



**CAPÍTULO 1**  
**Sustentabilidad y química ambiental**

**CAPÍTULO 2**  
**Ciencia y tecnología para el desarrollo regional**

**CAPÍTULO 3**  
**Sustentabilidad y química ambiental**

**ISSN: En trámite**

**"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

INGÉNESIS Revista Científica Multidisciplinaria del Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO).

Número 1, con periodicidad semestral. Editada y distribuida por la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Con domicilio en: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

Correo electrónico: [revista.ingenesis@itoaxaca.edu.mx](mailto:revista.ingenesis@itoaxaca.edu.mx)

Sitio web: <https://oaxaca.tecnm.mx/revista>

Número de Certificado de Reserva de Derechos al uso Exclusivo del Título: EN TRÁMITE.

ISSN: EN TRÁMITE.

# 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 y otras 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

<u>Capítulo I Sustentabilidad y química ambiental .....</u>	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	
<u>Capítulos II Ciencia y tecnología para el desarrollo regional.....</u>	
Caracterización de levadura aisladas de <i>Agave angustifolia</i> para la producción de cerveza artesanal.....14	
Caracterización de la cinética de secado de mango ataulfo en un túnel de secado.....16	
Evaluación de tres métodos de extracción de carotenoides en maíces nativos de Oaxaca.....20	
Identificación de hongos filamentosos en forraje de reyes Etla, Oaxaca.....22	
Formulación de harina setas fortificada con antioxidantes de chile huacle.....24	
Caracterización físico mecánica de tortilla de maíz ( <i>Zea Mays</i> ).....28	
Caracterización física del huevo de guajolote ( <i>Meleagris GALLOPAVO L.</i> ) alimentadas con forrajes .....30	
Modelado de secado convectivo con temperatura variable .....	33
Monitore comunitario participativo de agua como indicador de servicios ecosistémicos del bosque .....	38
Biosensor electroquímico basado en NTCPM-con a para cuantificación de glucosa....43	
Desarrollo de modelo de inteligencia artificial para detección de melanoma.....46	
<u>Capítulo III Sustentabilidad y química ambiental.....</u>	
Diseño de un sustituto vegetal de carne a base de legumbres y cereales.....	
Bioadhesivo alimentario de base de almidón de yuca .....	
Evaluación de la toleración a metales pesados del hongo <i>Calvatia gigantea</i> .....	
Efecto de los métodos de destilación en la calidad del mezcal .....	

- Tolerancia de Pb, Cr, Cu y Mn por la biomasa de *Seleroderma texense* .....
- Extracción de un colorante natural del hongo.....
- Desarrollo de una biopelícula plástica elaborada a base de almidón de chayote (*Sechium Edule*).....
- Formulación y evaluación física-mecánica de biopelícululas a base de gomas naturales.....
- Utilización del gas de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) durante la deshidrogenación oxidativa de etano a etileno mediante los soportes binarios Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> Y TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>.....

# I. Sustentabilidad y Química Ambiental

El Capítulo I reúne investigaciones orientadas a comprender y mejorar los procesos relacionados con la transformación y conservación de productos agroalimentarios, desde una perspectiva de sostenibilidad y aprovechamiento de materiales naturales. En un contexto donde la industria busca alternativas ecológicas, los estudios que integran este capítulo exploran soluciones basadas en compuestos bioactivos, pretratamientos naturales y aplicaciones fisicoquímicas que potencian la calidad y estabilidad de alimentos procesados. A través de metodologías experimentales rigurosas, los artículos profundizan en cómo variables como el color, la tensión superficial, la humedad o la presencia de metabolitos influyen en la eficiencia de procesos de secado, encapsulación o formulación de materiales funcionales. Asimismo, se abordan técnicas de caracterización que permiten comprender la interacción entre matrices poliméricas, extractos vegetales y biopolímeros, aportando evidencia científica sobre su uso potencial en alimentos e incluso aplicaciones terapéuticas.

Los trabajos incluidos muestran una fuerte vinculación entre la química ambiental y el desarrollo de tecnologías más limpias, destacando el aprovechamiento de subproductos tradicionales —como el nejayote— y la integración de extractos vegetales encapsulados para obtener materiales biodegradables con aplicaciones biomédicas. También se analizan las propiedades fisicoquímicas de polisacáridos en solución, fundamentales para diseñar procesos donde intervienen fenómenos interfaciales como emulsiones o espumas. En conjunto, este capítulo ofrece un panorama detallado del avance científico en el área, proponiendo alternativas sostenibles que contribuyen tanto a la innovación alimentaria como al uso responsable de recursos naturales.

# 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 Méndez<sup>1</sup>, Laura Victoria Aquino González<sup>2</sup>, Itandehui Arriaga González<sup>3</sup>, Lilia Leticia Méndez Lagunas<sup>4</sup>.

**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  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  y  $\Delta b$ , Cromatografía, Hue y  $\Delta E$  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.

$\Delta L$ ,  $\Delta a$  and  $\Delta b$ , Chroma, Hue, and  $\Delta E$  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:

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

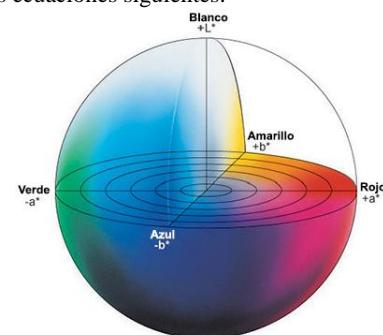
$$\Delta a = a_1 - a_0 \quad (2)$$

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

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

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

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



<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Oaxaca, [20161759@itoaxaca.edu.mx](mailto:20161759@itoaxaca.edu.mx), 0009-0009-3366-7067

<sup>2</sup> CIIDIR, [laquino@ipn.mx](mailto:laquino@ipn.mx), 0000-0002-8438-9791

<sup>3</sup> CIIDIR, [iarriagag1800@alumnoipn.mx](mailto:iarriagag1800@alumnoipn.mx), 0000-0003-1514-3699

<sup>4</sup> CIIDIR, , 0000-0002-3301-6354

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 “ $\Delta L$ ” (Ec1) y una menor variación en los parámetros  $\Delta a$  (rojo-verde Ec2) y  $\Delta b$  (amarillo-azul Ec3) en comparación con el blanco sin tratamiento y nejayote blanco (PN1).

Adicionalmente, la menor diferencia total de color “ $\Delta E^*_{CIE}$ ” 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.

PRETRATAMIENTOS	L	a	b
BLANCO	66.48	6.57	29.47
PN1	54.84	8.34	29.86
PN2	63.89	7.94	31.64

Fuente. Elaboración propia.

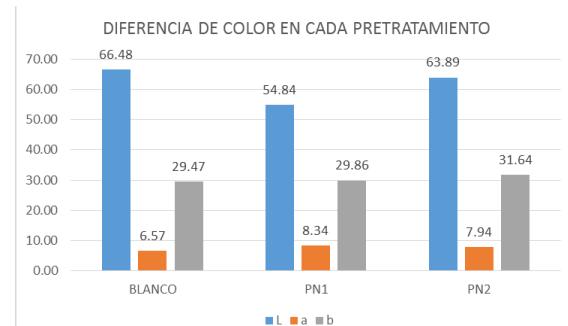


Figura 2. Gráfica de comparación del disparo con valor más alto.  
Fuente. Elaboración propia.

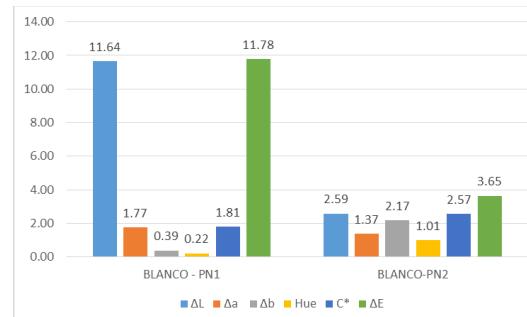


Figura 3. Gráfica de comparación del blanco contra cada pretratamiento.  
Fuente. Elaboración propia.

# 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 Martínez<sup>1</sup>, Laura Victoria Aquino<sup>2</sup>, Itandehui Arriaga<sup>3</sup>, Lilia Leticia Méndez<sup>4</sup>

**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 apóstitos 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 antinflamatorias (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 apóstitos 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.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Oaxaca, [19161142@itoaxaca.edu.mx](mailto:19161142@itoaxaca.edu.mx), 0009-0000-9939-3470

<sup>2</sup> CIIDIR, laquino@ipn.mx, 0000-0002-8438-9791

<sup>3</sup> CIIDIR, iarriagag1800@alumnoipn.mx, 0000-0003-1514-3699

<sup>4</sup> 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 silicona, 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)
<b>EP.5</b>	1	0.5	1
<b>EP1</b>	1	1	1
<b>EP1.5</b>	1	1.5	1
<b>EP2</b>	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
<b>PE0.5</b>	$3.8986 \pm 0.0240^a$	$4836 \pm 122^a$
<b>PE1</b>	$2.8462 \pm 0.0266^b$	$4806 \pm 112^a$
<b>PE1.5</b>	$4.5074 \pm 0.6969^a$	$4965 \pm 175^a$
<b>PE2</b>	$2.6754 \pm 0.1626^b$	$4413 \pm 488^a$

\*Valor promedio  $\pm$  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).

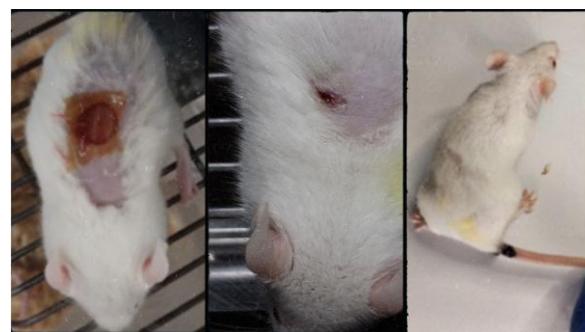


Ilustración 1. Progreso de cicatrización en ratones.

Fuente: elaboración propia.

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

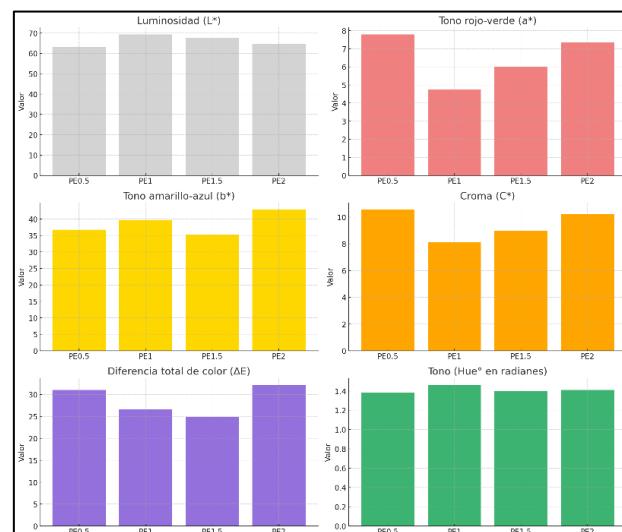


Ilustración 2. Propiedades ópticas de las películas

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Propiedades físicas de las películas

Formulación	Humedad	Rehidratación	Degradiación	Solubilidad
<b>PE0.5</b>	$5.74 \pm 2.17^a$	$1.54 \pm 0.099^a$	5 días	$17.9 \pm 0.22^a$

<b>PE1</b>	5.72±0.77 <sup>a</sup>	3.99±0.74 <sup>a</sup>	11 días	20.5±1.70 <sup>a</sup>
<b>PE1.5</b>	4.51±2.05 <sup>a</sup>	11.56±1.52 <sup>a</sup>	12 días	20.1±1.82 <sup>a</sup>
<b>PE2</b>	5.30±0.16 <sup>a</sup>	52.20±21.81 <sup>a</sup>	13 días	21.8±1.23 <sup>a</sup>

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

Fuente: elaboración propia.

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.

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las películas elaboradas con extracto de *Pinaropappus roseus* mostraron propiedades fisicoquímicas y bioactivas adecuadas para su uso como apósticos 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.

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

## REVISTA INGÉNESIS

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

i

**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 arábiga, 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 Nouy 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)

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

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

Volumen especial, 2025 ISSN: En trámite

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 arábiga (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)	$\frac{\rho v d}{\mu}$ (2)	Fuerzas de inercia/ Fuerza viscosa
Weber (We)	$\frac{\rho v^2 d}{\sigma}$ (3)	Fuerzas de inercia/ Tensión superficial
Ohnesorge (Oh)	$\frac{\mu}{\sqrt{\rho d \sigma}}$ (4)	Fuerza viscosa/Inercia * Tensión superficial
Bond (Bo)	$\frac{\rho g d^2}{\sigma}$ (5)	Fuerzas gravitacionales/ Tensión superficial
Capilar (Ca)	$\frac{\rho u v}{\sigma}$ (6)	Fuerzas viscidas/ Tensión superficial

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $v$  la velocidad de desplazamiento del tensiómetro,  $d$  diámetro del anillo,  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido,  $\sigma$  tensión superficial y  $g$  es la aceleración de la gravedad.



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

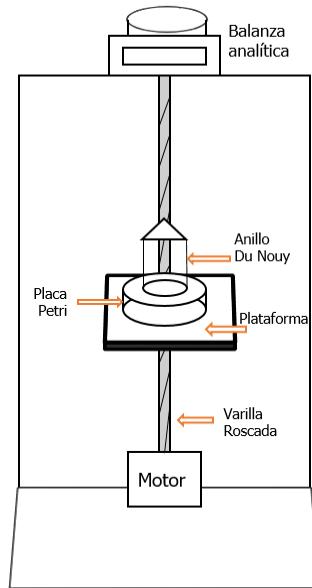


Figura 2. Esquema del tensiómetro de superficie.

### 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 Nouy.

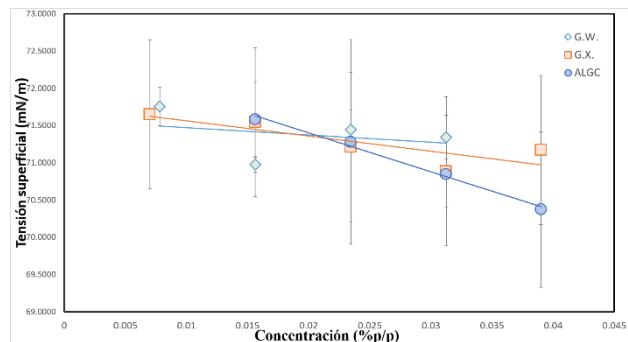
Sust.	Concentración $\times 10^{-3}$ (% p/p)								
	7.81	15.62	23.43	31.25	39.06	46.87	62.5	125.0	250.0
GW	71.39	71.75	70.98	71.45	71.34	63.99	61.62	52.49	42.99
GX	71.65	71.54	71.21	70.88	71.17	--	62.55	43.70	42.16
PEC	--	71.22	--	70.83	--	--	70.52	69.30	65.80
GA	--	70.47	--	69.59	--	--	69.87	68.39	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

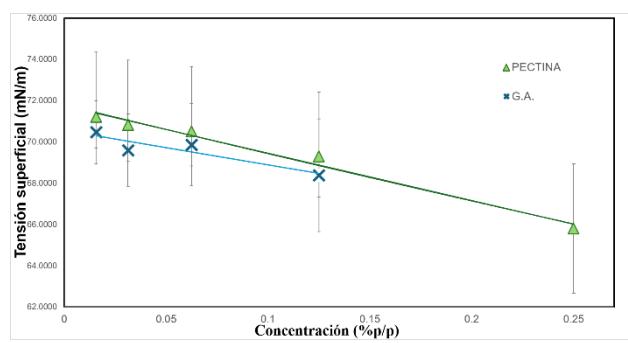
Sust.	Concentración $\times 10^{-3}$ (% p/p)	Números adimensionales				
		$Re \times 10^{-4}$	$We \times 10^{-7}$	Oh	$Bo \times 10^{-5}$	$Ca \times 10^4$
GW	15.625	8.3	2.2	0.56	1.4	2.6
	31.25	6.4	2.2	0.72	1.4	3.4
	62.5	2.2	2.5	2.33	1.6	12
	125	0.53	3	10.3	1.9	57
	250	0.083	3.6	72.35	2.3	440
GX	15.625	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.

## IV. REFERENCIAS



(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.

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 tensioactivos*, 12 de agosto de 2015.

Traciak, Julian, Jacek Fal, y Gaweł 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. ×10 <sup>-3</sup> (%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. ×10 <sup>-3</sup> (%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 II integra una amplia variedad de investigaciones orientadas al fortalecimiento del desarrollo regional mediante la ciencia aplicada y la innovación tecnológica. Los estudios abarcan sectores estratégicos como la agroindustria, la biotecnología, la ingeniería de procesos, la conservación de alimentos y el análisis ecosistémico. Cada artículo contribuye a resolver problemáticas específicas del territorio oaxaqueño, desde la caracterización de microorganismos nativos con potencial cervecero, hasta la optimización de procesos de secado, extracción de compuestos bioactivos y evaluación físico-mecánica de productos agroalimentarios tradicionales. La diversidad temática del capítulo refleja la riqueza del contexto regional y la necesidad de generar conocimiento que promueva el valor agregado a productos locales como el maíz, el mango, el huevo de guajolote o las setas.

Además, se presentan metodologías de monitoreo comunitario del agua, modelado matemático de procesos convectivos y el desarrollo de tecnologías emergentes como biosensores electroquímicos e inteligencia artificial aplicada al diagnóstico de melanoma. La integración de estas líneas de investigación demuestra una sinergia entre la ciencia básica y la aplicación práctica, orientada a mejorar la productividad, fomentar la conservación ambiental y promover la innovación en comunidades rurales y urbanas. En su conjunto, el capítulo subraya cómo la ciencia y tecnología pueden impulsar el desarrollo socioeconómico regional, proporcionando herramientas para fortalecer la soberanía alimentaria, mejorar procesos industriales y cuidar los recursos naturales.

**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 Abascal<sup>1</sup>, Edmar de Jesus Díaz<sup>2</sup>, Marco Antonio Sánchez<sup>3</sup>

**Resumen** — En la industria cervecería 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 cervecería, 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 ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) 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 cervecerero 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  $28\pm2$  °C. Por otro lado, durante cinco días de incubación a  $28\pm2$  °C se evaluaron las variables de grados brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) y densidad (SG). Para todos los ensayos se utilizó como control la levadura comercial tipo ale safale-05 incubada en las mismas condiciones.

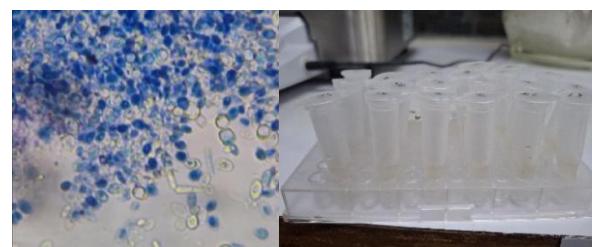


Figura 1. Levadura aislada de *Agave angustifolia*.  
Fuente. Elaboración propia

## 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  $3.67 \times 10^9$  levaduras/ml, sin embargo, las levaduras silvestres tienen un mejor porcentaje de viabilidad.

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

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

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

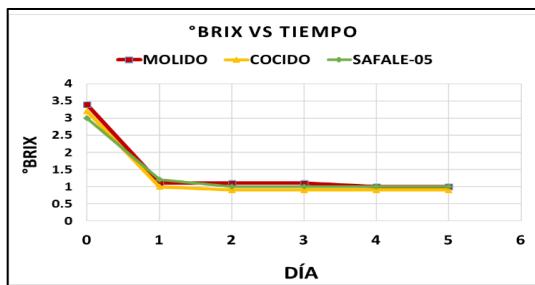


Figura 2. Consumo de azúcares fermentables, medición de °Bx  
Fuente. Elaboración propia

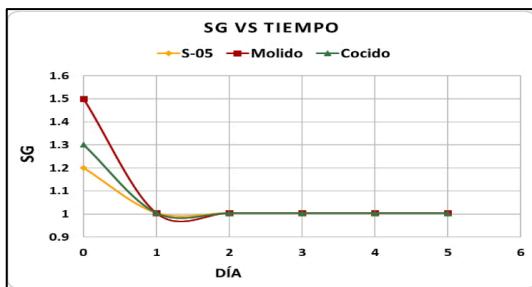


Figura 3. Consumo de azúcares fermentables, medición de SG.  
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 1: Número de levaduras y porcentaje de viabilidad después de 72 h de incubación a  $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

LEVADURA					
SAFALE-05		MOLIDO		COCIDO	
Levaduras (levaduras/ml)	Viabilidad (%)	Levaduras (levaduras/ml)	Viabilidad (%)	Levaduras (levaduras/ml)	Viabilidad (%)
$3.89 \times 10^9$	80.23 %	$3.19 \times 10^9$	88.96 %	$3.95 \times 10^9$	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 cerveceroy a una temperatura de  $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 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*. Nexo 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

## REVISTA INGÉNESIS

Leticia Arely Callejas Pérez<sup>1</sup>, Carolina Romero-Salazar<sup>2\*</sup>, Omar Augusto Hernández-Flores<sup>3</sup>, Sadoth Sandoval-Torres<sup>4</sup>

**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

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

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

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

<sup>4</sup> 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  $1.74 \times 10^{-10}$  a  $3.15 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  y entre  $2.30 \times 10^{-10}$  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 x 3 x 0.3 cm<sup>3</sup>; para el secado en estufa se usaron cubos de 1 cm<sup>3</sup>. 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.

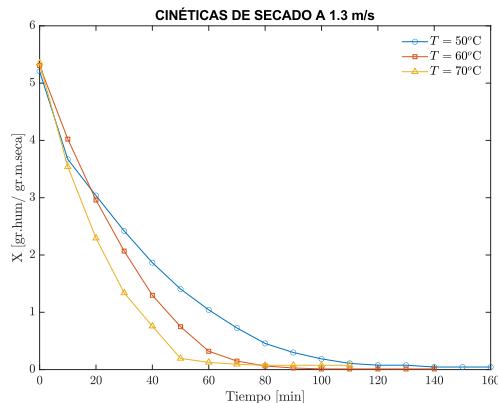


Figura 1 Cinética de secado a tres temperaturas de secado.

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

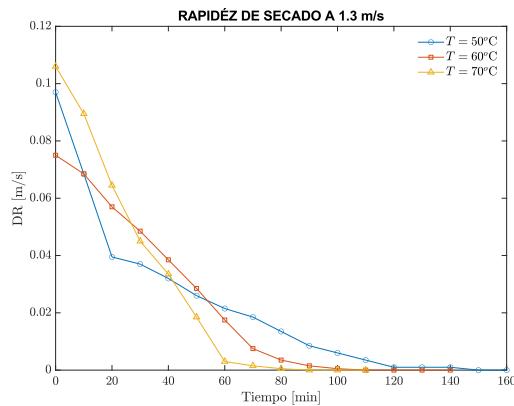


Figura 2 Rapidez de secado a tres temperaturas de secado.

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.

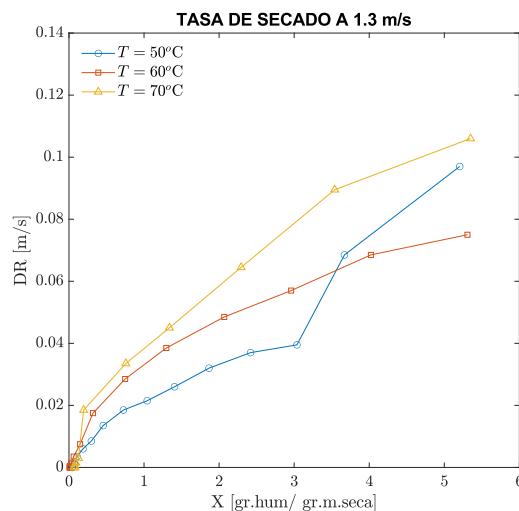


Figura 3 Tasa de secado a tres temperaturas de secado.

### 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 Williams<sup>1</sup>, Pérez Mendoza Fernando<sup>1</sup>, Varapizuela Sánchez Carlos Francisco<sup>1</sup>, Sánchez Medina Marco Antonio<sup>1</sup>. <sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

**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 PÄDURET, 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, 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 PÄDURET, 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 teocintle, su ancestro silvestre, y desarrollaron la gran diversidad de maíces que actualmente conocemos y consumimos. Mantener esa diversidad de semillas nativas es uno de los compromisos principales para conservar nuestro patrimonio biocultural (Martí, 2021). En las frutas y vegetales, el color se debe principalmente a la participación de tres familias de pigmentos: clorofillas, 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 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 PÄDURET, 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

Tabla 2: Resultados de concentración ocupando los diferentes métodos de extracción (mg/g).		
	Olotón	Arrocillo
1 (acetona)	1.1373 ±0.26	0.5924±0.076
2 (soxhlet)	5.4361±2.1365	2.5368±1.6343
3 (agitación)	0.4505±0.07	0.4751±0.1041

recuperó el solvente de extracción. El extracto obtenido se diluyó 1:10 en tubos de ensayo y se almacenó en refrigeración hasta su utilización. (PÄDURET 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 PÄDURET 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<sup>-1</sup> de carotenoides en muestra húmeda y de 9.8 a 22.5 mg kg<sup>-1</sup> 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.

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 PÄDURET, 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.
- PÄDURET, 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 Ruiz, 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 Baltazar<sup>1</sup>, Marco Antonio Sánchez Medina<sup>2</sup>, Carlos Fernando Varapizuela Sánchez<sup>3</sup>, Beatriz Guadalupe Villa Martínez<sup>4</sup>.

**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 Ebla, 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 Ebla, 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 Ebla, 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 Ebla, 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) (Rodriguez 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 Ebla, 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*

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

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

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, [varapizuela\\_7@hotmail.com](mailto:varapizuela_7@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3803-8886>

<sup>4</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, [bgvm747@gmail.com](mailto: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 Súarez, 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			
Microscopio objetivo 40x	Conidias globosas de color verde pálido.	Conidióforos con ramas secundarias, paredes lisas con 3 fiáldes 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 Sánchez<sup>1</sup>, Gonzalo Santos López<sup>2\*</sup>

**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 carboxilmethylcelulosa 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 nutrientes (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.

1180-5694

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].

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico del Valle de Etla, milcacalderonsanchez@gmail.com, ORCID: 0009-0004-0881-5535

<sup>2</sup>\*Instituto Tecnológico del Valle de Etla, gonzalo.sl@itvalletla.edu.mx, ORCID: 0000-0002-

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 [McCleany 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, carboxilmeticelulosa (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 nutrimental 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

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.

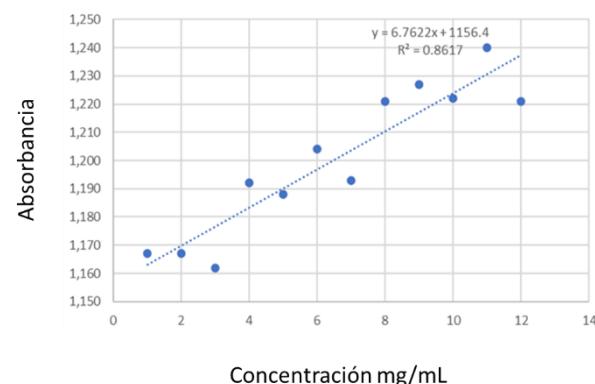


Figura 2. Curva estándar de concentración vs absorbancia de extracción de betacarotenos con aceite de oliva.

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 (Ironti 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 carboxilmetylcelulosa 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>
- Irakiza, Patrick Ngirabakunzi, Géant Basimine Chuma, Tresor Zongwe Lyoba, Marcellin Aganze Mweze, Jean Mubalama Mondo, Parent Kulimushi Zihalirwa, Sylvain Mapatano, Alphonse Zihalirwa 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, Cláisse Nobre, Livia S. Simões, Mario Cruz, Araceli Loredo, 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>.
- 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.inecol.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](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*)

### REVISTA INGÉNESIS

Anel Karina Valencia Salazar<sup>1</sup>, Gonzalo Santos López<sup>2</sup>, Iván Antonio García Montalvo<sup>3</sup>, Aymara Judith Díaz Barrita<sup>4\*</sup>

**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

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

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

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

<sup>4</sup> \* Instituto Tecnológico de Oaxaca, aymara.db@oaxaca.tecnm.mx, 0009-0005-9548-2827

3	2.9694	2.3102	4.4222	3.6152
---	--------	--------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia.

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<sup>1\*</sup>, Martha Patricia Jerez Salas<sup>1</sup>, Marco Antonio Camacho Escobar<sup>2</sup>, Carlos Francisco Varapizuela Sánchez<sup>3</sup>

**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

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 <sup>b</sup> ±1.8	81.7 <sup>a</sup> ±0.8	80.9 <sup>a</sup> ±1.3	72.5 <sup>b</sup> ±1.5	81.5 <sup>a</sup> ±0.6
Diámetro transversal (mm)	46.1 <sup>b</sup> ±0.4	47.3 <sup>a</sup> ±0.2	46.7 <sup>ab</sup> ±0.3	45.8 <sup>b</sup> ±0.4	47.3 <sup>a</sup> ±0.2
Diámetro longitudinal (mm)	63.6 <sup>b</sup> ±1.0	68.2 <sup>a</sup> ±0.4	68.0 <sup>a</sup> ±0.6	63.5 <sup>b</sup> ±2.3	67.0 <sup>a</sup> ±0.7
*Índice de forma	72.6 <sup>a</sup> ±0.8	69.2 <sup>bc</sup> ±0.4	68.7 <sup>c</sup> ±0.6	72.4 <sup>a</sup> ±0.36	70.6 <sup>b</sup> ±0.8
*Grosor del cascarón (mm)	0.9 <sup>a</sup> ±0.3	0.9 <sup>a</sup> ±0.1	0.9 <sup>a</sup> ±0.1	0.7 <sup>a</sup> ±0.1	0.8 <sup>a</sup> ±0.1
Peso del cascarón (g)	8.9 <sup>bc</sup> ±0.2	9.6 <sup>a</sup> ±0.1	9.4 <sup>ab</sup> ±0.1	8.5 <sup>c</sup> ±0.2	9.2 <sup>ab</sup> ±0.2
*Porcentaje de cascarón (%)	12.1 <sup>a</sup> ±0.2	11.7 <sup>ab</sup> ±0.1	11.7 <sup>ab</sup> ±0.1	11.9 <sup>a</sup> ±0.2	11.3 <sup>b</sup> ±0.3

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

Medias ± EE. <sup>a,b,c</sup> 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 traspaso y mejorar la calidad alimentaria. La acelga contiene betalaínas, polifenoles y minerales esenciales con propiedades antioxidantes (Gamba et al. 2021). La verdolaga aporta omega-3, flavonoides como kaempferol y querctina, 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](https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-127-SCFI-2016_Huevo_fresco.pdf)

#### <https://doi.org/10.1111/age.12071>

Gamba, Magda, Peter Francis Raguindin, 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

## REVISTA INGÉNESIS

O. A Hernández-Flores<sup>1</sup>, L. A. Callejas-Pérez<sup>2</sup>, C. Romero-Salazar<sup>3</sup>, S. Sandoval-Torres<sup>4</sup>

**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

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Av. Universidad s/n Col. Cinco Señores, C.P. 68000, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. [ohernandez.ciencias@uabjo.mx](mailto:ohernandez.ciencias@uabjo.mx), ORCID: 0000-0002-0852-9297

<sup>2</sup> 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](mailto:174175.fasbit@uabjo.mx), ORCID: 0009-0006-9428-1270

<sup>3</sup> 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](mailto:cromero.cat@uabjo.mx), ORCID: 0000-0002-8559-595X

<sup>4</sup> Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca, Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, C.P. 71230. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. [ssandovalt@ipn.mx](mailto: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  $70^{\circ}\text{C}$  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 está 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

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

Aquí  $h_M$  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, Aydin, 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 está sujeta a la condición inicial de temperatura uniforme  $\theta_i$  en Kelvin,

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

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

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

Aquí  $h_T$  es el coeficiente de transferencia de calor,  $\lambda_v$  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):

$$h_M = a_M \frac{D_w}{L} (2 + 0.522 Re^{1/2} Sc^{1/3}) \quad (7)$$

$$h_T = a_T \frac{K_A}{L} (0.666 Re^{1/2} Pr^{1/3}) \quad (8)$$

donde  $Re = \rho_A U_A L / \mu_A$ ,  $Sc = \mu_A / (\rho_A D_w)$ ,  $Pr = c_{P,A} \mu_A / K_A$ ,  $\rho_A$  la densidad del aire,  $U_A$  la velocidad del aire,  $\mu_A$  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,  $D_w$ ,  $a_T$  y  $a_M$  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, Aydin, 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  $\rho_c$ ,  $c_{P,c}$ ,  $K_c$ ,  $D_c$ ,  $m_0$  son constantes características de la muestra (Bon et al. 2010) mientras que  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $c_{P,1}$ ,  $c_{P,2}$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  son parámetros de ajuste. La masa de equilibrio se modela con (Silakul and Jindal 2002)

$$m_f = \frac{A_{\mathcal{M}}}{\theta_A^2} \quad (13)$$

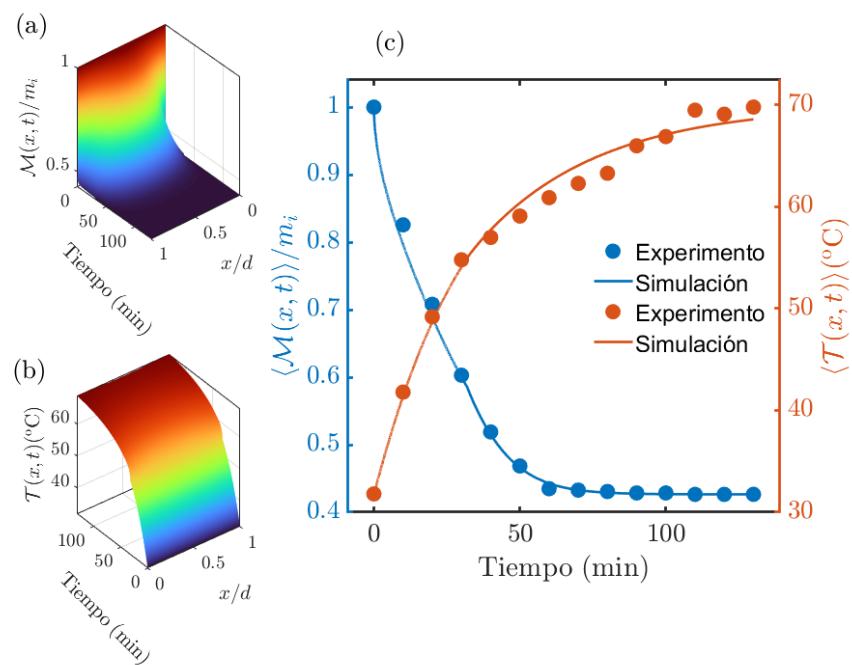
mientras que la variación de la temperatura del aire en las simulaciones sigue la siguiente regla:

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

aquí  $A_{\mathcal{M}}$ ,  $\theta_{A,max}$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  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

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



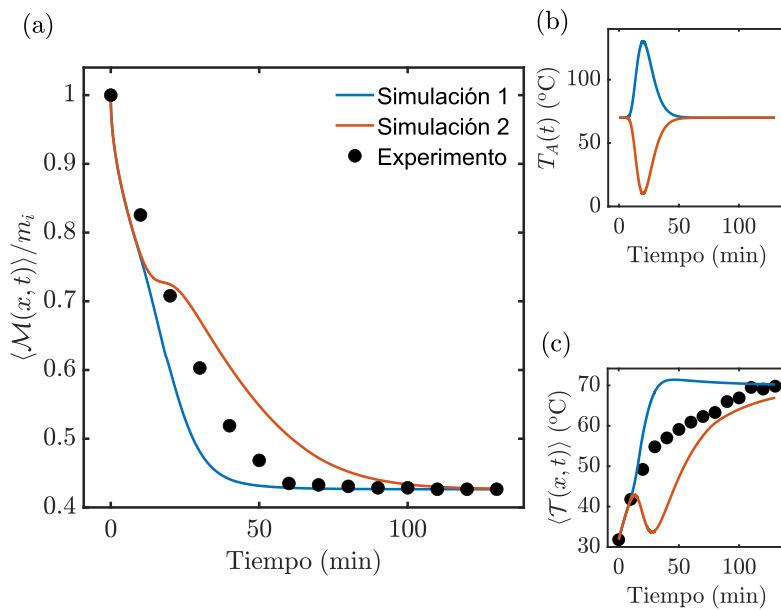
Gráfica 1 Calibración de la simulación mediante el cotejo experimental. (a) Distribución de masa. (b) Distribución de temperatura en la muestra. (c) El eje vertical azul representa la masa promedio vs tiempo, mientras que, el eje vertical rojo representa la temperatura promedio de la muestra vs tiempo.

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

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



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.

muestra normalizada a la masa inicial. 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. 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 vítreo 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 Aydin, 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 Kadhaboor 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 Guzmán<sup>1</sup>, Laura Jiménez Bautista<sup>2</sup>, Lucina Ruiz Pérez<sup>2</sup> y Oscar Francisco Mijangos Ricárdez<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Av. Universidad S/N, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. C.P. 68725

<sup>2</sup> Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez (UZACHI), Av. Hidalgo, Capulápam de Méndez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

\*Corresponding author: e-mail [osramin23@unsij.edu.mx](mailto:osramin23@unsij.edu.mx) / [osramin@gmail.com](mailto:osramin@gmail.com)

**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 Capulápam 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 determinaron los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Los muestreos se realizaron cada tres meses por el período 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 Capulápam de Méndez, which is part of the Unión de 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

(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 la 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, nitratos, 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 <sup>¶</sup>	mg/l de N-NO <sub>2</sub> -
Alcalinidad total	52.7	37.5	44.4	233.8	300 <sup>§</sup>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Acidez total	2.79	2.48	2.95	6.36	-	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Dureza total	528.3	528	396	1717	500 <sup>¶</sup>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Sólidos Disueltos Totales	0.03	0.07	0.03	0.13	1,000 <sup>¶</sup>	ppm (mg/l)
Conductividad	0.03	0.07	0.02	0.25	400 <sup>b</sup>	µS/cm
Temperatura	12.7	14.2	14.9	17	18-30 <sup>b</sup>	°C
pH	8.25	7.91	7.68	9.28	6.5-8.5 <sup>¶</sup>	Valor de pH

<sup>§</sup>: NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud 1993); <sup>b</sup>: Decreto NO32327-S del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (Ministerio de Salud 2015); <sup>¶</sup>: 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 pavas	Arroyo higüino	La y	El cárcamo		
Nitritos	0	0	0	0	0.90 <sup>¶</sup>	mg/l de N-NO <sub>2</sub> -
Alcalinidad total	47.2	38	47.2	272.2	300 <sup>§</sup>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Acidez total	8	5.2	6.2	11.1	-	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Dureza total	264	264	264	1585	500 <sup>¶</sup>	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Sólidos Disueltos Totales	0.01	0.03	0.01	0.11	1,000 <sup>¶</sup>	ppm (mg/l)
Conductividad	0.03	0.06	0.02	0.21	400 <sup>b</sup>	µS/cm
Temperatura	12.5	13.7	14	16.8	18-30 <sup>b</sup>	°C
pH	7.8	7.76	7.33	8.28	6.5-8.5 <sup>¶</sup>	Valor de pH

<sup>§</sup>: NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud 1993); <sup>b</sup>: Decreto NO32327-S del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (Ministerio de Salud 2015); <sup>¶</sup>: 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-4dff-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 ResidualesTratadas-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](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/PD1/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](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-Cruz<sup>1</sup>, Alma Dolores Pérez-Santiago<sup>2\*</sup>, Luis Humberto Robledo-Taboada<sup>3</sup>

**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<sup>-1</sup> de la lectina, agitando y manteniendo a 4°C durante 24 h, el bioconjuguado se centrifugó a 10000 rpm y se lavó con PBS. Se comprobó la actividad de lectina del bioconjuguado 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 bioconjuguado 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<sup>-1</sup> 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 (Cánoval 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<sup>-1</sup> y 150 µL de solución 1 mg.mL<sup>-1</sup> de la lectina, agitando y

<sup>1</sup> TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, [aaroncruz08@gmail.com](mailto:aaroncruz08@gmail.com), 0009-0007-4911-7583

<sup>2</sup> \*TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, [alma.ps@itoaxaca.edu.mx](mailto:alma.ps@itoaxaca.edu.mx), 0000-0002-4410-7307

<sup>3</sup> TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca, [luis.rt@itoaxaca.edu.mx](mailto: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  $\mu$ L de suspensión de NTCPM puros, (-) 25  $\mu$ L de NTCPM con 25  $\mu$ L de solución 25 mM de glucosa y (+) 25  $\mu$ L del bioconjugado NTCPM-Con A con 25  $\mu$ 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  $\mu$ L del bioconjugado NTCPM-Con A con 25  $\mu$ L de solución de glucosa considerando tres concentraciones: 12.5, 25 y 50 mM. Las mediciones se realizaron con un potenciómetro 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).

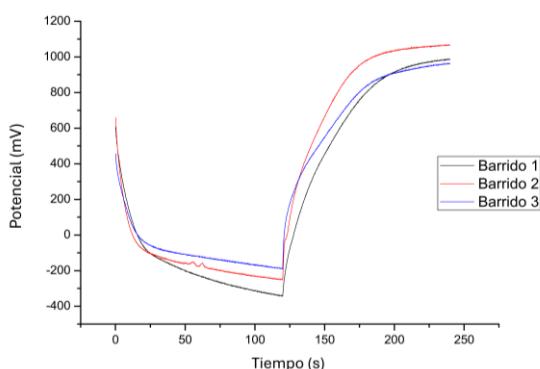


Figura 1. Cronopotenciogramas del bioconjugado NTCPM-Con A.  
Fuente. Elaboración propia.

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  $\mu$ 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.

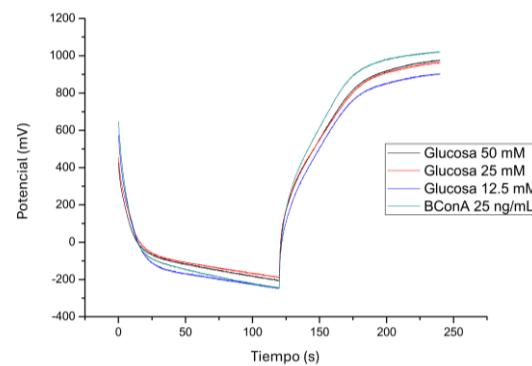


Figura 2. Bioconjugado NTCPM-Con A en presencia de glucosa.  
Fuente. Elaboración propia.

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 Inflection (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.

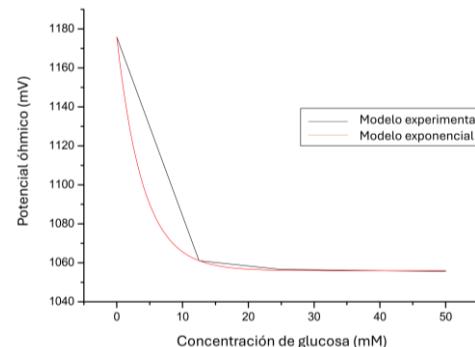


Figura 3. Modelo experimental y ajuste exponencial.  
Fuente. Elaboración propia.

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

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 bioconjuguado 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/mi11040411.
- 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

## REVISTA INGENESIS

Andrea Paola Cruz Pérez<sup>1</sup>, Julio Josafat Pérez Medina<sup>2</sup>

**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 pixeles 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.

<sup>1</sup> Universidad Anáhuac, Andrea.cruzp55@anahuac.mx, 0009-0000-7185-2145

<sup>2</sup> 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.

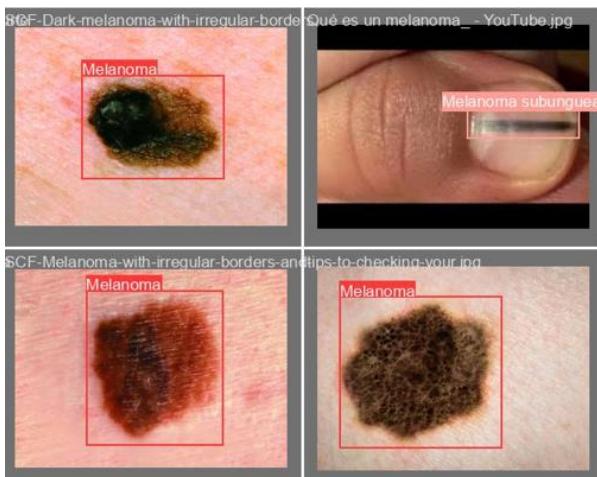


Figura 1: Red neuronal desplegada en imágenes de prueba.  
Fuente. Elaboración propia.

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.

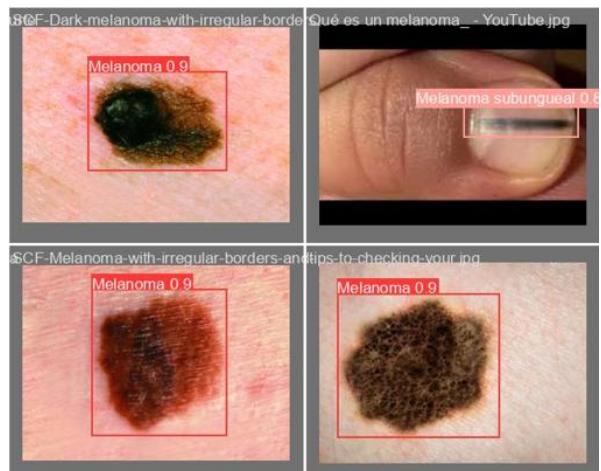


Figura 2: Porcentaje de seguridad del modelo.  
Fuente. Elaboración propia.

Existieron casos de prueba en los que el modelo presentó 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.

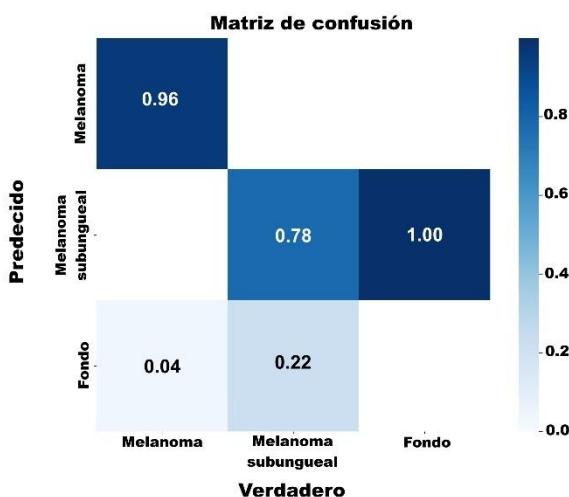


Figura 4: Modelo en funcionamiento con imágenes de prueba.

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