Carbon nanotube - a review on synthesis, properties and plethora of applications in the field of biomedical science». *Sens Int* 1: 100003. doi: 10.1016/j.sintl.2020.100003.
- Quinchia, Jennifer, Echeverri, Danilo, Cruz-Pacheco, Andrés Felipe, Maldonado, María Elena y Orozco, Jahir. 2020. «Electrochemical biosensors for determination of colorectal tumor biomarkers». *Micromachines* 11: 411. doi: 10.3390/M11040411.
- Itakura, Yoko, Nakamura-Tsuruta, Sachiko, Kominami, Junko, Tateno, Hiroaki y Hirabayashi, Jun. 2017. «Sugar-Binding profiles of chitin-binding lectins from the hevein family: a comprehensive study». *Int J Mol Sci* 18: 1160. doi: 10.3390/ijms18061160.
- Vacek, Jan, Zatloukalová, Martina, Dorčák, Vlastimil, Cifra, Michal, Futera, Zdeněk y Ostatná, Veronika. 2023. «Electrochemistry in sensing of molecular interactions of proteins and their behavior in an electric field». *Microchimica Acta* 190: 442. doi: 10.1007/s00604-023-05999-2.

DESARROLLO DE MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA DETECCIÓN DE MELANOMA

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODEL FOR MELANOMA DETECTION

Andrea Paola Cruz Pérez¹, Julio Josafat Pérez Medina²

Resumen —El melanoma es uno de los cánceres de piel más agresivos y con alta tasa de mortalidad en México debido a diagnósticos tardíos y escaso acceso a atención especializada. Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar un modelo de inteligencia artificial para la detección de melanoma, que permita su implementación en comunidades marginadas como herramienta de apoyo para médicos generales. La metodología consistió en el diseño y entrenamiento de una red neuronal convolucional utilizando una base de datos de imágenes clínicas. Se realizaron procesos de preprocesamiento de imágenes, entrenamiento supervisado, ajuste de parámetros y evaluación del modelo. El entrenamiento se llevó a cabo con un conjunto de 300 imágenes durante 100 épocas. Los resultados obtenidos demostraron una precisión del 96% para la detección de melanoma y del 78% para melanoma subungueal. Estos hallazgos evidencian el potencial de la inteligencia artificial como herramienta diagnóstica complementaria. Se concluye que es necesario ampliar la base de datos y continuar con nuevas fases de entrenamiento para mejorar la exactitud del modelo y su aplicabilidad en escenarios clínicos reales.

Palabras clave: Entrenamiento, Inteligencia Artificial, Melanoma.

Abstract —Melanoma is one of the most aggressive skin cancers and has a high mortality rate in Mexico due to late diagnoses and limited access to specialized care. This study aimed to develop an artificial intelligence model for melanoma detection, intended for implementation in underserved communities as a support tool for general practitioners. The methodology involved designing and training a convolutional neural network using a clinical image dataset. Image preprocessing, supervised training, parameter adjustment, and model evaluation were done. The training process was performed with a dataset of 300 images over 100 epochs. The results showed an accuracy of 96% for melanoma detection and 78% for subungual melanoma. These findings highlight the potential of artificial intelligence as a complementary diagnostic tool. It is concluded that expanding the dataset and conducting further training phases are necessary to improve the model's accuracy and clinical applicability.

Keywords: Training, Artificial Intelligence, Melanoma.

I. INTRODUCCIÓN.

El melanoma es uno de los tipos de cáncer de piel más agresivos y con mayor capacidad metastásica. En México, representa aproximadamente el 2 % de los casos de cáncer, pero se asocia con una alta mortalidad debido a diagnósticos tardíos y al acceso limitado a atención especializada (Martínez

et al. 2023, 155–167). Esta situación se agrava en regiones marginadas, donde la disponibilidad de dermatólogos es escasa y los médicos generales enfrentan dificultades para identificar lesiones sospechosas de forma temprana.

La Inteligencia Artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta prometedora en el campo de la dermatología, particularmente en la clasificación de lesiones cutáneas mediante redes neuronales convolucionales. Wei et al. (2024) muestran cómo estos modelos, entrenados con grandes volúmenes de imágenes, pueden igualar o superar el desempeño diagnóstico de profesionales humanos. Sin embargo, señalan que muchas de estas soluciones presentan limitaciones, como el uso de bases de datos poco representativas o la omisión de variables contextuales como el tipo de piel o la exposición solar.

El presente trabajo propone el desarrollo de un modelo de IA para la detección de melanoma orientado a la población mexicana, utilizando visión artificial entrenada con imágenes clínicas. A diferencia de estudios previos, este proyecto considera como aplicación principal su integración en zonas de alta marginación, donde puede servir como herramienta de apoyo clínico para médicos generales y pasantes. Se espera que su implementación contribuya a reducir la inequidad en el acceso a diagnósticos tempranos, fortaleciendo así el sistema de salud desde una perspectiva tecnológica e inclusiva.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se sigue en esta investigación es la propuesta por Pérez (2017) en donde identifica los pasos a seguir para el entrenamiento de un modelo de redes neuronales convolucionales para identificar cáncer a partir de imágenes. Los pasos de esta metodología son:

1. **Base de datos:** Recolección de imágenes para el modelo. En este caso se recolectaron 300 imágenes distintas que muestran claramente un melanoma.
2. **Pre-procesado y adecuación de los datos:** Mejoras a nivel de píxeles y aplicaciones de filtros.
3. **Detección y clasificación:** Aprendizaje profundo para que el modelo aprenda a diferenciar el melanoma de cada una de las imágenes.

¹ Universidad Anáhuac, Andrea.cruzp55@anahuac.mx, 0009-0000-7185-2145

² Universidad Tecnológica de la Mixteca, pemj000724@gs.utm.mx, 0009-0001-7251-0275

4. **Entrenamiento:** Ajustar tasa de aprendizaje y número de épocas de entrenamiento.
5. **Evaluación y despliegue:** Evaluar las métricas del modelo y optimizarlo para su aplicación.

Esta investigación encuentra como límite la evaluación de las métricas del modelo y establecer los criterios necesarios para su optimización en un futuro cercano.

III. RESULTADOS

La red neuronal fue entrenada durante 100 épocas utilizando un conjunto de 300 imágenes correspondientes a casos de melanoma y melanoma subungueal. Posteriormente, el modelo fue desplegado mediante un script en lenguaje Python, utilizando imágenes de prueba para identificar la eficacia del entrenamiento.

En la Figura 1 se ilustra la detección de melanomas en imágenes pertenecientes a las imágenes de prueba. En estas se puede observar que el modelo puede diferenciar el melanoma del melanoma subungueal.

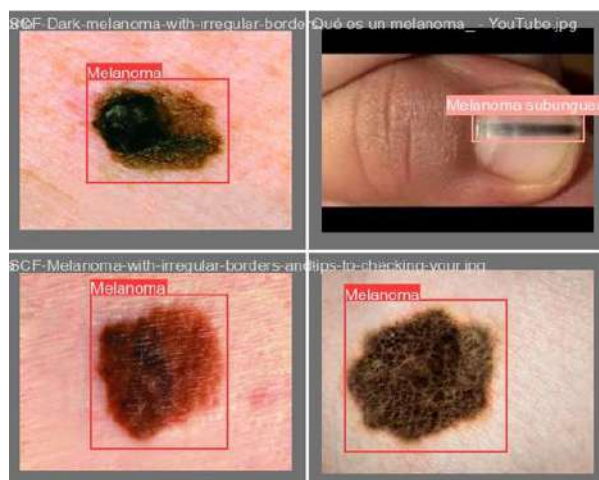


Figura 1: Red neuronal desplegada en imágenes de prueba.

Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 2 muestra el porcentaje de seguridad que tiene el modelo para clasificar las mismas imágenes de la Figura 1. Teniendo una seguridad del 90% para los melanomas y 80% para el melanoma subungueal.

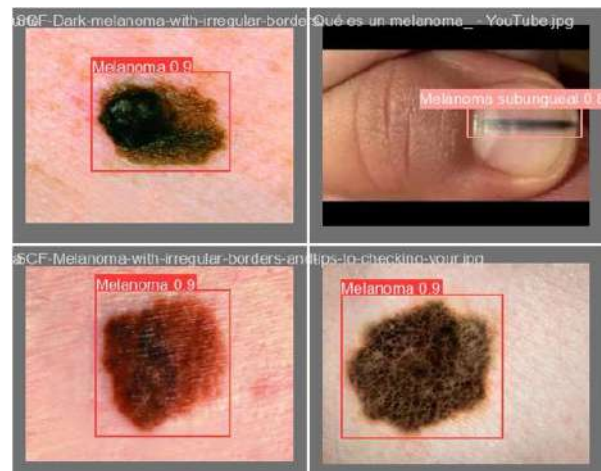


Figura 2: Porcentaje de seguridad del modelo.

Fuente. Elaboración propia.

Existieron casos de prueba en los que el modelo presento fallas, tal como se muestra en la Figura 3. Aquí el modelo detectó las fosas nasales del paciente como melanoma, cuando claramente no lo es. Sin embargo, se aprecia que solamente cuenta con un 30% a 40% de seguridad de que lo sea. Esto debido a factores como formas regulares y colores claros dentro de los bordes, los cuales no corresponden del todo a las características de un melanoma.



Figura 3: Detección errónea de melanoma.

Fuente. Elaboración propia.

Otro aspecto por resaltar del modelo es la detección del melanoma a pesar de la baja resolución de las imágenes, como se muestra en la Figura 4 en su imagen inferior derecha. Esto es debido a que el mismo programa baja la resolución de las imágenes para poder detectar patrones de cambios de color y bordes, por lo que una imagen en baja calidad no debe de afectarlo de una manera significativa.



Figura 4: Modelo en funcionamiento con imágenes de prueba.
Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 5 se muestra la matriz de confusión generada tras evaluar el modelo. Esta matriz muestra cuantas predicciones el modelo hizo de forma correcta y en cuantas cometió un error, al comparar los valores reales con los valores predichos. En el caso de la detección de melanoma se puede observar que el 96% de las predicciones que realizó el modelo fueron correctas, con solo un 4% cayendo en la categoría de fondo, refiriéndose al fondo o al resto de la imagen que no era el melanoma.

Para el caso del melanoma subungueal el modelo fue menos preciso, obteniendo un 78% de predicciones correctas, con un 22% de error en el que el fondo de la imagen fue confundido por este tipo de melanoma.

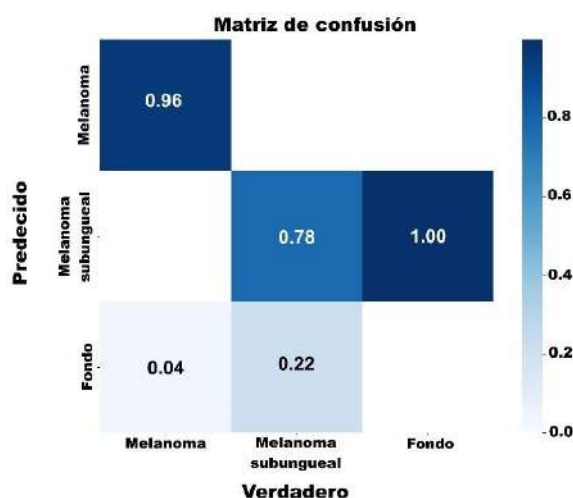


Figura 5: Matriz de confusión del modelo.
Fuente. Elaboración propia.

El último rubro de la matriz se encuentra en que todas las imágenes de fondo fueron confundidas con melanoma subungueal, esto se debe a que no se incluyeron imágenes

vacías o que no tuvieran algún tipo de melanoma, por lo que todos los fondos existentes se asociaron a este tipo de melanoma.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un modelo de Inteligencia Artificial, basado en redes neuronales convolucionales, capaz de detectar melanoma a partir de imágenes clínicas. Los resultados obtenidos permiten concluir que el modelo logró identificar melanomas con una precisión del 96 % y melanomas subungueales con un 78 %, lo cual evidencia un desempeño inicial positivo y un cumplimiento parcial del objetivo propuesto.

Estos hallazgos son relevantes, ya que demuestran el potencial del modelo como herramienta diagnóstica complementaria para su uso en contextos clínicos con acceso limitado a dermatólogos, como en comunidades marginadas, ya que, aunque el modelo nunca podrá asegurar al 100% la existencia de algún tipo de melanoma en un paciente, su integración en estos entornos podría facilitar la detección temprana, mejorar los tiempos de referencia y reducir la carga asistencial en niveles de atención especializada. El modelo puede ser desplegado a través de la cámara de una computadora, por lo que en el futuro se deben explorar formas de poder llevarlo a dispositivos móviles para aumentar su portabilidad.

Se identificaron áreas de mejora, principalmente relacionadas con el tamaño y diversidad de la base de datos. Para optimizar el modelo se recomienda incrementar progresivamente el número de imágenes primero a 500 imágenes, luego 800 y terminar en mil imágenes, realizando de 300 a 500 épocas de entrenamiento en cada progresión.

En futuras investigaciones, se sugiere comparar el desempeño del modelo con evaluaciones realizadas por profesionales clínicos, así como realizar pruebas en escenarios reales para validar su efectividad y confiabilidad diagnóstica.

V. REFERENCIAS.

- Wei Maria L, Mikio Tada, Alexandra So, y Rodrigo Torres. 2024. "Artificial Intelligence and Skin Cancer." *Frontiers in Medicine* 11: 1331895. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1331895>.
- Martínez Said, H., M. T. Vega González, M. Cuéllar Hubbe, V. Villavicencio Valencia, D. Y. García Ortega, F. Aldaco Sarvide, et al. 2023. "Oncoguía de melanoma cutáneo 2023." *Latin American Journal of Clinical Sciences and Medical Technology* 5 (1): 155–167. <https://doi.org/10.34141/LJCS9346946>.

Pérez Pérez, Elia. 2017. <<Diseño de una metodología para el procesamiento de imágenes mamográficas basada en técnicas de aprendizaje profundo>> Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Mad

III. Sustentabilidad y química ambiental

El capítulo titulado “Avances en Ingeniería Química” presenta un panorama amplio y actualizado de los cambios más significativos que ha vivido esta disciplina frente a las exigencias científicas, tecnológicas y sociales del contexto actual. A lo largo del contenido se describen avances relevantes en ámbitos estratégicos como la creación de nuevos materiales, la mejora de procesos industriales, el uso eficiente de la energía y la adopción de tecnologías innovadoras, lo que reafirma la importancia de la ingeniería química en la construcción de un desarrollo más sostenible.

Un elemento central del capítulo es la atención que se da a la innovación aplicada al diseño de procesos más eficientes y con menor impacto ambiental. Se examinan progresos en el empleo de catalizadores, bioprocesos y herramientas de modelación, los cuales contribuyen a optimizar recursos, disminuir costos y elevar el desempeño de los sistemas industriales. De igual manera, se destaca la incorporación creciente de tecnologías digitales, como la simulación y el análisis de datos, que facilitan una toma de decisiones más precisa en el diseño y la operación de procesos químicos.

Asimismo, el texto pone de relieve el papel estratégico que desempeña la ingeniería química en sectores clave como el alimentario, el ambiental y el energético, enfatizando su aportación al logro de los objetivos de desarrollo sostenible. En su conjunto, el capítulo no se limita a exponer avances técnicos, sino que también promueve una reflexión sobre la responsabilidad social y ética del ingeniero químico frente a los retos globales, consolidando a la disciplina como un actor esencial del progreso científico y tecnológico.

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

García Chávez José Francisco¹, Díaz Barrita Aymara Judith², Varapizuela Sánchez Carlos Francisco³

Resumen —Esta investigación presenta el desarrollo de un sustituto vegetal de carne, formulado con una combinación legumbres, cereales y setas, buscando ofrecer una alternativa nutricionalmente equilibrada y sostenible a la carne animal. El producto final, enriquecido con ajo y orégano como condimentos y conservadores naturales, alcanzó un 22.78% de proteína bruta. 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 opción viable para reducir la dependencia de la proteína animal y mitigar el impacto ambiental de la ganadería.

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, aiming to provide a nutritionally balanced and sustainable alternative to animal meat. The final product, enriched with garlic and oregano as natural seasonings and preservatives, achieved 22.78% crude protein content. Sensory evaluations demonstrated good overall acceptability (7.94/10), though areas for improvement in texture and aroma were identified. This plant-based substitute emerges as a viable option to reduce reliance on animal protein and mitigate the environmental impact of livestock production.

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 (Gerber, Steinfeld, Henderson, Mottet, Opio, Dijkman, Falcucci y Tempio 2013, 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/MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos formulaciones con una mezcla de legumbres y cereales que se adicionaron condimentos. Las mezclas se evaluaron sensorialmente mediante una evaluación hedónica.

Durante la preparación, el arroz y las lentejas se someten a un lavado para luego cocerse y posteriormente triturarse, controlando la humedad; la soja se hidrata en agua hirviendo antes de mezclarse con las setas trituradas. La pasta semi-húmeda se somete a un proceso de secado en horno a 60°C durante 2 horas para mejorar la textura. Finalmente, se incorporan ajo y orégano como condimentos y conservadores naturales.

Las materias primas utilizadas fueron: arroz integral, lentejas, soja hidratada y setas que se adquirieron en centros comerciales (Tabla 1).

Tabla 1: Comparativa entre formulaciones

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

1. CAO: Carne con Ajo y Oregano.

2. Los conservadores se añadieron a la mezcla ya completa (100%) en relación del porcentaje en peso.

III. RESULTADOS

La formulación final presentó 22.78% de proteína bruta (Tabla 2), con equilibrio nutricional mediante complementación de arroz (30%), lentejas (25%), soja (35%) y setas (10%); este porcentaje se encuentra por debajo del contenido de proteína promedio de la carne de res, pero por arriba de la carne de cerdo y de pollo.

¹Instituto Tecnológico de Oaxaca.

²Instituto Tecnológico de Oaxaca.

³Instituto Tecnológico de Oaxaca, carlos.varapizuela@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-3803-8886

En pruebas sensoriales, el producto obtuvo 7.94/10 en aceptabilidad general, aunque se identificaron desafíos en textura (*pastosidad*: 6.8/10) y aroma (6.5/10), atribuibles al secado a 180°C. La adición de ajo y orégano en polvo mejoró el perfil sensorial del producto, aunque su impacto en la vida útil requiere validación microbiológica.

Tabla 2: Contenido nutricional

Tabla Nutricional por 100 g de producto					
Nutriente	Arroz integral 30%	Lentejas 25%	Soja 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
H. Carbono (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

1. ND: Dato no disponible en las fuentes consultadas.

2. Valores calculados para 100 g de producto final, basados en la formulación: 30% arroz integral, 25% lentejas, 35% soja, 10% setas.

3. Fuentes de datos nutricionales: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. (s. f.). *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios*. (versión condensada 2015).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sustituto vegetal de carne con base en legumbres y cereales presentó una adecuada cantidad de proteína comparada con la carne de cerdo y pollo; así mismo, la aceptabilidad de esta formulación resultó ser agradable para los evaluadores.

V. REFERENCIAS

- Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci y G. Tempio. 2013. *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería: Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. *Legumbres: semillas nutritivas para un futuro sostenible*. [Documento de internet]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c0125315-854e-40f5-8a25-8c52af036a13/content>.
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, Dirección de Nutrición, Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 2016. *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada 2015)*. Ciudad de México: INCMNSZ. Abril. [PDF]. https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALIMEN_TOS.pdf.

BIOADHESIVO ALIMENTARIO A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*). STARCH-BASED FOOD BIOADHESIVE FROM CASSAVA (*MANIHOT ESCULENTA*)

Gabidail Morales Hernandez¹, Marco Antonio Sánchez Medina², Aymara Judith Díaz Barrita^{3*}

Resumen —En la presente investigación se desarrolló un bioadhesivo alimentario a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta*), con el objetivo de obtener un material biodegradable y con buena capacidad de adhesión. Se prepararon tres formulaciones con almidón de yuca al 14% p/v y glicerina al 3.5% p/v, combinadas con soluciones de quitosano y ácido cítrico en distintas concentraciones: AD1, AD2 y AD3. Los adhesivos fueron aplicados sobre capas de hoja de elote y evaluados en términos de consistencia, color y adherencia. Los resultados indicaron que el adhesivo AD3, formulado con quitosano poly (D-glucosamina) y ácido cítrico al 1%, presentó la mejor adherencia y estabilidad, comparado incluso con un adhesivo comercial (ModPodge).

Palabras clave: Ácido cítrico, almidón de yuca, bioadhesivo, Quitosano.

Abstract — In the present research, a food bioadhesive based on cassava starch (*Manihot esculenta*) was developed, with the aim of obtaining a biodegradable material with good adhesion capacity. Three formulations were prepared with cassava starch at 14% p/v and glycerin at 3.5% p/v, combined with chitosan and citric acid solutions in different concentrations: AD1, AD2 and AD3. The adhesives were applied over layers of corn leaf and evaluated in terms of consistency, color and adhesion. The results indicated that the AD3 adhesive, formulated with chitosan poly (D-glucosamine) and 1% citric acid, presented the best adhesion and stability, compared even to a commercial adhesive (ModPodge).

Keywords: Citric acid, cassava starch, bioadhesive, chitosan.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria el uso de adhesivos es muy utilizado, sin embargo, la degradación es lenta y afecta al medio ambiente, por lo tanto, se busca que los materiales para la elaboración de cada producto sean de fácil degradación. A diferencia de los plásticos derivados del petróleo, los biopolímeros son biodegradables y no dañan el medio ambiente (López et al. 2023, 67).

En este contexto, el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) se ha destacado como una materia prima prometedora para la producción de biopolímeros, debido a su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad (Chen et al 2012).

II. METODOLOGÍA

Se realizaron tres adhesivos con una composición de almidón de yuca al 14% p/v y glicerina 3.5% p/v, a tres diferentes soluciones complementarias, quitosano al 1% p/v en solución con ácido cítrico al 1.5% p/v (AD1), quitosano al 1% p/v en solución ácido cítrico al 1% p/v (AD2) y quitosano poly (D-glucosamina) al 1% p/v en solución con ácido cítrico al 1% p/v (AD3).

Se preparó la solución complementaria con 50 ml de agua destilada y se dejó agitar durante 4 h.

Posteriormente se preparó la solución de almidón de yuca, fécula de maíz y agua, se agitó por 10 min a 600 rpm, terminando el tiempo se agregó la solución complementaria en proporción 1:1 y se dejó agitar por 10 min, al terminar y sin dejar de agitar se subió la temperatura a 120°C hasta llegar al punto de gelatinización de 67°C.

Los adhesivos se probaron en muestras de hoja de elote de 6×10 cm, con cinco capas y se secaron a 85 °C por 3 h, la estufa se calentó previamente durante 20 min. Se evaluó visualmente la consistencia, el color y la adherencia en una escala del 1 al 5 (Tabla I, Tabla II y Tabla III). Se utilizó como referencia el pegamento Modpodge.

III. RESULTADOS

De acuerdo a la evaluación de los adhesivos elaborados se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 1):

Los adhesivos AD1 y AD3 presentaron una consistencia muy viscosa (Tabla I). En cuanto al color, los adhesivos no son transparentes, tienen un ligero color opaco debido al quitosano (Tabla II). Respecto a la adhesividad, el AD3 presentó muy buena adherencia, comparado con el adhesivo control ModPodge (Tabla III).

¹ Instituto tecnológico de Oaxaca, gabymh1213@gmail.com, 0009-0009-8101-8969

² Instituto tecnológico de Oaxaca, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-1411-5955

³ Instituto tecnológico de Oaxaca, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx, 0009-0005-9548-2827

Tabla I: Consistencia de los adhesivos

	Nada Viscoso				Muy viscoso
	1	2	3	4	5
AD1					x
AD2				x	
AD3					x
ModPodge		x			

Fuente: Elaboración propia

Tabla II: Color de los adhesivos.

	Muy opaco				Transparente
	1	2	3	4	5
AD1				x	
AD2			x		
AD3				x	
ModPodge	x				

Fuente: Elaboración propia

Tabla III: Capacidad de adherencia de los adhesivos.

	Nula adherencia				Excelente adherencia
	1	2	3	4	5
AD1			x		
AD2				x	
AD3					x
ModPodge					x

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El AD3 logró mantener unidas las capas y al doblarlas no se rompen. El quitosano (D-glucosamina) se disuelve en menor tiempo debido a su mayor grado de desacetilación y requiere menos ácido cítrico en comparación a las otras formulaciones.

En conclusión, se logró obtener un adhesivo AD3 con las características requeridas de biodegradabilidad y buena adhesión para uso alimentario.

V. REFERENCIAS

López Ariel, Nora Mejía, Alicia Zavala, Marcelo Ramos Flores. 2023. Biopolímeros a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta): Una revisión. Revista Científica agropecuaria, 7.

Chen Guo Qiang, Martin K Patel. Plastics derived from biological sources: present and future: a technical and environmental review. Chem Rev. 2012;112(4):2082-2099.



Figura 1. Evaluación de los adhesivos

EVALUACION DE LA TOLERANCIA A METALES PESADOS DEL HONGO *Calvatia gigantea* EVALUATION OF THE HEAVY METAL TOLERANCE OF THE FUNGUS *Calvatia gigantea*

Josué Iván Cruz García¹, Baleria María Hernández Chávez², Yesenia Aragón López³, Alma Dolores Pérez Santiago⁴

Resumen — Actualmente, la contaminación por desechos tóxicos como los metales pesados (Cr, Pb, Cu, Cd) 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*, toxicidad, micorremediación.

Abstract — Currently, contamination from toxic waste such as heavy metals (Cr, Pb, Cu, Cd) 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 Cr, Pb, Mn, and Cu, respectively. 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, toxicity, mycoremediation.

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 hongos, algas y microorganismos capaces de tolerar y

bioadsorber estos contaminantes; se ha reportado que los hongos pueden modificar la disponibilidad, toxicidad y riesgo de los metales pesados en el suelo (Martínez y Sánchez, 2020). *Calvatia gigantea* es un hongo silvestre comestible, posee una red micelial extensa que puede absorber hasta el 90% de 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* (Figura 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 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 de Pb, Mn, Cr y Cu, respectivamente. Estos cultivos se incubaron durante 10 días a 28 °C.

III. RESULTADOS

En las figuras 2 y 3 se observan el efecto de los diferentes metales sobre el crecimiento de *C. gigantea* en AEM. En la primera figura, se muestra al cultivo *in vitro* de *C. gigantea* de forma micelial circular, abundante, densa y apretada (Control), no obstante, en presencia de 500 ppm se modificó a micelial filamentososa, plana y escasa. Con respecto a la segunda figura, el crecimiento de *C. gigantea* en contacto con 1000, 750 y 500 ppm de Cr, Pb, Mn, en ese orden, es levemente afectado, mostrando un micelio plano y circular, con respecto a 250 ppm de Cu, el micelio se desarrolla de forma plana y desgastada.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los metales pesados pueden acumularse en el micelio y

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca

² Instituto Tecnológico de Oaxaca, baleria.hdezz28@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2020-7741>

³ Instituto Tecnológico de Oaxaca, yesaragon12@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3633-4406>

⁴ Instituto Tecnológico de Oaxaca, aperez_santiago@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4410-7307>

afectar su crecimiento, así como su morfología, lo que deriva en cambios bioquímicos y metabólicos, sin embargo, la cantidad de metales pesados que se acumula depende del tipo de sustrato y de la especie del hongo (González y Pérez, 2021), esto respalda con lo encontrado en este estudio, debido a que, el cultivo de *C. gigantea* mostró cambios en su morfología micelial particularmente en presencia de 500 ppm de Cu, no obstante, su crecimiento en contacto con Cr no se inhibió y fueron sobresalientes en comparación con el trabajo de Vallejo Aguilar y et al. (2021) donde determinaron que *Pleurotus ostreatus* puede tolerar de 20, 40, 60, 80 y hasta 100 ppm de Cr, por otro lado, el mismo hongo, pudo desarrollarse en presencia de hasta 300 ppm Cr (Yang et al., 2017).

El cultivo *in vitro* de *C. gigantea* fue capaz de tolerar a todas las concentraciones utilizadas de Cr, Pb, Mn y Cu, demostrando que puede ser potencialmente un micorremediador para la remoción de metales tóxicos en suelos y posiblemente en aguas contaminadas. Por otra parte, falta determinar la capacidad de retención de *C. gigantea* en fermentación sumergida.

V. REFERENCIAS

- Martínez, R., y Sánchez, P. (2020). Hongos macroscópicos como bioacumuladores de metales pesados en ecosistemas contaminados. *Ecología Aplicada*, 19(1): 45-53. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i1.1398>
- Vallejo Aguilar, M. L. A., Marín Castro, M. A., Ramos Cassellis, M. E., Silva Gómez, S. E., Ibarra Cantún, D., Tamariz Flores, J. V. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12 (2): 283. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2687>
- Yang, S.; Sun, X.; Shen, Y.; Chang, C.; Guo, E.; La, G. and Li, X. 2017. Tolerance and removal mechanisms of heavy metals by fungus *Pleurotus ostreatus* Haas. *Water, Air & Soil Pollution*. 228(4):130-137. DOI 10.1007/s11270-016-3170
- González, M., & Pérez, J. (2021). Concentración de metales pesados en hongos de la zona metropolitana de la Comarca Lagunera, México. *Revista Mexicana de Micología*, 54(2): 100-115. <https://doi.org/10.29298/rmm.2021.54.2.5>

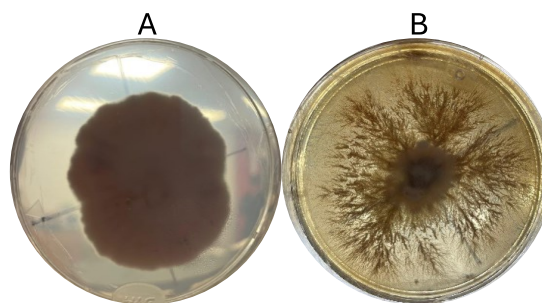


Figura 2. *C. gigantea*: A) control; B) con 500 ppm de Cu.
Fuente. Elaboración propia.

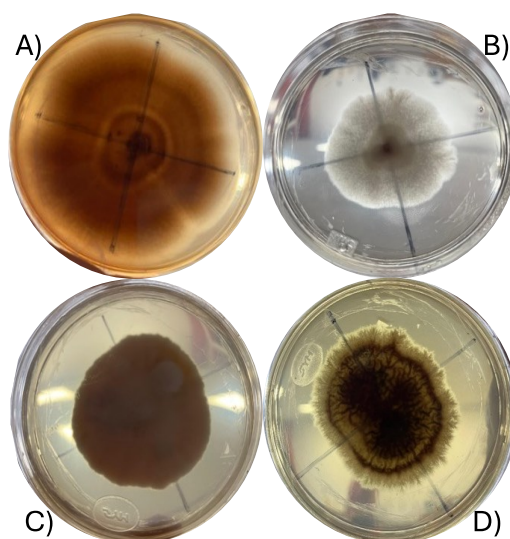


Figura 3. *C. gigantea* en presencia de 1000 ppm de Cr (A); 750 ppm de Pb (B); 500 ppm de Mn (C); 250 ppm de Cu (D).
Fuente. Elaboración propia.

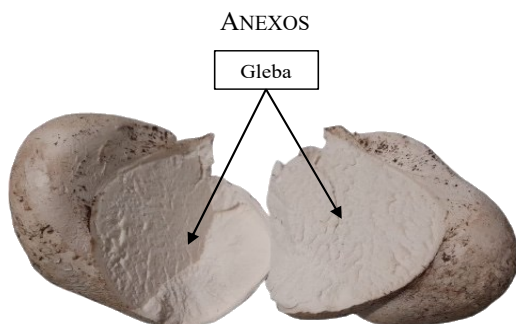


Figura 1. *Calvatia gigantea*.
Fuente. Elaboración propia.

EXTRACCIÓN DE ACEITE DEL HUESO DE MANGO "ORO" (*Mangifera indica* L.)

EXTRAÍDO POR SOLVENTE

SOLVENT EXTRACTION OF OIL FROM "ORO" MANGO SEED (*MANGIFERA INDICA* L.)Cruz-Bautista Micaela¹, Díaz Barrita Aymara Judith², Varapizuela Sánchez Carlos Francisco³

Resumen

En México, la generación de residuos agroindustriales representa un problema ambiental debido a la falta de estrategias adecuadas para su manejo. La industria procesadora de mango es una de las principales generadoras de estos desechos. Este trabajo tuvo como objetivo aprovechar el hueso de mango de la variedad "Oro" (*Mangifera indica* L.) mediante la extracción de aceite a partir de su almendra utilizando el método Soxhlet con hexano como solvente. El material fue recolectado en San Pedro Tapanatepec, Oaxaca; se realizó el despulpado, secado, molienda y tamizado de la semilla hasta alcanzar un tamaño de partícula de 710 µm. Posteriormente, se llevó a cabo la extracción del aceite en tres repeticiones. Los resultados mostraron un rendimiento promedio de 9.74%, así como características físicas del aceite como color amarillo oscuro, olor agradable y consistencia viscosa. Se compararon los resultados con estudios previos, observándose que el tipo de mango y el tamaño de partícula influyen significativamente en el porcentaje de aceite extraído. Se concluye que, aunque se logró obtener aceite del hueso de mango "Oro", el rendimiento fue menor en comparación con otras variedades, lo cual indica que estos factores son determinantes en la eficiencia del proceso de extracción.

Palabras clave: Aceite, extracción, hueso de mango, refinado

Abstract— In Mexico, the generation of agro-industrial waste represents an environmental problem due to the lack of adequate strategies for its management. The mango processing industry is one of the main generators of this waste. This work aimed to take advantage of the mango pit of the "Oro" variety (*Mangifera indica* L.) by extracting oil from its almond using the Soxhlet method with hexane as a solvent. The material was collected in San Pedro Tapanatepec, Oaxaca; The seed was pulped, dried, milled and sieved until a particle size of 710 µm was reached. Subsequently, the oil was extracted in three replications. The results showed an average yield of 9.74%, as well as physical characteristics of the oil such as dark yellow color, pleasant smell and viscous consistency.

The results were compared with previous studies, observing that the type of mango and the particle size significantly influence the percentage of oil extracted. It is concluded that, although it was possible to obtain oil from the "Gold" mango stone, the yield was lower compared to other varieties, which indicates that these factors are decisive in the efficiency of the extraction process.

Keywords: Extraction, mango pit, Oil, t, refined

Introducción

En nuestro país los desechos representan un problema ambiental, ya que no se cuenta con políticas adecuadas para su manejo y la mayoría de las veces son arrojados a los basureros [1]. Dichos subproductos son generados en grandes volúmenes y sólo una mínima parte es reutilizada en la producción de alimento animal de bajo valor agregado. Un ejemplo de esto es la industria de procesamiento del mango, que genera un volumen masivo de residuos que causan problemas ambientales, por ello, es necesario buscar alternativas de uso en estos subproductos [2]. Los aceites vegetales se obtienen por expulsión mecánica o extracción con solventes de semillas oleaginosas, principalmente, por lo tanto, en este trabajo, el objetivo fue extraer el aceite de la almendra de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) mediante la extracción por solvente.

Metodología.

Se utilizó mango "Oro" (*Mangifera indica* L.), proveniente de la comunidad de San Pedro, Tapanatepec, Oaxaca. El mango se despulpó y se extrajo la almendra de la semilla. Se dejó secar por 24 horas a una temperatura ambiente y posteriormente se llevó a secado por dos horas a 150°C. Una vez seca la almendra se molió y se tamizó hasta obtener un tamaño de partícula de 710 µm. La extracción del aceite se realizó por el método Soxhlet, utilizando hexano como solvente. El experimento se realizó por triplicado, obteniendo el porcentaje del aceite obtenido y comparándose con otros resultados.

¹Instituto Tecnológico de Oaxaca, 20160821@itoaxaca.edu.mx, 0009-0000-6328-642X

²Instituto Tecnológico de Oaxaca, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx, 0009-0005-95482827

³Instituto Tecnológico de Oaxaca, carlos.varapizuela@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-3803-8886

Resultados y discusión.

El aceite obtenido de la almendra del hueso de mango presentó una consistencia viscosa, un color amarillo oscuro y un olor agradable.

El porcentaje extraído fue de 9.74% para el tamaño de partícula utilizado (710 μm). Martínez [3], en el 2016 trabajó con el mismo método donde utilizó el mango criollo (*Mangifera indica* L.) con un tamaño de partícula de 0.250 mm (Cuadro 1). Angie Valderrama Suárez realizó extracción de la semilla de mango proveniente de San Martín Cesar, con un tamaño de partícula de 500 μm (Cuadro 1).

Por lo que, el tamaño de partícula y el tipo de mango influye mucho en la cantidad de aceite extraído.

Cuadro 1. Porcentaje de rendimiento de aceite extraído por diferente tamaño de partícula.

Autor	% de aceite
Angie Valderrama Suárez	11.72 %
Adriana Donají Martínez	18 %

Fuente: elaboración propia

Conclusiones.

Se logró obtener aceite del hueso de mango “oro”; sin embargo, el rendimiento obtenido es bajo respecto a otras variedades de mango.

Agradecimientos.

Al Laboratorio de Tecnología de los alimentos del Departamento de Ingeniería Química por las instalaciones prestadas.

Bibliografía

Ma. Teresa Sumaya-Martínez, Leticia Mónica Sánchez Herrera, Gerardo Torres García, Diego García Paredes.

«RED DE VALOR DEL MANGO Y SUS M DESECHOS CON BASE EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES.» *CORE*, 2012: 826-831

Gharby, Said. «Refining Vegetable Oils: Chemical and Physical Refining.» *The Scientific World Journal*, 2022: 2-5.

Martínez, Adriana Donají Martínez.

«Comparación de dos métodos para la extracción de aceite de mango criollo (*Mangifera indica* L.).» OAXACA: CIENCIA JOVEN, 2016: 21-23.

EFECTO DE LOS MÉTODOS DE DESTILACIÓN EN LA CALIDAD DEL MEZCAL

EFFECT OF DISTILLATION METHODS ON THE QUALITY OF MEZCAL

Mariela Mendez Rivera¹, Jorge Miguel Martínez Canseco²

Resumen — El estudio abordó cómo el método de destilación (olla de barro y alambique de cobre) influyen en la calidad fisicoquímica y sensorial del mezcal. Se analizaron muestras de Villa Sola de Vega y Santiago Matatlán para determinar si la técnica afecta su composición y aceptación. La hipótesis plantea que el material del alambique modifica características clave del producto. Se analizaron parámetros conforme a la NOM-070-SCFI-2016: porcentaje de alcohol, acidez, extracto seco, cenizas, compuestos volátiles (cromatografía de gases). Además, se evaluó a 50 catadores por textura, color, aroma, sabor y aceptación general. Los resultados muestran que el mezcal de alambique de cobre tiene 45.8% Alc., menor acidez (94.95 mg/L) y menor metanol (65.59 mg/100 ml) que el de barro (41.1% Alc., 195 mg/L, 137.72 mg/100 ml), ambos dentro de la norma. Sensorialmente, el de barro fue mejor valorado en textura, olor y aceptación general (5 vs 4.96), mientras que el alambique logró mejores calificaciones en aroma y sabor. Se concluye que el método de destilación influye en el perfil del mezcal, destacando la importancia de elegir técnicas que mejoren calidad, sostenibilidad y posicionamiento comercial del mezcal artesanal.

Palabras clave: Alambique, Calidad, Destilación, Mezcal, Olla de barro.

Abstract — The study addressed how the distillation method (clay pot and copper still) influences the physicochemical and sensory quality of mezcal. Samples from Villa Sola de Vega and Santiago Matatlán were analyzed to determine whether the technique affects its composition and acceptance. The hypothesis is that the still material modifies key characteristics of the product. Parameters were analyzed according to NOM-070-SCFI-2016: alcohol percentage, acidity, dry matter, ash, volatile compounds (gas chromatography). In addition, 50 tasters were evaluated for texture, color, aroma, flavor, and overall acceptance. The results show that the copper still mezcal has 45.8% Alc., lower acidity (94.95 mg/L) and less methanol (65.59 mg/100 ml) than the clay still (41.1% Alc., 195 mg/L, 137.72 mg/100 ml), both within the norm. Sensorily, the clay still was better rated in texture, smell and general acceptance (5 vs 4.96), while the still achieved better scores in aroma and flavor. It is concluded that the distillation method influences the profile of the mezcal, highlighting the importance of choosing techniques that improve the quality, sustainability and commercial positioning of artisanal mezcal.

Keywords: Clay pot, Distillation, Mezcal, Quality, Still.

I. INTRODUCCIÓN

El mezcal es una bebida destilada mexicana producida a partir de agaves mezcaleros, cuya calidad varía según el tipo de maguey y el proceso de destilación. Aunque físico-química y sensoriales difieren según la técnica empleada.

Este estudio comparó mezcales de Villa Sola de Vega y Santiago Matatlán, usando dos métodos de destilación: ollas de barro y alambique de cobre (Ver anexo, figura 1). Los resultados evidencian diferencias significativas en calidad sensorial y composición, lo que sugiere que la elección del método impacta tanto en el perfil del producto como en su potencial comercial. Se recomienda orientar futuras investigaciones hacia la optimización de estos procesos, con miras a mejorar la eficiencia productiva, la sostenibilidad y el posicionamiento del mezcal en mercados especializados. (Mendez Rivera Mariela, 2022)

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realizaron doce muestras de destilación: seis destiladas en olla de barro de Villa Sola de Vega y tres en alambique de cobre de Santiago Matatlán. Se realizó un análisis fisicoquímico del mezcal conforme a la NOM-070-SCFI-2016, evaluando los siguientes parámetros: alcohol, acidez total, extracto seco, cenizas, furfural, alcoholes superiores, metanol y aldehídos.

El contenido de alcohol se determinó con alcoholímetro a 20°C, la acidez, mediante valoración ácido-base; y los sólidos, por gravimetría. Los compuestos volátiles se analizaron empleando cromatografía de gases.

Adicionalmente, se aplicó una prueba sensorial hedónica a 50 panelistas (Ver anexo, figura 2). En ella se evaluaron textura, color, aroma, sabor y aceptación general.

III. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos de la investigación. Los resultados podrán presentarse en El método de destilación influyó significativamente en la composición química y sensorial del mezcal. Los resultados obtenidos de las muestras destiladas en ollas de barro y alambiques de cobre se presentan a continuación (Ver anexo, Tabla 1). Los valores obtenidos para los compuestos medidos en ambos métodos de destilación son comparables, aunque con algunas diferencias. El alambique de cobre presentó mayor contenido alcohol (45.8 %Alc.Vol.), menor acidez (94.95 mg/L) y menor concentración de metanol (65.59 mg/100 ml) que la olla de barro, que registró (41.1%Alc. Vol; 195mg/L; 137.72 mg/100ml). Estos resultados se ajustan a lo establecido por la norma.

¹Instituto Tecnológico de Oaxaca, marielamendezrivera198@gmail.com, ORCID 0009 - 0005 - 8106 - 1538

²Instituto Tecnológico de Oaxaca, jorcan55@gmail.com, ORCID 0000 - 0002 - 4892 - 2595

Desde el punto de vista sensorial, el mezcal destilado en olla de barro fue mejor valorado en textura, olor y aceptación general, con puntuaciones ligeramente superiores (5 vs 4.96), mientras que el del alambique destacó por su aroma y sabor (Ver anexo, Tabla 2) Estas diferencias la aceptación del mezcal, lo que se puede observar esa comparación (Ver anexo, figura 3).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio evaluó como el método de destilación (olla de barro contra alambique de cobre) afecta las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del mezcal, hallando diferencias relevantes. Fisicoquímicamente, el mezcal destilado en alambique de cobre presentó una mayor graduación alcohólica (45.8 % Alc. Vol.) en comparación con el destilado en olla de barro (41.1 % Alc. Vol.), mientras que este último registró niveles superiores de acidez, metanol y extracto seco. Ambas muestras cumplieron con la NOM-070-SCFI-2016, aunque con variaciones que evidencian el impacto del tipo de destilación sobre los compuestos presentes.

En cuanto al análisis sensorial, la muestra destilada en olla de barro fue valorada por su textura, olor y aceptación general, mientras que la de cobre destacó por un aroma y sabor más marcados. Esto sugiere que ciertos atributos pueden tener mayor relevancia dependiendo del perfil del consumidor o del uso previsto del mezcal (consumo directo vs. mezclas).

La comparación permitió identificar ventajas y desventajas de cada técnica, y proponer oportunidades de optimización según las necesidades tanto de productores como de consumidores. Un hallazgo clave es que la olla de barro, aunque más tradicional, generó un producto con mayor aceptación general, lo cual puede ser decisivo en mercados que valoran la autenticidad y la tradición.

Los resultados son útiles para productores artesanales y pequeñas destilerías que buscan mejorar o diferenciar su producto, así como para el diseño de estrategias de marketing basadas en perfiles sensoriales. Se recomienda que futuras investigaciones aborden la influencia de la temperatura y el tiempo de destilación en la formación de compuestos aromáticos y tóxicos, además de expandir los estudios a consumidores de distintas regiones y evaluar el impacto ambiental y energético de cada método, con el fin de fomentar prácticas más sostenibles sin sacrificar la calidad del mezcal.

V. REFERENCIAS

- Esteban Marina, A. U. 2017. «NORMA Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones.» *Diario Oficial de la Federación*, 23 de febrero.
http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6437/seeco11_C/seeco11_C.html.
- Gómez, Iván. 2020. «Hoja de Cata para Destilados Jóvenes.» *El Magueyal*, 10 de junio de 2020.
<https://www.elmagueyal.com/post/descarga-de-hoja-para-cata>
- Mendez, R. M 2022. *Determinación del efecto de la destilación del mezcal en ollas de barro y en alambiques de cobre en su calidad fisicoquímica y sensorial*. Tesis profesional, Instituto tecnológico de Oaxaca.

ANEXOS

Figura 1. Métodos de destilación: olla de barro y alambique de cobre.



Figura 2. Panelistas realizando la prueba hedónica.



Figura 3. Comparación sensorial de los atributos evaluados.

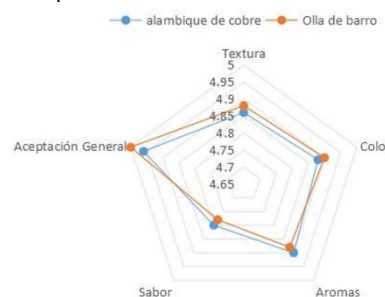


Tabla 1. Resultados fisicoquímicos del mezcal.

	Promedio de las muestras de Alambique de cobre	Promedio de las muestras de Olla de barro	Norma oficial
Porcentaje de alcohol al 20°C	45,8 ± 0.3	41,1 ± 0.3	35 - 55 % Alc.
Acidez total (Ácido acético)	94,95 ± 5	195 ± 5	
Extracto seco	4,65 ± 0.5	8,02 ± 0.5	
Cenizas	0.17 ± 0.1	0.29 ± 0.1	
mg/100 ml de Alcohol anhidro			
Furfural	1,98 ± 0.1	2,43 ± 0.1	
Alcoholes superiores,	256,52 ± 10	332,45 ± 10	
Metanol	65,59 ± 5	137,72 ± 5	
Aldehídos	9,14 ± 5	17,19 ± 5	

Tabla 2. Resultados del análisis sensorial.

	Promedio de las muestras de Alambique de cobre	Promedio de las muestras de Olla de barro
Textura	4.86 ± 0.05	4.88 ± 0.05
Color	4.88 ± 0.05	4.9 ± 0.05
Aromas	4.9 ± 0.05	4.88 ± 0.05
Sabor	4.8 ± 0.05	4.78 ± 0.05
Aceptación General	4.96 ± 0.05	5 ± 0.05

Tolerancia de Pb, Cr, Cu y Mn por la biomasa de *Scleroderma texense* Pb, Cr, Cu and Mn tolerance by *Scleroderma texense* biomass

Eduardo de Jesús Avendaño Altamira¹, Yesenia Aragón López², Alma Dolores Pérez Santiago³,
Román Quino García⁴

Resumen — Los hongos remueven y eliminan contaminantes mediante biosorción, siendo así una alternativa de biorremediación para la contribución en la solución de la remoción de estos metales por su efecto micorremediador. Las especies fúngicas que tienen una relación simbiótica con las raíces de plantas y árboles como *Scleroderma texense*, como objetivo principal del proyecto de investigación evaluar su tolerancia a metales a diferentes concentraciones, realizando bioensayos con los metales Pb, Cr, Cu y Mn en medio sólido PDA, obteniendo como resultado más tolerante a Cr, seguido de Pb, Mn y Cu mostrando cambios en su morfología en presencia de Cu, mostrándose como una posible alternativa de micorremediación.

Palabras clave: Biotecnología, Cultivo *in vitro*, Micorremediación

Abstract — Fungi remove and eliminate contaminants through biosorption, thus being a bioremediation alternative for the contribution in the solution of the removal of these metals due to their mycoremediation effect. The fungal species that have a symbiotic relationship with the roots of plants and trees such as *Scleroderma texense*, as the main objective of the research project to evaluate their tolerance to metals at different concentrations, by carrying out bioassays with the metals Pb, Cr, Cu and Mn in solid PDA medium, obtaining as a result more tolerant to Cr, followed by Pb, Mn and Cu showing changes in their morphology in the presence of Cu, showing itself as a possible alternative for mycoremediation.

Keywords: Biotechnology, In vitro culture, Mycoremediation

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados es una de las problemáticas actuales debido a su abundancia y alta toxicidad, teniendo implicaciones en la salud humana, impacto ambiental e impacto en la seguridad alimentaria. Los hongos silvestres además de que pueden crecer en diferentes ambientes han demostrado ser capaces de tolerar, degradar y remover contaminantes orgánicos e inorgánicos, como metales pesados eliminándolos

mediante biosorción (Vallejo Aguilar et al, 2021) siendo así una alternativa de biorremediación para la contribución en la solución de la remoción de estos metales por su efecto micorremediador mediante procesos de oxidación y reducción. Algunos metales como Cd, Hg, Pb, Zn y Cu registrados en 28 especies comestibles de macromicetos pruebas que se realizaron al cuerpo fructífero, hongos recolectados en la provincia de Lugo (Galicia, España) entre los cuáles se encuentran especies fúngicas del género *Agaricus*, *Agrocybe*, *Boletus*, *Calvatia*, *Cantharellus*, *Clitocybe*, *Coprinus*, *Fistulina*, *Hydnum*, *Lactarius*, *Leccinum*, *Lepista*, *Macrolepiota*, *Marasmius*, *Russula*, *Tricholoma*, *Xerocomus*, mostrando una mayor absorción de metales para cadmio en *Agaricus macrosporus*, mercurio *Boletus pinophilus*, Plomo en *Coprinus comatus* y *Lepista nuda*, Para el cobre *Macrolepiota procera*, zinc *Calvatia utriformis* y *Lactarius deliciosus* al ser setas comestibles pueden volverse peligrosas por las concentraciones presentes (Díaz, 2006). En la zona metropolitana de la Comarca Lagunera, México, se analizó la presencia de Cd, Cu, Pb y Zn en los siguientes géneros *Agaricus*, *Chlorophyllum*, *Coprinellus*, *Coprinopsis*, *Ganoderma*, *Innotus*, *Leucocoprinus*, *Podaxis*, registrando que *molybdites*, *P. pistillaris*, *Agaricus sp.*, *Ganoderma sp.*, *C. truncorum*, *I. aff. farlowii*, *I. aff. hispidus*, *C. lapus* y *L. birnbaumii* los cuáles son capaces de absorber en cantidades superiores de concentraciones de metales a las permitidas para alimentos por Normas Oficiales Mexicanas y por reglamentos europeos (Domínguez Zúñiga et al, 2021). La contaminación por metales pesados no solo pone en riesgo el equilibrio natural y la degradación del suelo, se convierte en un riesgo como problemática agrícola y salud alimentaria. El desarrollo de la búsqueda de nuevas fuentes como alternativa en la biorremediación de suelos y agua que contienen agentes contaminantes la gran biodiversidad de especies fúngicas silvestres es una alternativa para la utilización del tratamiento por medio de micorremediación.

¹Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, altamitanoedu@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1367-3869>

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, yesaragon12@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3633-4406>

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, aperez_santiago@hotmail.com., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4410-7307>

⁴ Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, romi2147qg@gmail.com., ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-54642209>

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo *in vitro* se realizó con la inoculación de fracciones de 5 mm de disco-agar, de una cepa en medio PDA, las cuáles fueron transferidas a placas petri 90 x 15 mm con el medio de cultivo PDA previamente ajustadas a concentraciones de 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm y 1000 ppm de Pb, Cr, Cu y Mn a partir de soluciones. Se incubó por 10 días realizando la medición de crecimiento radial cada 24 horas para evaluar la tolerancia al metal.

III. RESULTADOS

Scleroderma texense cultivado en *in vitro* mostró tolerancia a los metales empleados Cr, Pb, Mn y Cu, en las diferentes concentraciones (Figura 1), bioensayo realizado en 10 días con una curva de dosis-respuesta, donde se puede observar el comportamiento mediante el crecimiento radial en mm. Los resultados reflejan que *Scleroderma texense* es capaz de crecer en los metales analizados, con una mayor tolerancia en 250 ppm, 500 ppm y 750 ppm de Pb (Figura 2), tolerancia en 250 ppm, 500 ppm y 750 ppm de Mn (Figura 3), 250 ppm de Cr (Figura 4) y 250 ppm de Cu (Figura 5).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los hongo micorrizicos tienen una asociación simbiótica con arboles y plantas, en el agroecosistema está estrecha relación tiene una contribución de nutrientes esenciales para su crecimiento, sin embargo, los metales pesados siendo micronutrientes esenciales en plantas en grandes cantidades puede causar toxicidad (Riopedre Galán et al. 2021), hongos como *Scleroderma citrinum* y *Pisolithus tinctorius* han demostrado ser capaces de acumular Cadmio, en concentraciones de 0.5, 0.25, 0.5, 1 y 10 mg/L (Carrillo González et al. 2012), *Scleroderma texense* demostró tener tolerancia a las concentraciones utilizadas mostrando cambios en su morfología en presencia de Cu. *Scleroderma texense* presentó tolerancia a Cr, seguido de Pb, Mn y mostrando cambios en su morfología en presencia de Cu, los resultados obtenidos muestran a esta especie como una alternativa para contrarrestar el efecto de toxicidad en plantas debido a su tolerancia así mismo para tratamiento de suelos contaminados debido a que tolera concentraciones altas del metal.

V. REFERENCIAS

- Carrillo González, Rogelio y González Chávez, María del Carmen. 2012. Tolerance to and accumulation of cadmium by the mycelium of the fungi *Scleroderma citrinum* and *Pisolithus tinctorius*. Biological trace element research, 146, 388-395. DOI: 10.1007/s12011-011-9267-7
- Díaz, Julian Alonso. 2006. Bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes en macromicetos. Recursos Rurais, 19.
- Domínguez Zúñiga, Lilia Iveth, Puente Valenzuela, Cristo Omar, Estrada Arellano, Josué Raymundo, Aguirre Acosta, Elvira y Aguillón Gutiérrez, David Ramiro. 2021. Concentración de metales pesados en hongos de la zona

metropolitana de la Comarca Lagunera, México. Scientia fungorum, 52, e1389. Epub 09 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1389>

Riopedre Galán, Thaylin, Delgado Álvarez, Anicel, Cabrera Rodríguez, Juan Adriano y Cartaya-Rubio, Omar. 2021. Relación entre los metales pesados y los hongos formadores de micorrizas arbusculares. Cultivos Tropicales, 42(4), . Epub 30 de diciembre de 2021 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193270002014>

Vallejo Aguilar, María de la Luz Angélica, Marín Castro, Marco Antonio, Ramos Cassellis, María Elena, Silva Gómez, Sonia Emilia, Ibarra Cantún, Diego y Tamariz Flores, José Víctor. 2021. Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2687>.

ANEXOS

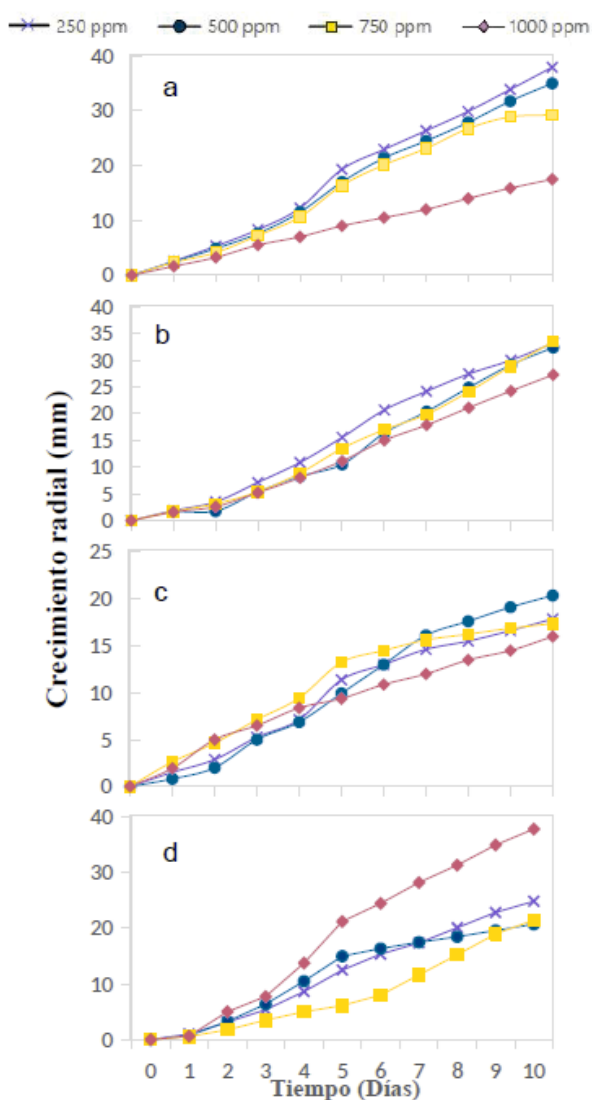


Figura 1 Crecimiento radial del micelio del hongo *Scleroderma texense*: a) Cr; b) Pb; c) Mn y d) Cu

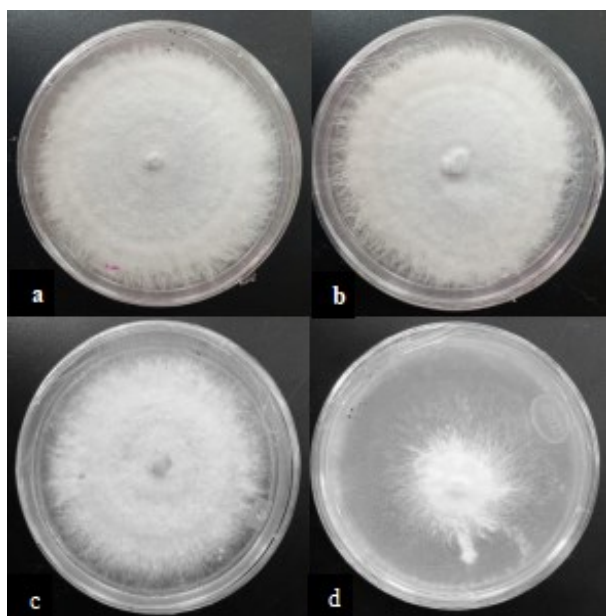


Figura 2 *Scleroderma texense* y su tolerancia a Pb: a. 250 ppm, b. 500 ppm, c. 750 ppm, d. 1000 ppm.

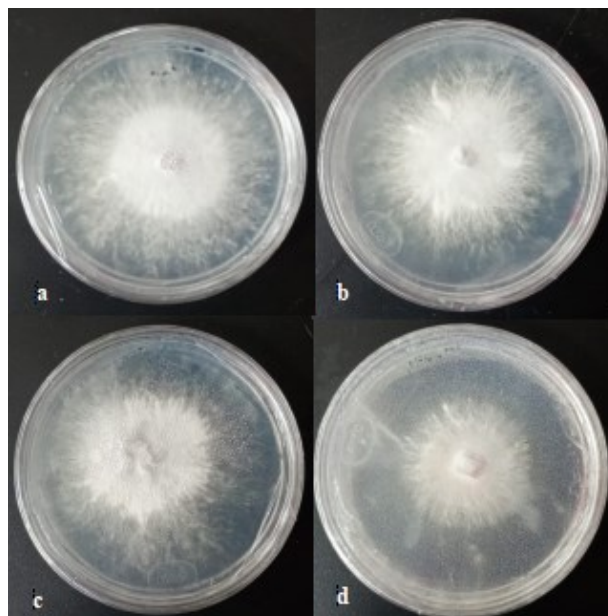


Figura 4 *Scleroderma texense* y su tolerancia a Mn: a. 250 ppm, b. 500 ppm, c. 750 ppm, d. 1000 ppm

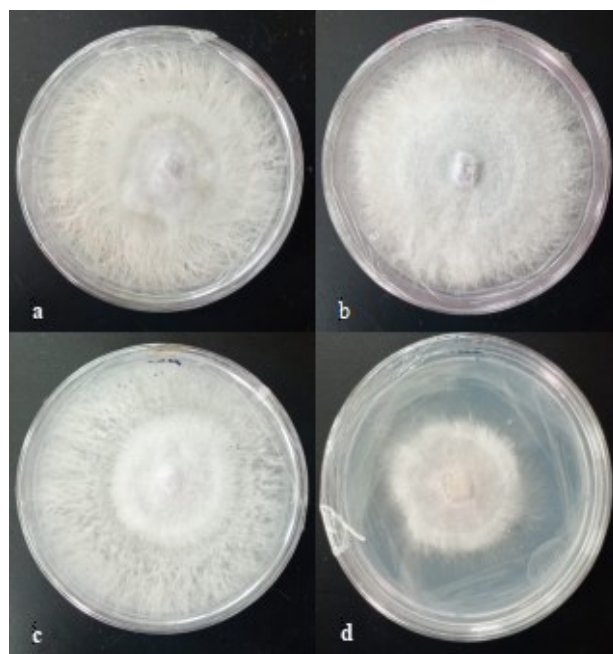


Figura 3 *Scleroderma texense* y su tolerancia a Cr: a. 250 ppm, b. 500 ppm, c. 750 ppm, d. 1000 ppm.

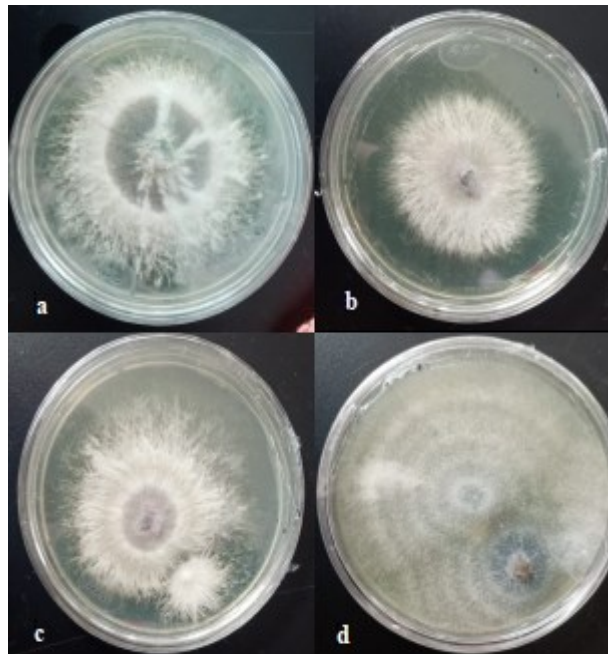


Figura 5 *Scleroderma texense* y su tolerancia a Cu: a. 250 ppm, b. 500 ppm, c. 750 ppm y d. 1000 ppm

EXTRACCIÓN DE UN COLORANTE NATURAL DEL HONGO *Pisolithus arhizus* *EXTRACTION OF A NATURAL DYE FROM THE FUNGUS *Pisolithus arhizus**

Eder Esaú Hernández Ramírez¹, Yesenia Aragón López^{2*}, Baleria María Hernández Chávez³, Alma Dolores Pérez Santiago⁴

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, seguido 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 textilera y alimentos.

Palabras clave: Biopigmento, Biotecnología, Metabolitos, Colorantes

Abstract — The use of natural pigments in the textile industry has generated growing interest in recent years, driven by ongoing concerns about environmental sustainability and human health. Pigments derived from natural sources, such as plants and fungi, are a valid alternative to artificial dyes. The objective of this research was to extract a natural pigment from the fruiting bodies of the fungus *Pisolithus arhizus* and evaluate its solubility and fixation capacity on cotton fabrics. The solid-liquid extraction technique was used with Soxhlet equipment, followed by a drying process to obtain a concentrated pigment in the form of a fine, dry powder, which showed high solubility in ethanol, methanol, isopropyl alcohol, acetic acid, distilled water, and sodium hydroxide. Fungal pigments represent a promising source for application in textiles and food.

Keywords: Biopigment, Biotechnology, Metabolites, Dyes

I.

II. INTRODUCCIÓN

Los pigmentos sintéticos son ampliamente utilizados en la industria textil, alimentaria, plástica, entre otros, siendo la industria textil una de las principales consumidoras, mientras que su producción y uso implican riesgos para la salud humana, como reacciones alérgicas y enfermedades dermatológicas; así como

también influyen en el impacto negativo sobre el medio ambiente debido a su alta toxicidad, persistencia y dificultad de eliminación ya que algunos colorantes sintéticos contienen metales pesados como plomo, cadmio, cromo, aluminio y hierro que son utilizados en los mordientes y fijadores (Campos Ramos y Quintanilla Cárdenas, 2017, p.8). 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) siendo esta 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 ocreos ofrece una alternativa que reduce riesgos para la salud humana y contrarresta el impacto ambiental generado por el uso de pigmentos sintéticos. La producción biotecnológica y el uso de colorantes fúngicos podría 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.

III. ETODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

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 gramos de hongo fresco y 180 ml de etanol como solvente. El proceso de extracción se realizó durante 12 horas, 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.

¹ Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Institución de adscripción Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, ederhernandez0910@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0172-6960

² División de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, yesaragon12@gmail.com, ORCID: 0009-0000-3633-4406

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca/Institución de adscripción, correo electrónico, ORCID: 0000-0002-2020-7741

⁴ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca/Institución de adscripción, aperez_santiago@hotmail.com, ORCID:0000-0002-4410-7307

IV. RESULTADOS

El hongo recolectado es una especie fúngica ectomicorrícica de color amarillento (Figura 1a), comestible en estadios juveniles. 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 (Figura 1b); estas esporas son de forma esférica y tienen una superficie cubierta de espinas largas y piramidales. Las pruebas de solubilidad del pigmento analizado mostraron que el pigmento es soluble en agua destilada, metanol, etanol, alcohol isopropílico, hidróxido de sodio y ácido acético (Tabla 1). 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 (Figura 2).

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio abre la puerta a futuras investigaciones para optimizar el proceso de extracción de pigmentos fúngicos y la aplicación de colorantes naturales en textiles. Los pigmentos derivados de hongos tienen una tasa de fijación sobre las fibras textiles comparable a los colorantes sintéticos, ya que están compuestos de carotenoides, melaninas, flavinas, fenazinas, quinonas, monascinas, violaceína, índigo, etc. (Venil et al, 2020; Carreño Ruíz, 2022), lo que sugiere su potencial aplicación en la industria textil. *Pisolithus arhizus* produce pigmentos en todo el cuerpo fructífero, así como se ha reportado en otras especies fúngicas como *Pycnoporus sanguineus* que produce cinabarina, un pigmento naranja (Toledo Loaiza, 2021). El pigmento extraído de *P. arhizus* presenta alta solubilidad en solventes habituales de la industria textil. Para las pruebas de tinción se realizaron pruebas preliminares presentando una buena fijación sobre gasa de algodón en términos del color y adhesión en la tela. El pigmento obtenido presenta un rendimiento aceptable, y puede obtenerse como un polvo fino y seco.

VI. REFERENCIAS

- Campos Ramos, Jenniffer Magal y Quintanilla Cardenas, Hari Abraham. 2017. «Uso de dos colorantes naturales *Rubus ulmifolius* (mora) y *beta vulgaris* (remolacha) en el teñido de tela ciento por ciento algodón». Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. pp. 1-76. [fecha de Consulta 7 de Abril de 2021]. Disponible en: <https://bibliotecafarmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1440.pdf>
- Carreño Ruíz, Santa Dolores, Cappello García, Silvia, García-García, Manuel Antonio, & Xicoténcatl Maldonado, Perla. 2021. Potencial tintóreo de cinco especies de macromycetes silvestres nativos de Tabasco, México, sobre fibras de origen natural. *Scientia fungorum*, 52, e1404. Epub 09 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1404>.
- Toledo Loaiza, Yanela Madeleine. 2021. «Determinación de la incidencia de los factores pH y medio de cultivo en la obtención del pigmento (cinabarina) a partir del hongo

Pycnoporus sanguineus». Tesis Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. (Bachelor's thesis). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2037>

Venil, Chidambaram Kulandaisamy, Palanivel Velmurugan, Laurent Dufossé, Ponnuswamy Renuka Devi, and Arumugam Veera Ravi. 2020. "Fungal Pigments: Potential Coloring Compounds for Wide Ranging Applications in Textile Dyeing" *Journal of Fungi* 6, no. 2: 68. <https://doi.org/10.3390/jof6020068>

ANEXOS



Figura 1. *Pisolithus arhizus*: a. Cuerpo fructífero, b. Basidiocarpio parte interna.

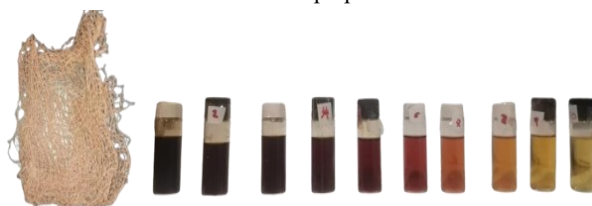


Figura 2. Fijación del colorante : Tinción en gasa de algodón y disoluciones del pigmento en agua

Tabla 1. Resultado de solubilidad del pigmento

Solvente	Formula Química	Solubilidad
Metanol	CH ₃ OH	Soluble
Etanol	C ₂ H ₅ OH	Soluble
Alcohol isopropílico	C ₃ H ₇ OH	Soluble
Alcohol isobutílico	C ₄ H ₉ OH	No soluble
Alcohol perbutílico	C ₄ H ₉ OH	No soluble
Acetona	CH ₃ COCH ₃	Medianamente soluble
Cloroformo	CHCl ₃	No soluble
Hexano	C ₆ H ₁₄	No soluble
Éter de petróleo	C ₆ H ₁₄ a C ₁₂ H ₂₆	Ligeramente soluble
Acetato de etilo	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	Ligeramente soluble
Ácido acético	CH ₃ COOH	Soluble
Agua destilada	H ₂ O	Soluble
Benceno	C ₆ H ₆	No soluble
Hidróxido de sodio	NaOH	Soluble
Ácido clorhídrico	HCl	No soluble

Fuente. Elaboración propia.

DESARROLLO DE UNA BIOPELÍCULA PLÁSTICA ELABORADA A BASE DE ALMIDÓN DE CHAYOTE (*SECHUM EDULE*) *DEVELOPMEN OF A PLASTIC BIOPLASTIC FILM MADE FROM CHAYOTE STARCH (SECHUM EDULE)*

Montserrat Cristina Abad¹, Marcia Yael Del Río², José Francisco García³, Odette Alejandra López⁴

Resumen —Según el INEGI (2022), México genera alrededor de 4 millones de toneladas de plásticos de un solo uso, como el polipropileno utilizado en el recubrimiento de alimentos. Ante esta problemática, esta investigación tiene como objetivo desarrollar una película biodegradable a base de almidón de chayote (*Sechium edule*) como alternativa sustentable. El proceso inicia con el lavado, licuado y filtrado del chayote, seguido de un reposo de 24 horas, lavado, sedimentación, decantación y secado del almidón. Posteriormente, se mezcla con glicerina y ácido acético a 70 °C hasta obtener un gel, que se vierte en charolas para secado durante 24 horas y se realiza el desmolde. Las pruebas realizadas mostraron un espesor promedio de 0.17 mm, una resistencia mecánica de 2,655 N antes de romperse y una elongación máxima de 9.55 mm, manteniendo un comportamiento lineal entre tensión y deformación. Además, la biopelícula presentó un 27 % de humedad y un 10 % de ceniza. En pruebas de compostaje con humedad controlada, la película se desintegró en 15 días. Estos resultados demuestran que la película biodegradable a base de almidón de chayote cuenta con propiedades óptimas para su uso como recubrimiento de alimentos, ofreciendo una alternativa viable a los plásticos convencionales.

Palabras clave: *Biopelícula, Chayote, Biodegradable, Plásticos*

Abstract — According to INEGI (2022), Mexico generates around 4 million tons of single-use plastics, such as polypropylene used in food packaging. In light of this problem, this research aims to develop a biodegradable film based on chayote starch (*Sechium edule*) as a sustainable alternative. The process begins with washing, blending, and filtering the chayote, followed by a 24-hour rest period, washing, sedimentation, decanting, and drying of the starch. It is then mixed with glycerin and acetic acid at 70°C until a gel is obtained, which is poured into trays for drying for 24 hours and then removed from the mold. The tests carried out showed an average thickness of 0.17 mm, a mechanical resistance of 2,655 N before breaking, and a maximum elongation of 9.55 mm, maintaining a linear relationship between tension and deformation. In addition, the biofilm had 27% moisture and 10% ash content. In controlled humidity composting tests, the film disintegrated in 15 days. These results demonstrate that the biodegradable film based on chayote starch has optimal properties for use as a food coating, offering a viable alternative to conventional plastics.

Bioplastic, Chayote, Biodegradable, Plastics

I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2023) indica que al año a nivel mundial se genera alrededor de 430 millones de toneladas de residuos plásticos, lo cual tiene un impacto significativo en nuestro planeta estos residuos generados matan la vida silvestre, se infiltran en nuestra cadena alimentaria, afectando la salud humana y los ecosistemas. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2022) México en un año genera aproximadamente 8 millones de toneladas de plásticos, de los cuales el 50% son de un solo uso, es decir alrededor de 4 millones de toneladas.

La Natural Resources Defense Council (NRDC) define a los plásticos de un solo uso como un producto elaborado a base de combustibles fósiles, y que están destinados a ser desechados inmediatamente después de cumplir su función, es decir que tienen una vida útil de tan solo unos minutos. Este tipo de plásticos son comúnmente utilizados en la industria de embalaje, en desechables y en el recubrimiento de alimentos, Los plásticos de un solo uso son un problema de conveniencia, pero su impacto es devastador.

Lo anterior ha revelado una realidad realmente impactante y un problema urgente que debe ser atendido, es por ello que, con la finalidad de brindar una alternativa sostenible a la creciente crisis por residuos plásticos, está investigación plantea el desarrollo de una película plástica completamente biodegradable a base de un recurso natural como el almidón del chayote (*Sechium edule*). El chayote (*Sechium edule*) es una hortaliza que pertenece a la familia de cucurbitáceas, y es ampliamente disponible en México, y diversas investigaciones han demostrado que en comparación a otras hortalizas el chayote (*Sechium edule*) presenta mayor porcentaje de almidón en su composición siendo esta de un 72.80%.

El chayote (*Sechium edule*) utilizado para la elaboración de la película, es resultado de la merma que genera el mercado más grande del estado de Oaxaca, de esta manera aprovechamos los residuos que genera el mercado y evitamos que estos lleguen a los vertederos agravando más la crisis climática, de igual manera, se decidió optar por la merma, ya que se observó que el chayote (*Sechium edule*) en mayor está de maduración puede contener un porcentaje mayor de almidón.

El objetivo de esta investigación es elaborar una biopelícula a base de almidón de chayote (*Sechium*

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, montserratcristina02@gmail.com, 0009-0005-0917-3308

² Instituto Tecnológico de Oaxaca, marciayael51@gmail.com, 0009-0002-6965-2026

³ Instituto Tecnológico de Oaxaca, pacogcha@gmail.com, 0009-0004-6558-8746

⁴ Instituto Tecnológico de Oaxaca, odette.alejandraj@gmail.com, 0009-0000-3316-2856

edule), que presente características similares plástico convencional utilizado para el recubrimiento de alimentos, esto se evaluará mediante pruebas realizadas en un laboratorio, de esta manera, se busca brindar una solución sostenible e innovadora a los plásticos de un solo.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados para la elaboración de la película plástica son los siguientes: chayote (*Sechium edule*), agua destilada, ácido acético (1mol/L), glicerina, horno de secado (digital con explosión de calefacción eléctrica 110V-220V), manta cielo, parrilla eléctrica (digital 540°C 120v CIMAREC+. THERMO SCIENTIFIC), agitadores magnéticos (Fisherbrand™ Barras agitadoras cilíndricas de PTFE o de vidrio), probetas (Probeta Graduada De 100ml Clase B Astm. Pyrex), vasos de precipitado (Vaso De Precipitado De 100ml. Kimax), molde de vidrio, balanza (OHAUS Adventurer® Balanza - 420 gramos x 0.001 gramos), procesador, bandejas, mortero (Mortero De Porcelana Con Pistilo 600 Ml), coladores, contenedor y papel absorbente.

El proceso de elaboración consta de dos etapas:

1. Extracción del almidón

Una vez obtenida la materia prima se realizó una selección de los chayotes (*Sechium edule*) que se encuentran en óptimas condiciones para ser procesados, es decir que el chayote (*Sechium edule*) no debe presentar señales de putrefacción. Ya que se realizó la selección se lavó y desinfectó la materia prima, ya que es común que presente ciertas impurezas. La materia prima se cortó en trozos pequeños para facilitar el proceso de extracción del almidón, posteriormente se procedió a pesar los chayotes (*Sechium edule*) ya cortados. Con ayuda de un procesador se realizó una molienda húmeda, es decir que se licuo con agua destilada el chayote (*Sechium edule*) previamente cortado, con una relación 1:1. Posterior a la molienda se realizó un lavado a la pulpa, lo cual consistió en apoyarse de una manta para filtrar la pulpa obtenida en la molienda en un contenedor, a su vez se realizó el lavado con agua fría o a temperatura ambiente para facilitar el proceso de extracción, de igual manera una vez se hizo el lavado se añadió agua destilada en relación 1:1 con el peso inicial del chayote (*Sechium edule*) para extraer una mayor cantidad de almidón.

Después de realizar el lavado a la pulpa, se dejó reposar la mezcla por al menos 24 horas, esto ayudó a que el almidón se sedimentara en el fondo del contenedor. Pasadas las 24 horas se procedió a realizar una decantación, es decir que eliminamos la mayor cantidad agua y pulpa de la mezcla, posterior a esto se añadió agua destilada en la proporción inicial que 1:1. Realizada la primera decantación se dejó sedimentar nuevamente la mezcla por un periodo de 3 horas. Transcurridas las 3 horas se realizó una segunda decantación, después de la decantación se pudo observar en el fondo del contenedor el almidón listo para ser extraído. Posterior a la

decantación con papel absorbente se filtró el almidón obtenido, para luego pasarlo a bandejas y llevarlo a secar durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez que el almidón estuvo seco se procedió a triturar con ayuda de un mortero, para posteriormente tamizar al menos 2 veces y obtener un polvo fino.

2. Elaboración de la película

En un vaso de precipitado se colocó 100 ml de agua destilada y en relación al agua que se utilizó colocamos 10% de almidón (10 gr) y se mezcló para obtener un resultado homogéneo. Después, se añadió 5% de glicerina (5 ml) y 7% de ácido acético (7 ml). Esta mezcla se llevó a calentamiento en una parrilla eléctrica con agitación controlada y constante hasta alcanzar el punto de gelatinización a 70°C. Una vez que se obtuvo una mezcla viscosa se vertió la mezcla en moldes de vidrio. Se llevó a secar la mezcla durante 24 horas a temperatura ambiente o en horno a 90° por 4 horas, o hasta que se alcanzó una humedad del 10 o 25%. Ya que la película se encontró seca se procedió a desmoldar, realizado el desmolde se enrolló la película en tubos de cartón para su posterior empaquetado.

Realizamos diversas pruebas a nivel laboratorio con la finalidad de evaluar las propiedades de la película, por lo que para cada una de ellas se realizaron diversos lotes para tener muestras suficientes para un análisis más preciso.

1. Espesor de la película. En esta prueba nos apoyamos de un vernier digital para evaluar el valor promedio del espesor de la película.
2. Resistencia mecánica. Con el apoyo de un texturometro se sometieron 5 muestras de distintos lotes de la película, primero se cortaron las 5 muestras de 10 cm * 2 cm, posteriormente se fijó una de las muestras en las mordazas del texturometro, luego se programó la velocidad de tracción, este proceso se realizó con cada una de las muestras y posteriormente se realizó el análisis de los resultados.
3. Prueba de permeabilidad al vapor de agua. Para la realización de esta prueba nos apoyamos de la técnica desecante, la cual consistió en cortar las muestras de la película, en nuestro caso se utilizaron 5 muestras con el fin de que se cubriera por completo la superficie de las cajas Petri que se utilizaron, las cajas Petri se rellenaron con gel sílice y se llevaron a pesar para conocer el peso actual, sellamos las cajas con la película, y colocamos las 5 cajas en un desecador, retiramos las cajas cada hora para poder evaluar la variación en el peso, esta prueba se realizó por 3 días consecutivos.
4. Prueba de ceniza. Para la realización de esta prueba se recortó una pequeña porción de la película y se pesó junto con un crisol, posterior a ello, se programó el horno a una temperatura de 500° C y colocamos el crisol dentro, esperamos alrededor de 2 horas para retirar el

crisol del horno, una vez que se enfrió, se pesó nuevamente para calcular el porcentaje de ceniza.

5. Prueba de biodegradabilidad. Primero se colocó en una superficie una capa abono con una concentración de 57.20% de materia inorgánica, 1.23% de nitrógeno, 0.67% de fósforo y 2.17% de potasio, luego se acomodaron 45 muestras de 5 cm * 5 cm de distintos lotes de la biopelícula previamente pesados, de igual manera se instalaron identificadores para cada muestra, para después colocar otra capa del mismo abono. La prueba se llevó a cabo durante un mes, donde se controló constantemente la humedad del ambiente, cada día se extrajo una muestra para evaluar su peso y su desintegración.

III. RESULTADOS

La prueba de espesor reveló que la biopelícula de almidón de chayote presentó un valor promedio de 0.17 mm. En cuanto a la resistencia mecánica, se obtuvo una resistencia máxima promedio de 2.655 N antes de la ruptura, con una elongación máxima de 9.95 mm. En la tabla 1 se presentan los resultados de permeabilidad al vapor de agua, donde se registró una variación de masa respecto al tiempo (dm/dt) de 0.009675 g/h, un coeficiente de transferencia de vapor de agua (WVT) de 0.000291564 g/h·m², una permeanza (Pe) de 2.3623E-07 g/h·m²·Pa, y una permeabilidad al vapor de agua (PVA) de 4.01591E-09 g/m·h·Pa, lo que indica una baja permeabilidad.

Tabla 1: Valores de permeabilidad el vapor de agua

ÍTEM	VARIABLE	VARIABLE
<u>PELÍCULA</u>	dm/dt(g/h)	0.009675
	WVT(g/hm ²)	0.000291564
	Pe(g/hm ² Pa)	2.3623E-07
	PVA(g/mhPa)	4.01591E-09

Fuente. Elaboración propia.

Además, la prueba de cenizas indicó un contenido del 10 % de materia inorgánica en la composición de la película. Por último, la prueba de biodegradabilidad demostró que la película se desintegró completamente en 13 días bajo condiciones de humedad controlada.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la biopelícula de almidón de chayote posee propiedades físicas y mecánicas prometedoras como recubrimiento

biodegradable. El espesor de 0.17 mm se encuentra dentro del rango reportado para películas similares en estudios previos, lo cual favorece su aplicación en la industria alimentaria. Sin embargo, la resistencia mecánica de 2.655 N y la elongación máxima de 9.95 mm sugieren que aún existen oportunidades de mejora para alcanzar características comparables con los plásticos convencionales, especialmente en aplicaciones que requieran mayor resistencia estructural.

Respecto a la permeabilidad, los valores obtenidos indican un bajo paso de vapor de agua, lo cual es favorable para conservar alimentos que requieren protección contra la humedad. La baja PVA refuerza esta característica, haciendo de la biopelícula una opción viable para el recubrimiento de frutas y verduras frescas, ayudando a prolongar su vida útil al reducir la pérdida de agua y la exposición a factores externos.

La presencia de un 10 % de materia inorgánica no representa un impedimento directo, pero será necesario evaluar su influencia en la durabilidad y estabilidad de la película, especialmente si se busca aplicar en entornos con alta humedad o manipulación constante.

En cuanto a la biodegradabilidad, la desintegración en solo 13 días bajo condiciones de humedad controlada posiciona a esta biopelícula como una alternativa eficaz y ecológica frente a los plásticos de un solo uso. Esto abre la posibilidad de emplearla también en envoltorios temporales para productos secos, bandejas desechables, o recubrimientos interiores para empaques compostables.

A pesar de los avances, se identifican áreas de mejora: se propone reformular la mezcla para optimizar la resistencia mecánica, así como incluir pruebas microbiológicas, de solubilidad y humedad, las cuales son fundamentales para validar su funcionalidad en condiciones reales de uso. Estas evaluaciones permitirán ampliar sus posibles aplicaciones y garantizar su desempeño como alternativa sostenible a plásticos convencionales en la industria alimentaria y de empaque.

V. REFERENCIAS

- Del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma. s.f. *Chayotextle (Sechium edule), posible ingrediente en la elaboración de los productos libres de gluten*. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icap/n5/r5.html>.
- Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera. s.f. Chayote, hortaliza que pertenece a la familia de las calabazas. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/articulos/chayote-hortaliza-que-pertenece-a-la-familia-de-las-calabazas-contribuye-a-la-salud>.
- NRDC (Natural Resources Defense Council). 2024. "Plásticos de un solo uso 101." Publicado el 27 de agosto de 2024. <https://www.nrdc.org/es/stories/plasticos-solo-uso-101#por-qué>.
- United Nations Environment Programme. s.f. Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos. UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>.
- Guaranguay Benavides, Julián A., y Jhon P. Ramirez Porras. 2021. Obtención y evaluación de un biopolímero a partir de almidón de papa de rechazo de la variedad "Betina".

- Jiménez-Hernández, J., F. Meneses-Esparza, J. Rosendo-Escobar, M. A. Vivar-Vera, L. A. Bello-Pérez, y F. J. García-Suárez. 2011. "Extracción y caracterización del almidón de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum*." *CyTA - Journal of Food* 9(2): 89–95.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2022. Sistema de Manejo Ambiental. XXI Jornada Institucional del Medio Ambiente. https://www.inegi.org.mx/contenidos/inegi/sma/doc/Informe_XXI_jima.pdf.

FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE BIOPELÍCULAS A BASE DE GOMAS NATURALES

FORMULATION AND PHYSICOMECHANICAL CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE FILMS BASED ON NATURAL GUMS

Crisostomo-Mendoza Emili Jaqueline¹, Sánchez-Medina Marco Antonio², Díaz-Barrita Aymara Judith³.

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.

Entre los polímeros naturales se encuentran: origen animal, agrícola, marino y microbiano. 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 resultados mostraron que la biopelícula con almidón de yuca, papa y quitosano presentaron mejores propiedades físicas y siendo más rígidas que las demás formulaciones.

Palabras clave: *Almidón, Empaque, Gomas naturales, Películas biodegradables.*

Abstract - The growing concern about the environmental impact of conventional plastic materials, especially those used in food packaging and preservation, has prompted the search for sustainable alternatives that are biodegradable and come from renewable sources.

In this sense, it is necessary to carry out research to formulate biofilms based on biopolymers using reproducible techniques and to evaluate their properties with scientific criteria, in order to establish differences between the types of gums used, the formulation conditions and the final properties of the material.

Natural polymers include: animal, agricultural, marine and microbial origin. These materials have been used for their physical, mechanical, barrier, and structural properties that allow the formation of biodegradable films. In this project, biofilms based on cassava starch, potato starch, guar gum, chitosan and glycerol as plasticizer were prepared. Each formulation was prepared in triplicate and its physical properties such as thickness, solubility, water vapor permeability, humidity, biodegradability; and its mechanical properties such as modulus of elasticity were evaluated. The results showed that the biofilm with cassava starch, potato and chitosan presented better physical properties and were more rigid than the other formulations.

Keywords: *Starch, Packaging, Natural gums, Biodegradable films.*

I. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la industria se han desarrollado plásticos con buenas características, sin embargo, luego se desechan contaminando al medio ambiente [1]. Sin embargo, luego de su uso, el plástico es desechado sin control, contaminando en gran medida al medio ambiente. El mal uso en frutas son ejemplo de exceso de plástico ya que cuentan con una recubierta 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].

¹ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 20160820@itoaxaca.edu.mx, 0009-0000-8734-5391

² Instituto Tecnológico de Oaxaca, marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx, 0000-0002-1411-5955

³ Instituto Tecnológico de Oaxaca, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx, 0009-0005-9548-2827

III. RESULTADOS

Hay muchos reportes acerca del uso de polímeros biodegradables como materiales industriales, entre éstos el almidón, su capacidad de gelificar permite moldearlo y formar películas [3]. Este puede provenir 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 biopelícula a base de almidón de yuca que logre tener buenas características físicas y mecánicas 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/MATERIALES Y MÉTODOS

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 características físico-mecánicas por triplicado.

La apariencia fue evaluada visualmente midiendo el color; opacidad y transparencia, rigidez y flexibilidad. El espesor fue evaluado midiendo 8 puntos aleatorios obteniendo un promedio [4], la solubilidad se analizó a 23 y 90 °C sumergiendo recuadros de biopelícula en agua destilada. La permeabilidad se evaluó por el método ASTM E96/E96M-05 [5], el porcentaje de humedad se determinó empleando el método gravimétrico, la biodegradabilidad en biopelículas se evaluó por la técnica de compostaje [6], en cuanto a la composición química elemental se evaluaron tres puntos aleatorios identificando los elementos que contienen las biopelículas. Las evaluaciones mecánicas se evaluaron utilizando un texturómetro Marca: INSTRON Serie 4442 equipado con dos mordazas de medición de carga, por medio del texturómetro 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.

Propiedades físicas

La película AYGG obtuvo el espesor mayor de las cuatro formulaciones (0.0748 mm), seguida por AYGQ identificando el espesor aumenta debido a la presencia de goma guar (Tabla 1) a diferencia de estas, la biopelícula AYPQ fue la más delgada (0.0468 mm).

Tabla 1: Espesor y solubilidad de biopelículas

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

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

Fuente: Elaboración propia.

La biopelícula que presentó ser menos soluble en agua a 90°C fue APGQ, por otra parte, la biopelícula AYGG fue la que presentó un porcentaje de materia soluble en agua.

Las cuatro formulaciones presentaron ser biodegradables, dado 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 al ser

compuestas por polímeros naturales son biodegradables. La película AYPQ presentó ser la menos permeable al vapor de agua con un valor de 1.1627×10^{-08} g/hmPa y la película con menor cantidad de humedad en su composición fue AYAP (tabla 2).

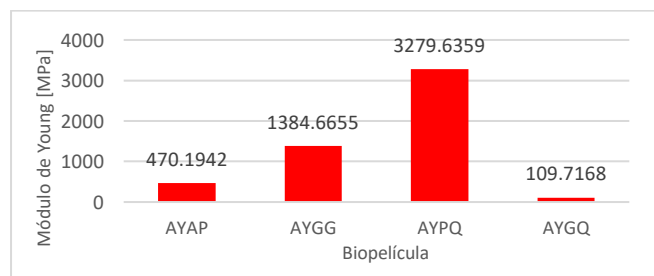
Tabla 2: Biodegradabilidad y permeabilidad en biopelículas

Formulación	Biodegradabilidad	Permeabilidad al vapor de agua ($\frac{g}{hmPa}$)	Humedad (%)
AYAP	100 %	1.9622×10^{-08}	10.016
AYGG	100 %	2.4706×10^{-07}	13.466
AYPQ	100 %	1.1627×10^{-08}	10.898
AYGQ	100 %	2.0346×10^{-08}	20.501

Fuente: Elaboración propia

Módulo de elasticidad (o de Young)

Al adicionar quitosano, cada una de las películas cambia en base a su composición, la adición de goma guar marca una diferencia notable, la biopelícula AYPQ obtuvo el módulo elástico más bajo, lo que significa que es la más rígida (gráfica 1).



Gráfica 1. Módulo de elasticidad en biopelículas

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los biopolímeros empleados: quitosano, almidón de yuca, almidón de papa y goma guar son buenos formadores de biopelículas. Se obtuvieron películas con bajo espesor, baja solubilidad (11%) a $T=23^\circ\text{C}$, valores bajos de permeabilidad al vapor de agua,

elásticas y de fácil degradación en composta lo que comprueba.

V. REFERENCIAS

- [1] Zaritzky, Noemí & Nudelman, Norma. 2020. "Gestión de los residuos plásticos: Una preocupación a nivel global". Revista Academia Nacional de Ingeniería, 8-54.
- [2] García Quiñonez, A. V. 2015. «Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz». San Salvador: El Salvador: ITCA Editores.
- [3] Rimsa, Stephen & Tatarka, Paul. 2009. «Starch Ester Blends with Linear Polyesters». US Patent 7,517,924
- [4] Orozco, E. 2017. «Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas». Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/67766>
- [5] Carballo, E., & Martínez, E. 2010. «Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano». Tesis de licenciatura. Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2497/>
- [6] Dalev, P. G., Patil, R. D., Mark, J. E., Vassileva, E., & Fakirov, S. 2000. "Biodegradation of Chemically Modified Gelatin Films in Soil". Journal of Applied Polymer Science, Vol. 78, 1341–1347

UTILIZACIÓN DEL GAS DE EFECTO INVERNADERO (CO₂) DURANTE LA DESHIDROGENACIÓN OXIDATIVA DE ETANO A ETILENO MEDIANTE LOS SOPORTES BINARIOS Al₂O₃-ZrO₂ y TiO₂-ZrO₂

REVISTA INGÉNESIS

Félix Cancino-Trejo¹, Alfredo Torres Bueno², Carlos Eduardo Santolalla Vargas³, Luis Jorge Rodríguez Castillo⁴

Resumen

Soportes combinados TiO₂-ZrO₂ y Al₂O₃-ZrO₂ 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 O₂ y CO₂. La utilización CO₂ 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 TiO₂ y Al₂O₃. En este sentido, el análisis de difracción de rayos-X (DRX) confirmó la predominancia de la fase anatasa (TA) en los catalizadores depositados sobre TiO₂-ZrO₂ y zirconia tetragonal (ZT) en los catalizadores basados en Al₂O₃-ZrO₂. DRX no mostró presencia de reflexiones correspondientes a los metales impregnados, indicando una alta dispersión sobre los soportes. Además, la adición de ZrO₂ 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 95%. 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 TiO₂-ZrO₂ and Al₂O₃-ZrO₂ supports were synthesized by chemical precipitation and impregnated with Cr, V, and Fe (7.5% wt). The catalysts were evaluated in the oxidative dehydrogenation reaction of ethane (ODH-Eth) at 550 °C and 600 °C in the presence of O₂ and CO₂. The CO₂ utilization allowed to obtain a 4 times higher selectivity towards ethylene compared to O₂. The ZrO₂ addition allowed us to achieve the proposed aim: to provide thermal stability and prevent phase transformations in the individual TiO₂ and Al₂O₃ supports. In this regard, X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the predominance of the anatase (TA) phase in the catalysts deposited on TiO₂-ZrO₂, and tetragonal zirconia (ZT) on based Al₂O₃-ZrO₂-catalysts. XRD did not show the presence of reflections corresponding to the impregnated metals, indicating a high dispersion on the supports. Besides, the ZrO₂ addition promoted an increase in the surface acidity of all the catalysts, reaching selectivity's towards propene higher than 90%. The Cr/Al-Zr catalyst showed an ethane conversion of 37% and a selectivity towards ethylene of

95%. According to these results, the presence of strong acidic and weak basic sites seems to improve the catalytic behavior of the materials.

Keywords: oxidative dehydrogenation, greenhouse gas, selectivity toward ethylene.

I. INTRODUCCIÓN

El etileno (C₂H₄) 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 acetato de cloruro de vinil y acetato de vinil, dicloroetano, etilbenceno, acetaldehído y otros productos de alto valor económico (Hurtado Cotillo et al. 2020).

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 (Numan et al. 2021). Este método no solo implica un elevado consumo energético, sino que también genera emisiones significativas de dióxido de carbono (CO₂, 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 (Ren, Patel, and Blok 2006). Por tal motivo, además de reducir las emisiones de CO₂ (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 CO₂ debe convertirse en 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 (Cancino-Trejo et al. 2022). El reto de la utilización de la DHO-Eta es el control del proceso de oxidación de los productos oleofínicos, que tienden a sobreoxidarse a CO₂ y CO, lo cual es la principal causa del envenenamiento del catalizador y de la disminución de su rendimiento, sobre todo en presencia de O₂ como gas oxidante (Cavani, Ballarini, and Cericola 2007). Por el contrario, se ha

¹ Instituto Politécnico Nacional, cancinojefelix@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5524-107X.

² Instituto Politécnico Nacional, atorresb1602@alumno.ipn.mx.

³ Instituto Politécnico Nacional, csantolallav@ipn.mx, ORCID: 0000-0003-3800-4843

⁴ Instituto Politécnico Nacional, luisjrodriguez_4@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-3590-3472

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 cambio agua-gas (Talati, Haghighi, and Rahmani 2016). 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) y aleados con otros elementos para mejorar su actividad catalítica, selectividad y longevidad (Čapek et al. 2008; Cancino-Trejo et al. 2025; Wei et al. 2025; Sun et al. 2024). Sin embargo, la información con respecto al uso de metales de transición soportados sobre titanía (TiO_2) durante la DHO-Eta es escasa, sobre todo con el uso de CO_2 como agente oxidante y a las condiciones de operación reportadas aquí.

En un trabajo llevado a cabo por (Wang et al. 2000) encontraron que $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ mostraba una alta conversión pero una baja selectividad al etileno mientras que $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 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 (Talati, Haghighi, and Rahmani 2016).

En base a lo anterior, en el presente estudio se presentan los primeros resultados de la evaluación catalítica del material $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ 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 (Singh et al. 2024; Wei et al. 2025; Cancino-Trejo et al. 2022). El objetivo fue desarrollar un catalizador de $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ 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 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$, 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/MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los soportes combinados $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ y $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$

Previo a depositar la fase activa sobre los soportes binarios o combinados, se modificaron la titanía 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 (titanía o alúmina) se colocó en un vaso de precipitado y se añadió una cantidad deseada de tetracloruro de zirconio y tolueno en exceso. La mezcla se mantuvo en agitación durante la adición del hidróxido de amonio hasta alcanzar un $\text{pH}=8$. 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.

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 deseada de nitratos de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (98%, SIGMA ALDRICH), $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (99%, SIGMA ALDRICH) y $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{V}$ (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.

		Carga	
Fe/Ti-Zr	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN
	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN
	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN
	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN
V/Ti-Zr	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN
	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$	7.5	IMPREGNACIÓN

Fuente. Elaboración propia.

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 2D PHASER. Los patrones de difracción se adquirieron con los siguientes parámetros: rango 2θ de 10 a 90° , velocidad de $0.02^\circ/\text{s}$, radiación de Cu ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$), 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 Perkin Elmer Clarus 690, con ayuda del detector de ionización por flama FID (flame ionization detector por sus siglas en ingles).

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 **Figura 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 ingles). 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 ($\text{X}_{\text{C}_2\text{H}_6}$) y la selectividad hacia etileno ($\text{S}_{\text{C}_2\text{H}_4}$) han sido calculados de acuerdo con los reportes existentes en la literatura (Asghari, Haghighi, and Rahmani 2016; Theofanidis et al. 2020).

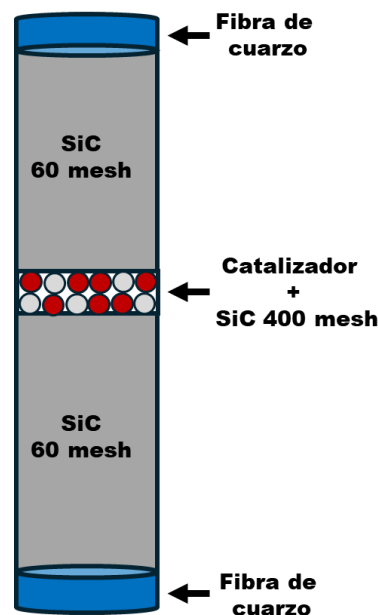


Figura 1. Empacado del catalizador dentro del reactor tubular Hastelloy de lecho fijo.

Fuente. Elaboración propia.

III. RESULTADOS

Difracción de rayos-X (DRX)

Los patrones de DRX de los catalizadores sintetizados son mostrados en la **Figura 2**. Las líneas de difracción en la muestra TiO_2 (titania) a 37° , 39° , 53° y 68° corresponden 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) (Talati, Haghighi, and Rahmani 2016). Además, en la **Figura 2** se aprecia que en el soporte combinado $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$, adicional a las líneas características de la titania, este 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 monoclinica de la zirconia (ZM) (Elbadawi et al. 2016). 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).

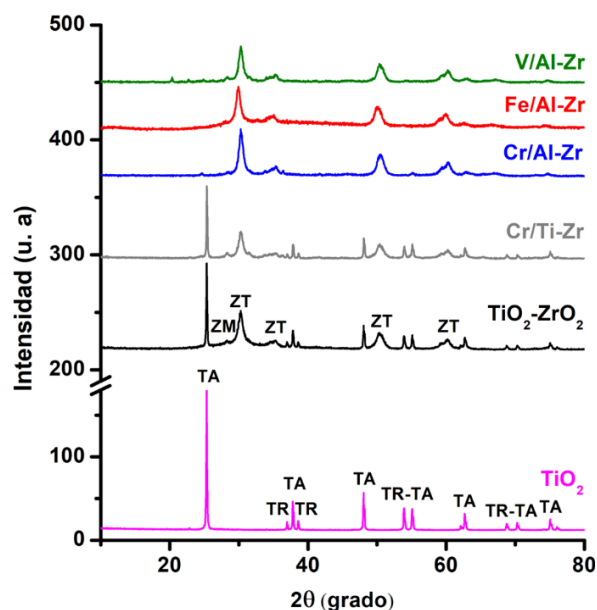


Figura 2. Patrones de DRX de la titania y los catalizadores depositados sobre los soportes combinados $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ y $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. Fuente. Elaboración propia.

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 con fuerza moderada y sitios básicos fuertes produciendo acetona (Ortiz-Islas et al. 2005).

En la **Figura 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 (**Figura 3 (d)**). Además, se observa que la cantidad de acetona es mayor en la zirconia que en la titania, 25% y 4%, respectivamente (**Figura 3 (a y b)**). Interesantemente, en la **Figura 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.

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 $\text{WHSV} \approx 1$ (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.

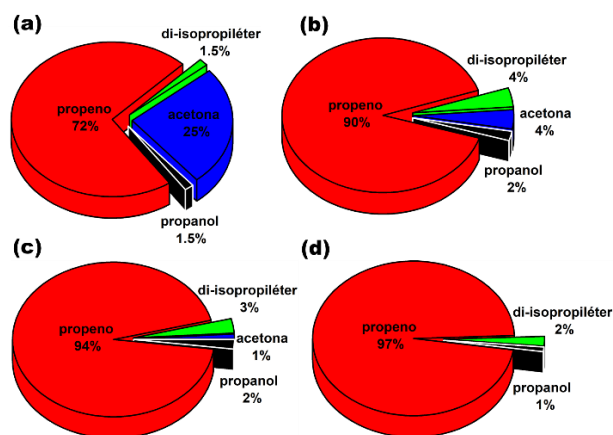


Figura 3. Selectividad de los diferentes productos de la reacción de descomposición de isopropanol a 220 °C. (a) ZrO_2 , (b) TiO_2 , (c) Fe/Ti-Zr y (d) Cr/Al-Zr. Fuente. Elaboración propia.

En la **Figura 4** se presentan las conversiones de los catalizadores depositados sobre el soporte combinado de $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$. 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%. 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 **Figura 4** se observa que el catalizador Cr/Ti-Zr obtuvo la selectividad hacia etileno más alta, aproximadamente 70%. Mientras que, nuevamente el catalizador Fe/Ti-Zr exhibió la menor selectividad hacia etileno (50%).

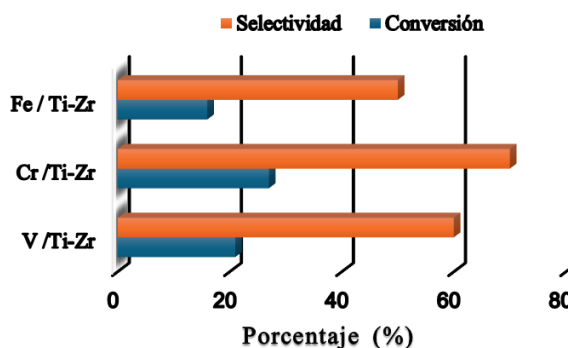


Figura 4. Conversión y selectividad de catalizadores de V, Cr y Fe a 600 °C en los catalizadores con soporte combinado $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$. Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, la **Figura 5** presenta los resultados de la evaluación de los catalizadores depositados sobre el soporte $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. El catalizador Cr/Al-Zr mostró la más alta conversión de etano (37%), en comparación con los catalizadores de Fe y V, 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 y V alcanzaron valores cercanos a 60% y 70%, respectivamente. Entonces, podemos decir que en general se obtuvo la mejor actividad en el siguiente orden decreciente: Cr/Al-Zr > Cr/Ti-Zr > V/Al-Zr > V/Ti-Zr > Fe/Al-Zr > Fe/Ti-Zr.

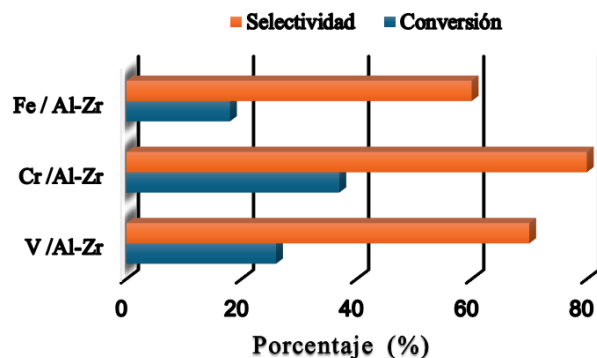


Figura 5. Conversión y selectividad de catalizadores de V, Cr y Fe a 600 °C en los catalizadores con soporte combinado Al₂O₃-ZrO₂.

Fuente. Elaboración propia.

Para entender como la selectividad está relacionada con la conversión, se realizó una serie de experimentos a temperatura constante (550°C) 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 cualquier temperatura de reacción, en comparación con el resto de los catalizadores. Esto es importante, ya que corrobora nuestra hipótesis de que los materiales sintetizados con soporte combinado mejoran su comportamiento catalítico con respecto al soporte individual de titanía.

Para dilucidar el rol del CO₂ frente al O₂ 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 O₂ es mayor que con CO₂, 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 O₂ en la alimentación aumenta la conversión de etano, mientras que el CO₂ muestra una mayor selectividad hacia el etileno. La mejora de la selectividad se atribuye al efecto de envenenamiento que

ejerce el CO₂ sobre las reacciones secundarias de los radicales alquilo con los centros activos de la superficie catalítica (Qiao et al. 2016).

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

	Conversión (%)			
	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

Fuente. Elaboración propia

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

la selectividad hacia etileno con el catalizador CH ₃ Al ₂ Cl ₃						
Oxidante	Conversión de etano			Selectividad hacia etileno		
	Temperatura de reacción (°C)					
	70	67	65	20	23	25
CO ₂	37	29	16	80	91	95

Fuente. Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron una serie de catalizadores soportados sobre los óxidos mixtos TiO₂-ZrO₂ y Al₂O₃-ZrO₂ en el proceso de DHO-Eta. El uso de titanía se basó principalmente en dos razones: la primera a la escasa información que existe sobre su uso en esta reacción en presencia de CO₂ y la segunda a que el soporte TiO₂ promueve la donación de orbitales antienlaces π del CO₂ a la superficie de los metales de transición (Jeong et al. 2020). Entre las fases cristalinas del TiO₂, 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 (Hanaor and Sorrell 2011). 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 ZrO₂ 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 TiO₂-ZrO₂ (ver **Figura 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 **Figura 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 CO₂ (95%) A 550 °C. Esto significa que CO₂ favorece la selectividad hacia el etileno con una baja formación de especies de carbono, contrario al uso de O₂, 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 O₂ en la alimentación aumenta la conversión de etano, mientras que el CO₂ muestra más selectividad hacia el etileno (Mukherjee, Park, and Reddy 2016; Zafarnak et al. 2020).

En cuanto a la acidez superficial, en la Figura 3 (a y b) se observa que la ZrO₂ y la TiO₂ 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 Al₂O₃, se ha reportado que es un soporte que exhibe una alta selectividad a propeno, por lo que es un material con una alta acidez (Manriquez et al. 2004). Interesantemente, al adicionar Zr a los soportes individuales, el comportamiento ácido-base cambia drásticamente. En este sentido, la Figura 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, en 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.

Conclusiones

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 TiO₂-ZrO₂ y Al₂O₃-ZrO₂. Según los resultados obtenidos, la adición de ZrO₂ 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 Al₂O₃-ZrO₂ 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 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 diisopropiléter en función de las cantidades utilizadas de ZrO₂ sobre los soportes de óxidos individuales.

V. REFERENCIAS

- Asghari, Elmira, Mohammad Haghighi, and Farhad Rahmani. 2016. "CO₂Oxidative Dehydrogenation of Ethane to Ethylene over Cr/MCM-41 Nanocatalyst Synthesized via Hydrothermal/Impregnation Methods: Influence of Chromium Content on Catalytic Properties and Performance." *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 418-419:115-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.03.033>.
- Cancino-Trejo, F., Victor Santes, Juan Alberto Alcantara Cardenas, Marisol Gallardo, Yadira G. Maldonado, López Miranda A, Omar Valdes, J. A. de los Reyes, and C. E. Santolalla-Vargas. 2022. "Active Ni and Fe species on catalysts Ni/Al₂O₃ and NiFe/Al₂O₃ for the oxidative dehydrogenation (ODH) of ethane to ethylene assisted by CO₂." *Chemical Engineering Journal Advances* 12:100404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100404>.
- Cancino-Trejo, F., Victor Santes, L. J. Rodríguez Castillo, J. A. Pinedo Escobar, S. M. Canchari Chacón, G. I. Picasso, and C. E. Santolalla-Vargas. 2025. "Catalytic Behavior of Ni, Ga, and O on Ni-Ga Oxide Based Catalysts During the Oxidative Dehydrogenation of Ethane with CO₂." *Topics in Catalysis*. doi: 10.1007/s11244-025-02096-x.
- Čapek, Libor, Lukáš Vaněk, Lucie Smoláková, Roman Bulánek, and Jiří Adam. 2008. "The Feasibility of Ni-Alumina Catalysts in Oxidative Dehydrogenation of Ethane." *Collection of Czechoslovak Chemical Communications* 73. doi: 10.1135/cccc20081177.
- Cavani, F., N. Ballarini, and A. Cericola. 2007. "Oxidative dehydrogenation of ethane and propane: How far from commercial implementation?" *Catalysis Today* 127 (1):113-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2007.05.009>.
- Elbadawi, AbdAlwaddood H., Mohammed S. Ba-Shammakh, Sameer Al-Ghamdi, Shaikh A. Razzak, and Mohammad M. Hossain. 2016. "Reduction kinetics and catalytic activity of VOx/γ-Al₂O₃-ZrO₂ for gas phase oxygen free ODH of ethane." *Chemical Engineering Journal* 284:448-457. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.048>.
- Hanaor, Dorian A. H., and Charles C. Sorrell. 2011. "Review of the anatase to rutile phase transformation." *Journal of Materials Science* 46 (4):855-874. doi: 10.1007/s10853-010-5113-0.
- Hurtado Cotillo, Mario, Daisy Unsihuay, C. E. Santolalla-Vargas, Ana Paredes Doig, Rosario Sun Kou, and Gino Picasso. 2020. "Catalysts based on Ni-Fe oxides supported on γ-Al₂O₃ for the oxidative

- dehydrogenation of ethane." *Catalysis Today* 356:312-321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.05.044>.
- Jeong, Min Hye, Jian Sun, Gui Young Han, Dong Hyun Lee, and Jong Wook Bae. 2020. "Successive reduction-oxidation activity of FeOx/TiO2 for dehydrogenation of ethane and subsequent CO2 activation." *Applied Catalysis B: Environmental* 270:118887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.118887>.
- Manriquez, M. E., T. López, R. Gómez, and J. Navarrete. 2004. "Preparation of TiO2-ZrO2 mixed oxides with controlled acid-basic properties." *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 220 (2):229-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2004.06.003>.
- Mukherjee, Deboshree, Sang-Eon Park, and Benjaram M. Reddy. 2016. "CO2 as a soft oxidant for oxidative dehydrogenation reaction: An eco benign process for industry." *Journal of CO2 Utilization* 16:301-312. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2016.08.005>.
- Numan, Muhammad, Eunji Eom, Ang Li, Michal Mazur, Hwa Woong Cha, Hyung Chul Ham, Changbum Jo, and Sang-Eon Park. 2021. "Oxidative Dehydrogenation of Ethane with CO2 as a Soft Oxidant over a PtCe Bimetallic Catalyst." *ACS Catalysis* 11 (15):9221-9232. doi: [10.1021/acscatal.1c01156](https://doi.org/10.1021/acscatal.1c01156).
- Ortiz-Islas, E., T. López, J. Navarrete, X. Bokhimi, and R. Gómez. 2005. "High selectivity to isopropyl ether over sulfated titania in the isopropanol decomposition." *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 228 (1):345-350. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2004.09.029>.
- Qiao, AiLing, Venkata Narayana Kalevaru, Joerg Radnik, and Andreas Martin. 2016. "Oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene over Ni-Nb-M-O catalysts: Effect of promoter metal and CO2-admixture on the performance." *Catalysis Today* 264:144-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.08.043>.
- Ren, Tao, Martin Patel, and Kornelis Blok. 2006. "Olefins from conventional and heavy feedstocks: Energy use in steam cracking and alternative processes." *Energy* 31 (4):425-451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.04.001>.
- Singh, Rajvikram, Sudhir Charan Nayak, Raghvendra Singh, and Goutam Deo. 2024. "O2 and CO2 assisted oxidative dehydrogenation of propane using ZrO2 supported vanadium and chromium oxide catalysts." *Catalysis Today* 432:114617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2024.114617>.
- Sun, Xiaohui, Yulin Li, Kezhi Tang, Jian Wang, Zhuyin Sui, and Xiufeng Xu. 2024. "Promotional effect and mechanism of SiO2 on Cr-Al2O3 catalysts for N2O-assisted oxidative dehydrogenation of ethylbenzene." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12 (2):112454. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112454>.
- Talati, Azadeh, Mohammad Haghighi, and Farhad Rahmani. 2016. "Oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene by carbon dioxide over Cr/TiO2-ZrO2 nanocatalyst: Effect of active phase and support composition on catalytic properties and performance." *Advanced Powder Technology* 27 (4):1195-1206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.appt.2016.04.003>.
- Theofanidis, Stavros A., Charis Loizidis, Eleni Heracleous, and Angeliki A. Lemonidou. 2020. "CO2-oxidative ethane dehydrogenation over highly efficient carbon-resistant Fe-catalysts." *Journal of Catalysis* 388:52-65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2020.05.004>.
- Wang, Shaobin, K. Murata, T. Hayakawa, S. Hamakawa, and K. Suzuki. 2000. "Dehydrogenation of ethane with carbon dioxide over supported chromium oxide catalysts." *Applied Catalysis A: General* 196 (1):1-8. doi: [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(99\)00450-0](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(99)00450-0).
- Wei, Siyi, Changqing Wang, Lei Zhou, Xiaoyu Zhang, Zijian Zhou, and Xiaowei Liu. 2025. "Zr-modified γ -Al2O3 supported CrOx catalyst for CO2 assisted ethane dehydrogenation." *Fuel* 382:133770. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133770>.
- Zafarnak, Samira, Ali Bakhtyari, Hamed Taghvaei, Mohammad Reza Rahimpour, and Adolfo Iulianelli. 2020. "Conversion of ethane to ethylene and hydrogen by utilizing carbon dioxide: Screening catalysts." *International Journal of Hydrogen Energy*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.150>.

SIMULACIÓN TÉRMICA DE UN COLECTOR SOLAR DE DOBLE PASO

THERMAL SIMULATION OF A DOUBLE PASS SOLAR COLLECTOR

Alfredo Ojeda López¹, Juan Rodríguez Ramírez², Vicencio Almaraz Almaraz³

Resumen — Este estudio utiliza simulaciones por medio de ANSYS® con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico y fluidodinámico de un colector solar de doble paso (1642,8 x 990,8 x 80 mm) para el calentamiento de aire. El dominio computacional incluyó la cubierta de vidrio, la placa absorbente y el aislante. El aire se consideró como un medio incompresible con flujo turbulento, además de la interacción térmica con el ambiente, apoyándose en las ecuaciones fundamentales para mecánica de fluidos y transferencia de calor. Los hallazgos indican recirculación de aire en las cavidades de interconexión y turbulencia significativa en la salida del colector. En conclusión, la simulación fue útil para identificar áreas críticas para la mejora en el diseño del DPSC.

Palabras clave: *Colector solar de doble paso, energía renovable, simulación térmica, CFD*

Abstract — This study uses ANSYS® simulations to evaluate the thermal and fluid dynamic behavior of a double-pass solar collector (1642.8 x 990.8 x 80 mm) for air heating. The computational domain included the glass cover, the absorb plate, and the insulator. Air was considered an incompressible medium with turbulent flow, in addition to thermal interaction with the environment, based on the fundamental equations for fluid mechanics and heat transfer. The findings indicate air recirculation in the interconnecting cavities and significant turbulence at the collector outlet. In conclusion, the simulation was useful in identifying critical areas for improvement in DPSC design.

Keywords: *Double-pass solar collector, renewable energy, thermal simulation, CFD*

I. INTRODUCCIÓN

El avance en las soluciones energéticas se ha visto impulsado por la creciente preocupación debida a el cambio climático y la exigencia mundial de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. En este contexto, la energía solar es una de las alternativas más prometedoras y esenciales para afrontar los retos energéticos y ambientales del siglo XXI [1].

Entre las tecnologías que aprovechan la radiación solar, los colectores solares de doble paso (DPSC) son una configuración diseñada para maximizar la transferencia de calor del absorbedor al fluido de trabajo, en este caso, aire. A diferencia de los colectores de un solo paso, los DPSC permiten que el aire circule dos veces sobre la superficie de absorción lo que aumenta el tiempo de contacto entre ellos lo que aumenta la eficiencia del colector. Sin embargo, entender y perfeccionar su comportamiento termodinámico y fluidodinámico es

esencial para aprovechar al máximo su potencial. Estudios como el de José González (2016) [2] han investigado la simulación numérica de colectores solares en configuraciones planas y, más recientemente, Salhi et al. (2024) han examinado mejoras térmicas y dinámicas en DPSC [3]. Este estudio se centra en evaluar el comportamiento térmico de un DPSC destinado a la calefacción de aire mediante convección forzada. Esto se logró mediante el uso de simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS® Student 2024. El objetivo es analizar exhaustivamente los perfiles de velocidad y temperatura del aire dentro del colector para identificar áreas de mejora y maximizar su eficiencia térmica general. El objetivo es analizar exhaustivamente los perfiles de temperatura y velocidad del aire dentro del colector para identificar áreas de mejora y maximizar su eficiencia térmica general.

II. METODOLOGÍA/MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la evaluación del comportamiento térmico del DPSC, se implementó una metodología de simulación numérica basada en CFD. El DPSC simulado tiene dimensiones de 1642.8mm de largo y 990.8 mm de ancho, en el cual se incluye una cubierta de vidrio templado, una placa de aluminio que funge como superficie absorbente y una superficie de madera que funge como aislante, de 6 ,1.4 y 6 mm de espesor respectivamente, los valores de las propiedades termofísicas fundamentales de los materiales empleados se muestran en la tabla 1. Dentro del colector entre la capa de vidrio, la placa absorbente y el aislante existen capas de aire de 33 mm de altura. En la Figura 1 se observa el dominio computacional antes descrito el cual contempla un mallado de 406,791 elementos en el cual no se considera el espesor del marco que cubre al colector solar, el cual fue modelado por medio de la función espesor de pared incluida en el software. La malla fue chequeada mediante un examen de independencia de la malla, refinando la misma hasta comprobar que su influencia sobre la solución sea inferior a 1%.

Las entradas y salidas del colector solar se trataron como superficies adiabáticas. En la entrada de aire, se aplicó una condición de pressure inlet con presión atmosférica y una temperatura de 306.61 K, mientras que la salida fue definida como velocity inlet con una velocidad de -4.26 m/s bajo un régimen de flujo forzado. Las paredes externas del dominio (vidrio, placa absorbente y aislante) se modelaron como superficies expuestas a convección natural, utilizando un coeficiente de transferencia de calor

¹ Instituto Politécnico Nacional, aojedal2300@alumno.ipn.mx, ORCID :0009-0003-4725-1464

² Instituto Politécnico Nacional, jrodrigr@ipn.mx, ORCID: 0000-0002-0866-9230

³ Instituto Politécnico Nacional, almarazvicencio@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0527-9747

de 11 W/m²K. La radiación se modelo aplicando la calculadora solar para el día 10 de abril de 2025 utilizando las coordenadas -96.7,17.02 (longitud, latitud), con un GMT -6 mediante el modelo de radiación DO usando una irradiación total de 1035.80 W/m² tal como se muestra en la Tabla 2, además se hicieron las siguientes consideraciones y suposiciones:

- El aire es un medio continuo e incompresible.
- Al colector entra aire completamente seco.
- La gravedad actúa en dirección negativa sobre el eje “y” con una aceleración de 9.81 m/s².
- Las propiedades termo-físicas del vidrio, la placa absorbente y el aislante se consideran constantes para una temperatura dentro del intervalo de operación.
- El flujo de aire es estacionario y posee características de flujo turbulento.
- La radiación medida ingresada se considera 100% directa.
- La cubierta de vidrio intercambia calor con el ambiente por convección y por radiación.
- Las superficies de las caras laterales del vidrio, aislante y volumen del fluido se consideran paredes expuestas a convección por el ambiente.

Las ecuaciones que rigen el modelo de simulación se escriben a continuación.

Ecuación de Continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido (kg/m³).
- t : Tiempo (s).
- $\vec{v}$: Vector de velocidad (m/s).
- ∇ : Operador divergencia.

Ecuación de Momento (Navier-Stokes para flujo incompresible y estacionario):

$$\rho(\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2)$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido (kg/m³).
- $\vec{v}$: Vector de velocidad (m/s).
- p : Presión (Pa).
- μ : Viscosidad dinámica (Pa·s).
- ∇ : Operador nabla.
- ∇^2 : Operador laplaciano.
- $\vec{g}$: Vector de aceleración de la gravedad (m/s²).

Modelo de Turbulencia k-epsilon:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + G_k - \rho \quad (3)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido (kg/m³).
- k : Energía cinética turbulenta (m²/s²).
- t : Tiempo (s).
- μ : Viscosidad dinámica (Pa·s).
- μ_t : Viscosidad turbulenta (Pa·s).
- σ_k : Constante de Schmidt para k.
- σ_ϵ : Constante de Schmidt para ϵ .
- G_k : Generación de k debido a gradientes de velocidad media (W/m³).
- $C_{1\epsilon}$ y $C_{2\epsilon}$: Constantes del modelo
- ϵ : Tasa de disipación de energía cinética turbulenta (m²/s³).
- k : Energía cinética turbulenta (m²/s²).

Ecuación de Energía (Conservación de Energía):

$$\rho c_p (\vec{v} \cdot \nabla) T = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h \quad (5)$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido (kg/m³).
- c_p : Calor específico a presión constante (J/kgK).
- T : Temperatura (K).
- k : Conductividad térmica del fluido (W/mK).
- S_h : Término fuente de calor (incluye radiación) (W/m³).

Modelo de Radiación de Ordenadas Discretas (DO):

$$\begin{aligned} & \nabla \cdot (I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (\alpha_\lambda + \sigma_s) I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) \\ &= \alpha_\lambda n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}') d\Omega' \end{aligned} \quad (6)$$

Donde

- $I(\vec{r}, \vec{s})$: Intensidad radiativa en la posición $\vec{r}$ en la dirección $\vec{s}$ (W/m² * sr)
- κ : Coeficiente de absorción (1/m)
- σ_s : Coeficiente de dispersión (1/m)
- a : Emisividad – n : Índice de refracción
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann (5.67 × 10⁻⁸ W/m² K⁴)
- T : Temperatura absoluta (K)
- $\Phi(\vec{s}', \vec{s})$: Función de fase de dispersión
- $d\Omega'$: Elemento de ángulo sólido (sr)

Las propiedades de los materiales se muestran en la Tabla 1 y las condiciones iniciales de la simulación en la Tabla 2.

III. RESULTADOS

En la Figura 2 se visualizan de las líneas de flujo de aire dentro del DPSC, del lado izquierdo se muestra una vista superior y del derecho la vista inferior, en ambas vistas se puede observar la trayectoria y el comportamiento del aire a medida que se mueve a través de las cavidades internas del colector. Estas visualizaciones permiten entender la distribución que tiene el flujo de aire y cómo su diseño

impacta en la distribución. En este aprecian las regiones de flujo más uniforme aproximadamente 1m/s, así como posibles zonas donde se generen patrones de recirculación o turbulencia.

El análisis muestra que existe una recirculación en las cavidades que conectan las zonas inferior y superior, esta recirculación se puede ser observada en la Figura 3, donde las trayectorias del flujo alcanzan 2.6 m/s y se generan remolinos. Asimismo, la Figura 4 muestra patrones de turbulencia significativos en la región de salida, lo que resulta en irregularidades en el descenso del flujo de aire, aunque la turbulencia controlada puede mejorar la transferencia de calor, la presencia de patrones irregulares en la salida puede indicar una distribución no homogénea del aire caliente y potenciales pérdidas de energía.

Si nos centramos en las Figuras 3-5 podemos observar que placa absorbente actúa como el principal componente solido en la transferencia de calor, calentando el aire mediante convección mientras este entra en contacto con dicha superficie en su camino a la salida. La distribución de temperatura mostrada en la Figura 5 corrobora este efecto, mostrando cómo las zonas más calientes se concentran cerca de la placa absorbente, lo cual confirma su papel dominante en el calentamiento del fluido de trabajo y resalta su importancia en el diseño del colector.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio del DPSC por medio de simulaciones CFD permitió una comprensión detallada del comportamiento térmico y fluidodinámico del aire dentro de este. Se determinó que existe una recirculación en las cavidades de interconexión (Figura 3) y se presentan patrones de turbulencia en la salida (Figura 4). Además, se confirma que la placa absorbente es el elemento clave en la transferencia de calor (Figura 5), concentrando las zonas más calientes del aire cerca de ella, lo que indica que su papel es esencial en el diseño. Los perfiles observados (Figura 2 y 3) muestran que, incluso si existen regiones de flujo uniformes, las zonas de turbulencia y recirculación requieren atención para maximizar el rendimiento. Este estudio logro evaluar el comportamiento que tiene el aire dentro del DPSC, identificando las áreas que requieren modificaciones, para lo cual el uso de simulaciones fue y será útil para visualizar y cuantificar los fenómenos ocurridos dentro del mismo, proporcionando una base para futuras progresos. En futuros trabajos, se propone explorar modificaciones en la geometría las interconexiones entre cavidades y la región de salida. Asimismo, se sugiere la evaluación de diferentes materiales o recubrimientos sobre la placa absorbente para mejorar la eficiencia.

V. REFERENCIAS

A. Libros

Kalogirou, S. A. 2014. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Second edition.* Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374501-9.X0001-5>.

B. Publicaciones periódicas

González Bayón, J. J., y R. -Borrajó Pérez. 2016. "Simulación Numérica de Un Colector Solar Plano de Aire Operando En Régimen de Convección Natural." *Revista de Ingeniería Energética XXXVIII*, no. 1: 62–71.

Salhi, M., F. Alshammari, A. A. Ghoneim, A. A. Abdelghany, y A. S. Abdullah. 2024. "Thermal and Dynamic Improvement of a Double Pass Solar Air Heater for Drying Applications." *Thermal Science and Engineering Progress* 50: 102583. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102583>.

Desisa, B. B., y Y. A. Shekata. 2020. "Numerical analysis of double-pass solar air heater with fined absorber plate." *Energy Reports* 6: 3012-3023.

ANEXOS

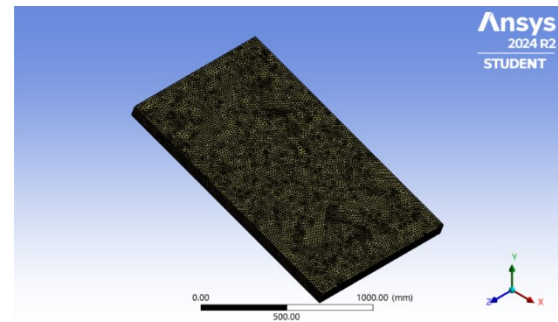


Figura 1. Malla computacional del DPSC utilizada en la simulación CFD

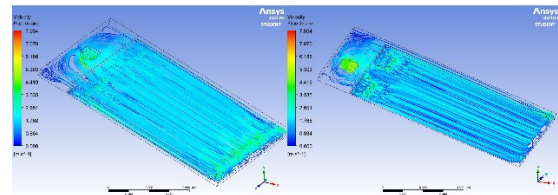


Figura 2. Líneas de flujo de aire dentro del colector solar DPSC

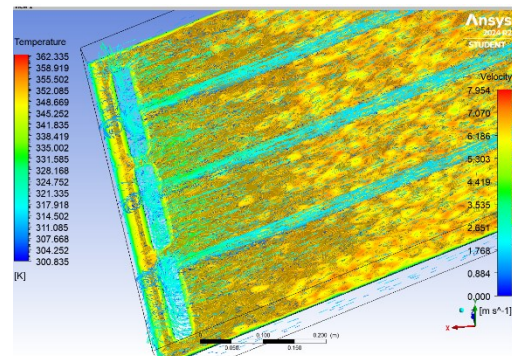


Figura 3. Distribución de la temperatura en la placa absorbente, recirculación y turbulencia del flujo de aire en las cavidades.

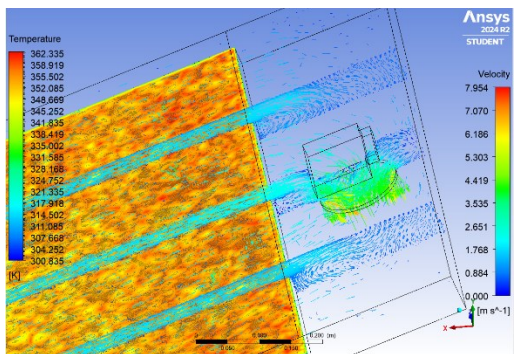


Figura 4. Distribución de la temperatura en la placa absorbente, recirculación y turbulencia del flujo de aire en la salida.

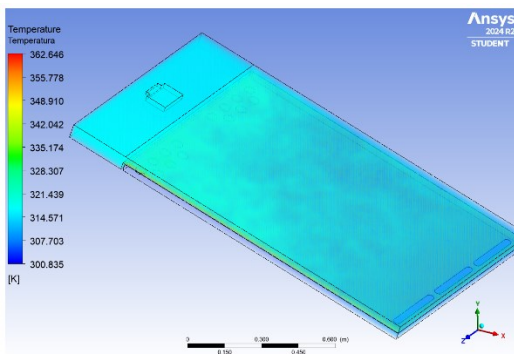


Figura 5. Distribución de la temperatura en el DPSC

Tabla 1: Propiedades físicas de los materiales usados en la simulación del Colector.

	DENSIDAD $\frac{kg}{m^3}$	CALOR ESPECIFIC O $\frac{J}{kg \times K}$	CONDUCT IVIDAD TEMICA $\frac{W}{m \times K}$	INDICE REFRAC TIVO
VIDRIO**	2500	720	1	1.52
ALUMINIO*	2719	871	202.4	1
MADERA*	700	2310	0.173	1
CELDA FOTOVOLT AICA	2400	800	1.5	1.5
PLASTICO	950	1300	0.2	1.5

Fuente. Elaboración propia *ANSYS fluent y **(Desisa & Shekata, 2020) [4].

Tabla 2: Condiciones iniciales

	VELOCIDAD DE AIRE ($\frac{m}{s}$)	TEMPERA TURA (K)	$h (\frac{W}{m \times K})$	IRRADINC IA (W/m^2)
ENTRADA	//	306.61	//	1035.80
SALIDA	4.26	//	//	
PAREDES	//	306.61	11	

Fuente. Elaboración propia