



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y NUTRACEÚTICAS DE NEJAYOTES
OBTENIDOS DE VARIEDADES PIGMENTADAS DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO TRADICIONALMENTE Y SECADOS POR ASPERSIÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

PRESENTA

ANA KAREN CRUZ ALEGRÍA

DIRECTOR

DRA. ANGÉLICA ALEJANDRA OCHOA FLORES

CODIRECTOR

DR. NÉSTOR PONCE GARCÍA

VILLAHERMOSA, TABASCO. MAYO DE 2023.

Oficio de autorización de tesis



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



Jefatura de
Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 08 de mayo de 2023

Of. No. 201/JP/2023

Asunto: Autorización de impresión de Tesis

202C26003

MTRA. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN
Y TITULACIÓN DE LA U. J. A. T.
P R E S E N T E

En conformidad con lo establecido en el Artículo 77 fracción III del Reglamento de Titulación de la U. J. A. T., me permito comunicar a Usted que la **Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores (Directora)** y el **Dr. Josafat Alberto Hernández Becerra (Codirector)**, dirigieron y supervisaron el Trabajo Recepcional de Tesis denominada "Propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de nejayotes obtenidos de variedades pigmentadas de maíz nixtamalizado tradicionalmente y secados por aspersión", elaborada por la **C. Ana Karen Cruz Alegria** egresada de la **Maestría en Ciencias Agroalimentarias**. El jurado para el examen profesional conformado por el **Dr. Efraín de la Cruz Lázaro**, **Dr. Josafat Alberto Hernández Becerra**, **Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores**, **Dr. Pedro García Alamilla** y el **Dr. Rufo Sánchez Hernández**, revisaron y señalaron las modificaciones pertinentes al trabajo recepcional y que la interesada ha llevado a efecto. Por lo tanto, el trabajo recepcional Tesis de Investigación puede imprimirse.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE


M. V. Z. JORGE ALFREDO THOMAS TÉLLEZ
DIRECTOR


DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN

c.c.p. M. C. Irma Gallegos Morales – Coordinadora de Investigación y Posgrado de la DACA

Dra. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez – Jefa de Posgrado de la DACA

Dr. Aldenamar Cruz Hernández – Coordinador del Programa Maestría en Ciencias Agroalimentarias

Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores – Directora de Tesis.

Interesada

MGSD/aemh

www.ujat.mx

Km 25, Carretera Villahermosa-Teapa
Centro, Tabasco, México
Teléfono 993 358 1500 EXT 6607
Correo electrónico: posgrado.daca@ujat.mx

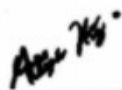
CARTA DE CEDE DE DERECHOS

El que suscribe, Ana Karen Cruz Alegría del programa de estudios de posgrado de la Maestría en Ciencias Agroalimentarias, con número de matrícula 202C26003, adscrito a la División Académica de Ciencias Agropecuarias, manifiesto ser autora intelectual y titular de los Derechos de Autor del presente Trabajo de Tesis denominada “PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y NUTRACEÚTICAS DE NEJAYOTES OBTENIDOS DE VARIETADES PIGMENTADAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO TRADICIONALMENTE Y SECADOS POR ASPERSIÓN”, y autorizo a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice el presente trabajo con fines Académicos y de Investigación ya sea de forma física o digital para su difusión y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la Tesis mencionado y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; a los nueve días del mes de Mayo del año 2023.

ATENTAMENTE



Ana Karen Cruz Alegría

Matrícula: 202C26003

RECONOCIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado durante los estudios de Maestría en Ciencias Agroalimentarias. De igual forma, a la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) y la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB), por haber permitido la realización de diversas actividades relacionadas con el proyecto de investigación. A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por ser la institución formadora del posgrado.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su invaluable apoyo.

A la Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores y al Dr. Néstor Ponce García, directora y codirector de tesis, por su paciencia, dedicación y guía durante el periodo en el que se desarrolló este proyecto.

A los profesores e investigadores, Dr. Gilbert Vela Gutiérrez de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y Dr. Josafat Alberto Hernández Becerra de la Universidad Tecnológica de Tabasco, por el tiempo y la orientación dedicadas a la consecución de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del problema	3
III. Justificación.....	4
IV. Objetivos.....	5
a. Objetivo general.....	5
b. Objetivos específicos.....	5
V. Hipótesis.....	5
VI. Revisión de literatura.....	6
6.1 El maíz en México.....	6
6.2 Compuestos funcionales presentes en los maíces pigmentados.....	7
6.3 Influencia del proceso de nixtamalización sobre el grano y el nejayote .	8
6.4 Nejayote	9
6.5 Composición y características.....	9
6.6 Usos y beneficios.....	11
6.7 Efectos perjudiciales al medio ambiente	11
6.8 Secados por aspersión.....	12
VII. Materiales y métodos.....	14
7.1 Ubicación del sitio experimental.....	14
7.2 Materiales	14
7.2.1 Variedades de maíz.....	14
7.3 Métodos.....	15
7.3.1 Diagrama general de la investigación.....	15
7.3.2 Caracterización física de los granos de las diferentes variedades de maíz	16
7.3.3 Proceso de nixtamalización	17

7.3.4	Caracterización de los granos de nixtamal.....	17
7.3.5	Caracterización de las aguas de nixtamal o nejayote	17
7.3.6	Secado por aspersión de las aguas de nixtamal o nejayote	18
7.3.7	Potencial nutracéutico de los nejayotes.....	18
7.4	Diseño experimental y análisis estadístico.....	20
VIII.	Resultados y discusión.....	22
8.1	Caracterización de los granos de las diferentes variedades de maíz.....	22
8.2	Caracterización de los granos del nixtamal.....	25
8.3	Características de las aguas de nixtamal o Nejayote	29
8.4	Potencial nutracéutico de los nejayotes.....	35
8.5	Propiedades físico-químicas y potencial nutracéutico de los polvos de nejayotes secados por aspersión	38
8.6	Concentración de maltodextrina y pérdidas de los compuestos bioactivos durante el secado por aspersión.....	43
IX.	Conclusiones	47
X.	Perspectivas	48
XI.	Bibliografía	49
XII.	Anexos.....	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición y parámetros fisicoquímicos del nejayote.....	10
Tabla 2. Valores medios en el largo, ancho y grosor de los granos de las cuatro variedades de maíz.....	22
Tabla 3. Valores medios de dureza, peso hectolítrico y peso de 1000 granos de las cuatro variedades de maíz.....	23
Tabla 4. Valores medios para las coordenadas de color en el sistema HunterLab (L, a y b) de los granos de las cuatro variedades de maíz.....	25
Tabla 5. Volumen, peso, humedad, sólidos totales y pH, de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz obtenidos, a los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización*	34
Tabla 6. Contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante en los sólidos totales de nejayote de las cuatro variedades de maíz.....	36
Tabla 7. Contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante en los sólidos totales de nejayote de las cuatro variedades de maíz secados por aspersión.....	42
Tabla 8. Correlación de Pearson para las coordenadas de color y compuestos nutracéuticos en los nejayotes	43

Índice de Figuras

Figura 1. Maíces pigmentados.....	8
Figura 2. Diagrama general de la metodología.....	15
Figura 3. Peso de los granos de maíz nixtamalizados a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	26
Figura 4. Humedad de los granos de maíz nixtamalizados a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	27
Figura 5. Dureza de los granos de maíz (tiempo 0) y del nixtamal a los diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	28
Figura 6. Peso del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.....	29
Figura 7. Volumen del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.....	30
Figura 8. Contenido de sólidos totales del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.....	31
Figura 9. Luminosidad (coordenada L del sistema CieLab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	32
Figura 10. Coloración rojizo-verdoza (coordenada a del sistema CieLab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	32
Figura 11. Coloración amarillo-azulada (coordenada a del sistema CieLab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas	33
Figura 12. Luminosidad (coordenada L* del sistema CieLab) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.....	39

Figura 13. Coloración rojizo-verdoza (coordinada a^* del sistema CieLab) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.	40
Figura 14. Coloración amarillo-azulada (coordinada b^* del sistema CieLab) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.	40
Figura 15. Actividad de agua (a_w) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.....	41
Figura 16. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de compuestos fenólicos totales en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.....	44
Figura 17. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de flavonoides totales en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.....	45
Figura 18. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de antocianinas en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.	45
Figura 19. Efecto de la concentración de maltodextrina en la capacidad antioxidante de los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.	46

Resumen

El maíz es el cultivo más importante en México, principalmente por el consumo de la tortilla. Los maíces blanco y amarillo son los más utilizados, pero también se emplean variedades pigmentadas, valoradas por su contenido en antocianinas y propiedades antioxidantes. El presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar las propiedades fisicoquímicas y potencial nutracéutico del nejayote obtenido de la nixtamalización tradicional de maíces pigmentados, deshidratado por aspersión. Se estudiaron las variedades de maíz Blanco Victoria (BV), Amarillo Ámbar (AA), Rojo Criollo (RC) y Negro Carioca (NC), adquiridas en la Ciudad de Toluca, Estado de México. Se llevó a cabo la caracterización de los granos y la nixtamalización tradicional, a una temperatura de $92 \pm 1^\circ\text{C}$, a diferentes tiempos de cocción (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 min). Se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas y capacidad antioxidante de los nejayotes líquidos, así como de los polvos obtenidos del secado por aspersión. Los granos de maíz NC, AA, BV y RC, presentaron una dureza inicial de 165.57, 199.58, 222.87 y 232.19 N, respectivamente; disminuyendo con la cocción hasta valores de entre 58.33 y 78.04 N. El mayor rendimiento en nixtamal se obtuvo para el maíz NC, con el mayor porcentaje de humedad, el mayor peso de grano y la menor dureza; mientras que la mayor producción en nejayote fue para el maíz AA, variedad que presentó la mayor dureza durante el proceso de nixtamalización. No obstante, fue posible obtener nixtamales con humedad y dureza similares, a diferentes tiempos de cocción (45, 40, 35 y 30 min, para las variedades AA, BV, RC y NC, respectivamente). Los sólidos del nejayote de la variedad AA mostraron la mayor concentración de compuestos fenólicos (9348.09 mg de ácido gálico/100 g), así como la mayor capacidad antioxidante (229.82 μmoles de Trolox/g), seguido por la variedad NC, mientras que los menores valores se obtuvieron en las variedades BV y RC. El contenido de flavonoides osciló entre 444.39 y 140.37 mg de quercetina por cada 100 g de sólidos totales de nejayote; correspondiendo el mayor contenido a la variedad RC, seguido por la variedad AA, mientras que el menor contenido lo presentaron las variedades NC y BV. Un comportamiento similar se observó para el contenido de antocianinas, en el que los valores oscilaron entre 136.22 y 8.35 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g de sólidos, en las variedades RC y BV, respectivamente. La retención de compuestos fenólicos, flavonoides,

antocianinas y capacidad antioxidante, en los polvos de los nejayotes secados por aspersión, mostró valores máximos promedio de 75, 49, 100 y 80 %, respectivamente; observándose el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (7813.62 mg de ácido gálico/100 g) y la mayor capacidad antioxidante (212.71 μ moles de Trolox/g), en los polvos obtenidos de la variedad AA; mientras que la mayor concentración de flavonoides (230.47 mg de quercetina/100g) y antocianinas (111.48 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g) se obtuvo en los polvos de la variedad RC. Mayores incrementos en la retención de los compuestos bioactivos se obtuvieron en los polvos de los nejayotes secados por aspersión, al utilizar mayores concentraciones de maltodextrina. Se concluye que ocurre la difusión de compuestos potencialmente nutracéuticos de los maíces a los nejayotes, mismos que son retenidos en los polvos obtenidos del secado por aspersión.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Abstract

Corn is the most important crop in Mexico, mainly for the consumption of the tortilla. White and yellow corn are the most used, but pigmented varieties are also used, valued for their anthocyanin content and antioxidant properties. The present work had as a general objective to evaluate the physicochemical properties and nutraceutical potential of nejayote obtained from the traditional nixtamalization of pigmented corn, dried by spraying. The White Victoria (BV), Yellow Amber (AA), Red Criollo (RC) and Black Carioca (NC) corn varieties, acquired in the City of Toluca, State of Mexico, were studied. The characterization of the grains and the traditional nixtamalization were carried out, at a temperature of $92 \pm 1^\circ\text{C}$, at different cooking times (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 min). The content of total phenolic compounds, total flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity of the liquid nejayotes, as well as the powders obtained from spray drying, were determined. The NC, AA, BV and RC corn grains had an initial hardness of 165.57, 199.58, 222.87 and 232.19 N, respectively; decreasing with cooking until values between 58.33 and 78.04 N. The highest nixtamal yield was obtained for NC corn, with the highest percentage of moisture, the highest grain weight and the lowest hardness; while the highest production in nejayote was for AA corn, a variety that presented the highest hardness during the nixtamalization process. However, it was possible to obtain nixtamales with similar moisture and hardness, at different cooking times (45, 40, 35 and 30 min, for the AA, BV, RC and NC varieties, respectively). The nejayote solids of the AA variety showed the highest concentration of phenolic compounds (9348.09 mg of gallic acid/100 g), as well as the highest antioxidant capacity (229.82 μmol of Trolox/g), followed by the NC variety, while the lowest values were obtained in the varieties BV and RC. The flavonoid content ranged between 444.39 and 14037 mg of quercetin per 100 g of total nejayote solids; The highest content corresponded to the RC variety, followed by the AA variety, while the lowest content was presented by the NC and BV varieties. A similar behavior was observed for the anthocyanin content, in which the values oscillated between 136.22 and 8.35 mg of cyanidin-3-glucoside per 100 g of solids, in the RC and BV varieties, respectively. The retention of phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and antioxidant capacity, in the spray-dried nejayotes powders, showed average

maximum values of 75, 49, 100 and 80 %, respectively; Observing the highest content of total phenolic compounds (7813.62 mg of gallic acid/100 g) and the highest antioxidant capacity (212.71 μ mol of Trolox/g), in the powders obtained from the AA variety; while the highest concentration of flavonoids (230.47 mg of quercetin/100g) and anthocyanins (111.48 mg of cyanidin-3-glucoside per 100 g) was obtained in the powders of the RC variety. Greater increases in the retention of bioactive compounds were obtained in the powders of the spray-dried nejayotes, when using higher concentrations of maltodextrin. It is concluded that the diffusion of potentially nutraceutical compounds from corn to nejayotes occurs, which are retained in the powders obtained from spray drying.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

I. Introducción

En México el maíz es el cultivo más importante a nivel económico, nutricional y cultural (SIAP, 2019). Evidencias arqueológicas e históricas demuestran que la planta de maíz fue domesticada en México hace unos 7,000 años (Kato-Yamakake *et al.*, 2009). A partir del grano cosechado se elabora la tortilla, uno de los alimentos de mayor consumo a nivel nacional (Fernández-Suárez *et al.*, 2013). Su producción implica la cocción de los granos o nixtamalización, que por definición es el tratamiento térmico-alcalino al que son sometidos los granos de maíz en una solución de agua e hidróxido de calcio (Castro-Muñoz *et al.*, 2017). Luego de esta cocción y de un periodo de reposo, el nixtamal (granos cocidos) se muele para formar una masa y así producir tortillas. El agua remanente del proceso de cocción y reposo, denominada como nejayote, tiene la particularidad de poseer un elevado contenido de sólidos (pericarpio y residuos de cal), además de un pH alcalino, por lo que representa un efluente contaminante difícil de tratar (Vacío-Muro *et al.*, 2020; González *et al.*, 2004). No obstante, también es cierto que el nejayote ha llamado recientemente la atención, debido a su contenido de compuestos orgánicos (compuestos fenólicos, azúcares y fibras) e inorgánicos (calcio), los cuales pueden ser de interés para diversos usos (Escalante-Aburto *et al.*, 2019; Castro-Muñoz *et al.*, 2017).

En México se producen alrededor de 27 millones de toneladas de maíz anualmente, de las cuales alrededor del 91.5 % corresponden a maíz de grano blanco, 8 % a grano amarillo y el resto a granos de otros colores, entre los que destaca el azul (INIFAP, 2020). Las distintas coloraciones de los granos se atribuyen, entre otros compuestos, a la presencia de antocianinas o β -carotenos en el pericarpio y la capa aleurona, estos pigmentos naturales solubles en agua, además de impartir color al grano, poseen propiedades biológicas asociadas con diversos beneficios en la salud. (Ramírez-Wong *et al.*, 2014). El efecto positivo de estos compuestos en la salud se relaciona con su actividad antioxidante. (Bello-Pérez *et al.*, 2016). Los compuestos nutraceuticos son suplementos dietéticos concentrados, hechos a partir de una sustancia natural bioactiva presente en los alimentos y que proporcionan un efecto

favorable sobre la salud, superior al que tendría el alimento normal (Cruzado y Cedrón, 2012).

Por lo que se refiere al secado por aspersión, es empleado en la industria alimentaria debido a que ha demostrado ser un método efectivo para la protección y conservación de compuestos bioactivos, además de que permite obtener micro y nanopartículas (Fabela-Morón, 2017). Cabe mencionar que es necesario una microencapsulación y que existe una gran diversidad de microencapsulantes (Rios-Aguirre y Gil-Garzón, 2021). Sin embargo, existe limitada información relacionada con el proceso de secado por aspersión del nejayote, la cual solo reporta casos aplicados en maíz blanco, por lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo de investigación consistió en evaluar las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de nejayotes secados por aspersión, obtenidos mediante proceso de nixtamalización tradicional de maíces pigmentados.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

II. Planteamiento del problema

La nixtamalización tradicional genera un agua residual amarillenta, con un alto contenido de sales de calcio y un pH por arriba de 10, conocida comúnmente como nejayote; subproducto obtenido durante la nixtamalización que se descarta antes del lavado del nixtamal y esta práctica genera una importante cantidad de residuos contaminantes. (Ramírez-Jiménez y Castro-Muñoz, 2020). Las aguas residuales como el nejayote que se descargan sin precauciones, causan contaminación al medio ambiente (Samil-Argun y Emin-Argun, 2017); es uno de los efluentes más difíciles de tratar (García *et al.*, 2010) y a pesar de ello es vertido regularmente en el drenaje público (Escalante-Aburto *et al.*, 2019).

Algunos estudios reportan el potencial uso de estos efluentes tratados, como aditivos en la alimentación del ganado, o componentes de este (Rosentrater, 2005). En este sentido, (Vacio-Muro *et al.*, 2020) reportaron que el tratamiento del nejayote con alginato y quitosano por separado es efectivo para disminuir los niveles de contaminantes e igualmente importante si se pretende dar un uso alimenticio a este subproducto.

Entre otros usos potenciales, el nejayote puede utilizarse como sustrato para el crecimiento de bacterias probióticas y pollos de engorda (Castro-Muñoz, 2017). Sin embargo, independientemente de cómo estos subproductos sean utilizados, será necesario deshidratar previamente el nejayote para facilitar la separación de los diversos componentes (Rosentrater, 2005).

III. Justificación

El alimento más consumido por los mexicanos es la tortilla; durante su producción es necesario nixtamalizar los granos de maíz y, desafortunadamente el agua resultante de este proceso, el nejayote, es altamente contaminante. Estas aguas se desechan sin tratamiento previo, sin darle algún uso. Actualmente diversas investigaciones encaminan sus objetivos en el desarrollo de alternativas que permitan dar utilidad a este subproducto y poder así reducir el impacto que generan al medio ambiente. Una alternativa para las industrias farmacéutica y alimentarias, es la obtención de compuestos nutraceuticos, debido a que los maíces pigmentados contienen compuestos bioactivos que pueden ayudar a mejorar la salud humana. En este contexto, el proceso de secado por aspersión del nejayote obtenido a partir de diferentes variedades de maíces coloridos puede considerarse una alternativa viable para aprovechar algunas de sus bondades, dado que este proceso ofrece la protección de los diferentes compuestos bioactivos (Fabela-Morón, 2017). Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo de investigación consistió en evaluar las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de nejayotes de maíces con diferentes pigmentaciones, obtenidos de la nixtamalización tradicional y el secado por aspersión.

IV. Objetivos

a. Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y potencial nutracéutico de nejayotes deshidratados obtenidos de maíces pigmentados mediante nixtamalización tradicional.

b. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de cocción óptimo para la nixtamalización de las diferentes variedades de maíz en función de la dureza del grano nixtamalizado y los rendimientos de nixtamal y nejayote.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y nutracéuticas de los nejayotes obtenidos de la nixtamalización de las diferentes variedades de maíz.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y potencial nutracéutico de los nejayotes deshidratados mediante secado por aspersión.

V. Hipótesis

Durante el proceso de nixtamalización de los maíces pigmentados ocurre la difusión de compuestos potencialmente nutracéuticos al nejayote, los cuales se conservan en el producto deshidratado mediante secado por aspersión.

VI. Revisión de literatura

6.1 El maíz en México

El maíz (*Zea Mays* L.) forma parte de la identidad de México debido a que está presente en la vida cotidiana de la mayoría de los habitantes de este país, por sus múltiples subproductos. También otra de las razones es porque se cultiva en climas que van desde los tropicales, hasta los fríos de montaña (SIAP, 2019; Guillén-de la Cruz *et al.*, 2014). De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), en México se cuenta con 64 razas de maíces, de las cuales 59 son consideradas razas nativas, una proveniente del Caribe y 4 más de Guatemala; estas razas se agrupan a su vez en siete grupos que incluyen: Grupo Cónico (razas cultivadas en las partes altas del centro de México), Grupo Sierra de Chihuahua (de las partes altas del Norte de México), Grupo Ocho Hileras (del occidente de México), Grupo Chapalote (de la planicie costera del Pacífico, de Nayarit a Sonora), Grupo Tropicales precoces (de maduración temprana), Grupo Dentados tropicales (del sur de México, distribuidas principalmente en regiones intermedias y de baja altitud) y Grupo Maduración tardía (distribuidas en un amplio rango de altitud, de las tierras bajas de la península de Yucatán y Veracruz, a los sistemas montañosos de la Sierra Madre, en Chiapas y Oaxaca) (CONABIO, 2021; Guillén-de la Cruz *et al.*, 2018). Las razas de maíces nativos, también se les conoce como maíces criollos (Lessur, 2005).

La presencia de fitoquímicos con actividad antioxidante en las muy diversas variedades de maíz, podría traer beneficios al consumidor, incrementando el interés por muchas de estas variedades criollas por sus bondades (Álvarez *et al.*, 2013). Aunado a ello, las razas criollas o nativas se han cultivado y consumido desde tiempos prehispánicos y protegerlas es un desafío que enfrentan los productores, investigadores y las autoridades del sector (INIFAP, 2020). En México, el maíz se cultiva en la mayor parte del territorio, por su amplia capacidad de adaptación a los distintos tipos de suelo y es considerado base de la alimentación de la población (Lessur, 2005); tan solo en el año 2000, el consumo anual de tortillas a nivel nacional fue de alrededor de 12 millones de toneladas (Arámbula-Villa *et al.*, 2004).

6.2 Compuestos funcionales presentes en los maíces pigmentados

Diversas investigaciones citan que las diferencias de color en grano afectan la composición nutrimental de los maíces (Oas y Adams, 2021). Los cultivares de grano rojo pueden presentar el pigmento en el pericarpio, en la capa de aleurona o en ambas estructuras, mientras que los maíces de grano azul sólo presentan color en la capa de aleurona (Salinas-Moreno *et al.*, 2010). Si el pigmento se concentra en el pericarpio y en cantidad suficiente, el grano pigmentado podría considerarse para la extracción de pigmentos (Salinas-Moreno *et al.*, 2013). Las antocianidinas se acumulan en su forma glucosilada, unidas a un azúcar y se denominan como antocianinas (Salinas-Moreno *et al.*, 2010); estas son las responsables de los colores azul, púrpura y rojo en plantas comestibles, principalmente en los cereales y en las frutas (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). El término antocianina se deriva de los vocablos griegos *anthos* (flor) y *kyaneos* (azul) (Liu, 2004).

En general, los maíces que contienen valores bajos de antocianinas son los amarillos y rosas, mientras que en el grupo de los valores medios se encuentran los maíces azules (Escalante-Aburto *et al.*, 2013). Los granos de color rojo magenta contienen hasta 10 veces más concentración de antocianinas que los granos azules o morados (Salinas-Moreno *et al.*, 2013). Por su parte, el maíz amarillo es muy pobre en antocianinas, y usualmente rico en carotenoides, benéficos para el consumo humano, ya que contienen sustancias reconocidas como “provitaminas A” (Oas y Adams, 2021).

En el Estado de México existe una gran diversidad de maíces que suelen agruparse de acuerdo con la coloración del grano en blancos, amarillos, rojos, azules y negros (Salinas-Moreno *et al.*, 2010). De acuerdo con Salinas-Moreno *et al.* (2010), en este estado de la República Mexicana se tienen las condiciones climáticas favorables para la síntesis y acumulación de las antocianinas. En la Figura 1 se aprecian cuatro maíces con pigmentaciones diferentes: Blanco Victoria, Negro Carioca, Rojo Criollo y amarillo Ámbar, todos provenientes del Estado de México.



Figura 1. Maíces con pigmentaciones diferentes: Blanco Victoria, Negro Carioca, Rojo Criollo y Amarillo Ámbar, todos provenientes del Estado de México.

6.3 Influencia del proceso de nixtamalización sobre el grano y el nejayote

En la nixtamalización, los granos de maíz se someten a cocción en una solución saturada de hidróxido de calcio; los granos se separan de la solución alcalina para obtener el nixtamal, que es la base para la obtención de productos industriales comercializados, tales como las harinas de maíz instantáneas, tortillas y otros alimentos a base de maíz (Castro-Muñoz *et al.*, 2017). Este proceso se inventó hace unos 2,400 años por los habitantes de mesoamérica, mejora las propiedades del maíz y evita enfermedades como la Pelagra (Gómez-Galvarriato, 2022). De acuerdo con Escalante-Aburto (2019), los granos enteros de maíz (1 Kg) se cuecen en la solución alcalina durante 20 a 40 minutos con 1 % de la base y agua (2 L), luego se dejan reposar durante 14 a 16 h. El nixtamal obtenido se lava y se muele para producir masa, tortillas y derivados. La nixtamalización permite el aumento de calcio en las tortillas y por ende la liberación de la niacina, la cual contribuye a la digestibilidad de proteínas dentro de nuestro cuerpo (Vázquez *et al.*, 2003).

También durante la nixtamalización se obtiene el nejayote, que es el agua remanente del proceso de cocción y reposo (Vacio-Muro *et al.*, 2020). La industria procesadora del maíz genera grandes cantidades de este subproducto, debido a que en el proceso tradicional se utilizan aproximadamente 75 L de agua para procesar 50 Kg de maíz, lo que significa una cantidad similar de aguas residuales alcalinas. Así, de una producción aproximada de 600

toneladas de maíz por día, se generan entre 1,500 y 2,000 m³ de nejayote, lo que propicia un volumen mensual estimado en México de 1.2 millones de m³ de este compuesto (unos 14.4 millones de m³ anualmente) (Castro- Muñoz *et al.*, 2017).

Adicionalmente, los principales inconvenientes de la nixtamalización son la pérdida de materia seca (nutrientes y compuestos fitoquímicos), los prolongados tiempos de reposo y la producción de grandes cantidades de nejayote con un alto pH (entre 9 y 12) además de elevada cantidad de residuos contaminantes (Escalante-Aburto *et al.*, 2019). Durante la nixtamalización, específicamente en la tradicional, se pierden antocianinas además de otros compuestos de importancia nutricional y funcional, ya sea por su solubilización, por la remoción del pericarpio o por su inestabilidad térmica (Escalante-Aburto *et al.*, 2013). En tanto que el nejayote contiene componentes del grano como pericarpio, germen, fibra dietética y almidón (Castro-Muñoz *et al.*, 2017).

6.4 Nejayote

El nejayote contiene aproximadamente 8,342.5 mg/L de sólidos suspendidos totales (Castro-Muñoz *et al.*, 2015), incluyendo un alto contenido de compuestos polisacáridos no celulósicos, que son importantes por sus propiedades funcionales en los alimentos actuando como espesantes, estabilizadores, emulsionantes y formadores de películas o geles (Valderrama-Bravo *et al.*, 2011). De acuerdo con Ramírez-Romero *et al.* (2013), los azúcares presentes en el nejayote son la arabinosa, xilosa, galactosa y el ácido glucurónico, en concentraciones de 0.54, 64.23, 1.10 y 8.60 g/Kg de maíz, respectivamente. Por lo anterior, estos autores indican que es posible emplear el nejayote como medio de cultivo para bacterias probióticas y para la producción de bacteriocinas.

6.5 Composición y características

El nejayote, además de contener partes del hidrolizado del grano (pericarpio, germen y endospermo), por las que es rico en carbohidratos, proteínas y calcio; es fuente de

fitoquímicos como carotenoides y compuestos fenólicos, entre los que destacan los flavonoides, antocianinas y derivados del ácido hidroxicinámico (ácidos ferúlico, cumárico, dehidrodiferúlico y dehidrotriferúlico); cuyas aplicaciones potenciales incluyen su utilización como aditivos alimentarios en productos de panadería y en bebidas con capacidad antioxidante y antiinflamatoria (Buitimea-Cantúa *et al.*, 2019; Villela-Castrejón *et al.*, 2017b; Serna-Saldivar *et al.*, 2015). En la Tabla 1 se aprecian la composición y parámetros fisicoquímicos de este fluido, subproducto de la nixtamalización del maíz.

Tabla 1. Composición y parámetros fisicoquímicos del nejayote.

Composición	Parámetros
pH	11.39
Sólidos totales (%)	2.28
Sólidos suspendidos totales (mg L^{-1})	8342.5
Carbohidratos (%)	0.862
Cenizas (%)	0.767
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	4510.12
Turbidez (NTU)	963.3
Demanda química de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$)	40058.14
Calcio (mg L^{-1})	1526.21
Densidad (kg m^{-3})	1003.54
Fibra (%)	0.581
Grasa (%)	0.008
Proteína bruta (%)	0.113
Dureza (mg L^{-1})	5768.67
Carbono orgánico total (mg L^{-1})	2984.10
Polifenoles totales (mg L^{-1})	1190.74

(Castro-Muñoz, 2017)

6.6 Usos y beneficios

Actualmente el nejayote se descarta como agua residual, sin embargo, algunos estudios reportan el tratamiento de estas aguas residuales para su posterior utilización como ingrediente en la formulación de alimentos (Velasco-Martínez *et al.*, 1997) además de que se le ha utilizado en el enriquecimiento de pan y tortillas (Acosta-Estrada *et al.*, 2014). También se ha reportado que los sólidos del nejayote son prometedores como fuente de antioxidantes para promover beneficios a la salud y combatir el estrés oxidativo (Gutiérrez-Urbe *et al.*, 2010) o como un medio de cultivo para bacterias probióticas y para la producción de bacteriocinas (Ramírez-Romero *et al.*, 2013; Castro-Muñoz, 2015a). Por otro lado, la cantidad de goma de maíz insoluble en agua presente en la cascarilla del grano es alta (30 a 40 %) comparada con la cantidad de goma de maíz soluble en agua contenida en el endospermo (1%), de este modo es viable también la utilización del nejayote como fuente potencial de goma de maíz y representa una alternativa de uso de este residuo contaminante y una opción para disminuir el costo de extracción de esta goma (Carvajal-Millán, 2007).

6.7 Efectos perjudiciales al medio ambiente

Existen dificultades ambientales con el nejayote, porque es un contaminante que tiene un pH alcalino alto y provoca la formación de incrustaciones dentro de las tuberías de drenaje (Martínez-Flores *et al.*, 2002; Campechano-Carrera, 2012). Usualmente el nejayote industrial se vierte en cuerpos de agua (ríos o lagos), en suelos o en el alcantarillado público, y pocas veces se le aplica algún tratamiento previo (Salmerón-Alcocer *et al.*, 2003; Díaz-Montes, 2016). Como referente, una instalación típica de nixtamalización de maíz que procesa 500 Kg/día utiliza alrededor de 750 L de agua, generando así una cantidad equivalente de aguas residuales alcalinas/día (López-Maldonado, 2017). En el mismo sentido otros autores dicen que va a variar la cantidad de nejayote producido, es decir, por cada kilogramo de maíz se pueden obtener de 2 a 3 litros (Ramírez-Romero *et al.*, 2013).

6.8 Secados por aspersión

El secado por aspersión es una operación unitaria en la cual se transforma un fluido (solución, dispersión o pasta) en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado, dando como producto un polvo o pequeñas esferas (Fabela-Morón, 2017), por lo tanto la deshidratación y secado de alimentos implica la operación básica con la que se extrae casi toda el agua presente en el producto alimenticio bajo condiciones controladas (Naddaf *et al.*, 2012). Es importante mencionar que para utilizar este proceso, es necesario un encapsulante y la maltodextrina es un material con una baja higroscopicidad y la más utilizada (Caparino *et al.*, 2012).

El secado por aspersión es un método que tiene la ventaja de ser efectivo para la protección y conservación de compuestos bioactivos (Fabela, 2017). Este es el método más usado para encapsular ingredientes alimenticios, el más económico y se ha utilizado en la protección de materiales alimenticios (Naddaf *et al.*, 2012). En un estudio realizado por Berlanga-Reyes *et al.*, (2021) sobre el efecto del método de secado y las condiciones del proceso, se demostró que el secado por aspersión no afecta las características fisicoquímicas de los arabinosilanos obtenidos a partir de nejayote, mientras que una de las desventajas de este proceso, es que no es muy adecuado si se requiere un producto a granel de alta densidad (Miravet-Valero *et al.*, 2009).

En otro estudio realizado por Arrazola *et al.* (2013) se determinó que los tiempos de residencia empleados en el secado por atomización son pequeños y por lo tanto no al cansaría a degradar las antocianinas presentes en polvos. Mientras que Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk (2011) confirmaron que la temperatura de entrada de secado por debajo de 180 °C no afecta significativamente el contenido de antocianinas.

En un proceso de secado por aspersión es necesario considerar aspectos como la concentración de azúcares totales, reductores y no reductores (g de azúcares por cada 100 g de muestra), sólidos solubles totales (SST) expresados como °Brix, pH, así como los contenidos de proteína, grasa y humedad (Naddaf *et al.*, 2012).

Berlanga-Reyes *et al.* (2021) utilizaron el secado por aspersión para deshidratar nejayote de maíz blanco, con el propósito de evaluar rendimiento y características del producto obtenido por diferentes procesos de secado: liofilización, aspersión y secado por solvente concluyendo que el secado por aspersión resultó ser el método más rentable para el sector industrial. En otro estudio realizado por Villela-Castrejón *et al.* (2017), se utilizó también el secado por aspersión para la deshidratación de nejayotes de maíz blanco, el objetivo de este estudio fue obtener compuestos fenólicos de nejayote.

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

VII. Materiales y métodos

7.1 Ubicación del sitio experimental

El proyecto de investigación se desarrolló en cuatro universidades. Para la caracterización de los granos de los maíces se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas en Toluca de Lerdo México, se ubica a 19°24'32.8" LN 99°41'23.9" LW.

La segunda etapa consistió en la nixtamalización de los maíces para la obtención de los nejayotes y algunos análisis fisicoquímicos, las cuales se llevaron a cabo en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT y así como en las instalaciones de la División de Procesos Industriales de la Universidad Tecnológica de Tabasco Carretera Villahermosa-Teapa Km 14.6, Villahermosa, Tabasco.

La siguiente etapa, consistió en el secado por aspersion de los nejayotes obtenidos del proceso de nixtamalización. Ésta se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Posteriormente, los nejayotes deshidratados se caracterizaron bromatológicamente y nutracéuticamente en las instalaciones de la División de Procesos Industriales de la Universidad Tecnológica de Tabasco Carretera Villahermosa-Teapa Km 14.6, Villahermosa, Tabasco.

7.2 Materiales

7.2.1 Variedades de maíz

Para el estudio se utilizaron cuatro variedades de maíces dentados de distintas pigmentaciones: Blanco Victoria, Amarillo Ámbar, Rojo Criollo y Negro Carioca; todos obtenidos en Toluca, Estado de México. Se consideraron 10 kg de grano limpio de cada variedad. Los granos de cada variedad se limpiaron de forma manual para eliminar

impurezas, granos rotos, y granos de otras especies y posteriormente se almacenaron en frascos de vidrio con tapa de rosca, en un lugar fresco y seco hasta su utilización.

7.3 Métodos

7.3.1 Diagrama general de la investigación

En la Figura 2 se muestra un diagrama general de las etapas correspondientes a la metodología desarrollada durante la investigación; comenzando con la obtención y caracterización de los maíces, su nixtamalización, obtención y caracterización de los nejayotes, y finalmente, secado por aspersión de los nejayotes y caracterización de los polvos de nejayote.

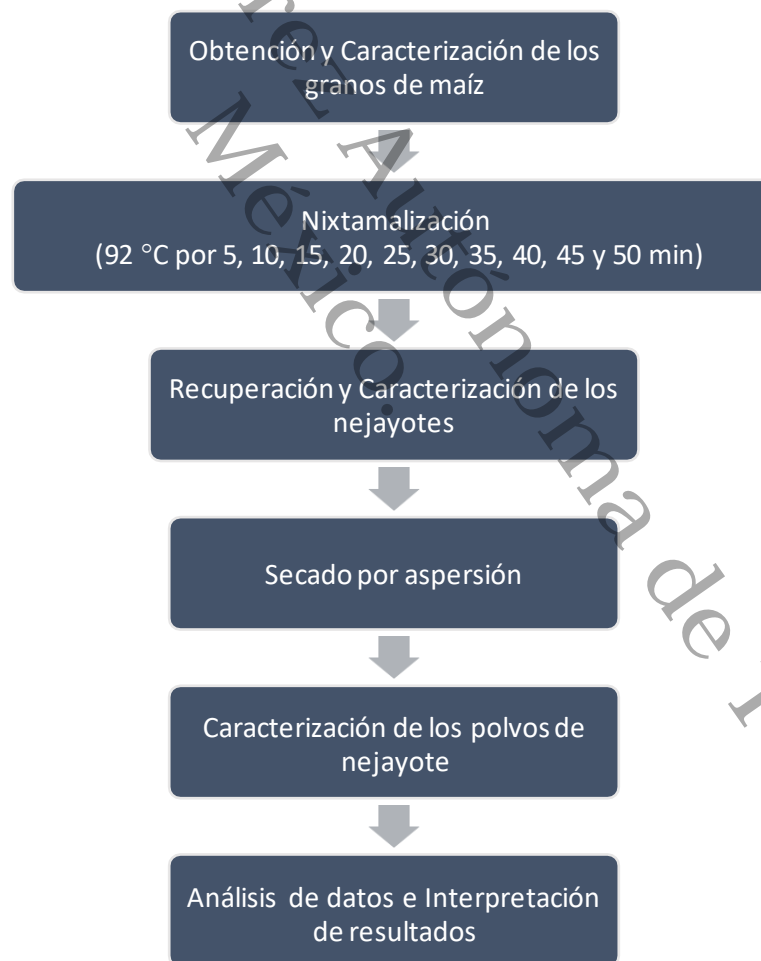


Figura 2. Diagrama general de la metodología.

7.3.2 Caracterización física de los granos de las diferentes variedades de maíz

Las características físicas de los granos se determinaron para cada una de las variedades; se determinó el largo, ancho y grosor de grano (mm), el peso de 1000 granos (g), peso hectolítrico (kg/hL), dureza (N) y color (en coordenadas de L^* , a^* y b^*).

Para las medidas de largo, ancho y grosor de grano se empleó un vernier/calibrador digital de 152.4 mm, con aproximación a 0.01 mm (Truper, México), en 25 granos tomados al azar de cada variedad.

Para determinar el peso de mil granos se pesaron 100 granos obtenidos al azar de cada genotipo, en una balanza digital con sensibilidad de 0.001 g (Ohaus Latinoamérica, México) y el resultado en gramos se multiplicó por 10.

El peso hectolítrico (kg/hL) se determinó con ayuda de un cilindro, de peso y volumen conocidos; los granos de maíz se introdujeron al cilindro, hasta el tope, con ayuda de una regla; el cilindro con los granos se pesó en una balanza digital con sensibilidad de 0.001 g (Ohaus Latinoamérica, México); al peso obtenido se le restó el peso del cilindro vacío para obtener el peso del maíz y el resultado se dividió entre el volumen del cilindro (Ponce-García *et al.*, 2017).

La dureza de los granos se evaluó mediante una prueba de compresión con un analizador de textura TA.XTPlus (Texture Technologies, USA/Stable Micro Systems, Reino Unido), siguiendo la metodología reportada por Ponce-García *et al.* (2013). Cada valor reportado fue resultado del valor promedio de 10 lecturas para cada variedad de granos.

El color de los granos se determinó de acuerdo con el sistema de color de CielAB (coordenadas L^* , a^* y b^*), utilizando para ello un analizador de color portátil, digital FRU WR10QC (Beley, China). Cada valor reportado fue resultado del valor promedio de 10 lecturas para cada variedad de granos.

7.3.3 Proceso de nixtamalización

El proceso de nixtamalización se llevó a cabo con 50g de maíz Blanco Victoria (BV), Amarillo Ámbar (AA), Rojo Criollo (RC) y Negro Carioca (NC) con 1% de cal y 150 ml de agua filtrada, en un baño de agua con control digital de temperatura y agitación MOD 4682 (LABLINE Instrument, India), a una temperatura constante de 92 °C por 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 min. Se utilizaron frascos de 500 mL de capacidad, que permanecieron tapados para evitar la evaporación excesiva y no controlada del agua de cocción; transcurrido el tiempo de reposo (16 hrs) se separó el nixtamal del nejayote, y se registró el peso del nixtamal obtenido, así como el volumen y el peso del nejayote.

7.3.4 Caracterización de los granos de nixtamal

A los granos de nixtamal obtenidos se les caracterizó en peso (g), contenido de humedad (%) y dureza (N). La dureza de los granos nixtamalizados se determinó mediante una prueba de compresión, utilizando el analizador de textura TA.XT2 Plus (Texture Technologies, Scarsdale, NY, EE. UU. / Estable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). Cada valor reportado fue resultado del valor promedio de 10 lecturas por cada muestra de granos nixtamalizados. La determinación de humedad se realizó por tratamiento térmico, por el método de arena o gasa, indicado en la NOM-116-SSA1-1994.

7.3.5 Caracterización de las aguas de nixtamal o nejayote

Los nejayotes obtenidos de la nixtamalización de las diferentes variedades de maíz se caracterizaron en peso (g), volumen (mL), contenido de sólidos totales (%), pH y color (en coordenadas de L*, a* y b*).

La determinación de sólidos totales se realizó de acuerdo con el método de secado en estufa de vacío 44-40.01 de la AACC (2010), utilizando para ello una estufa de vacío MOD 3620 (LAB-LINE Instruments, USA). El pH se determinó de acuerdo con el método 981.12 de la AOAC (2000), utilizando para ello un medidor de pH/mV de mesa con resolución de 0.01,

MOD HI2211-01 (Hanna Instruments, México). El color de las aguas del nixtamal se determinó de acuerdo con el sistema de color de CieLAB (coordenadas L*, a* y b*), utilizando para ello un analizador de color portátil, digital FRU WR10QC (Beley, China). Cada valor reportado fue resultado del valor promedio de 6 lecturas para cada uno de los nixtamales, provenientes de las diferentes variedades de maíz.

7.3.6 Secado por aspersión de las aguas de nixtamal o nejayote

El nejayote obtenido de la nixtamalización de las diferentes variedades de maíz, previo al secado, se pasó a través de un tamiz N° 60, 250 μm (Montinox, México). Para la microencapsulación se utilizó maltodextrina al 15 % de volumen de nejayote y la mezcla fue secada por aspersión a temperaturas de aire de 150 °C/75 °C (entrada/salida), volumen de flujo de aire del 80 %, presión de aire del compresor de 450 PSI y caudal de alimentación de 15 mL/min. Se utilizó para ello un mini secador por aspersión MOD SD118A (LABFREEZ, USA). Una vez obtenidos los polvos, se determinó el rendimiento para cada una de las variedades de maíz. Los polvos fueron entonces almacenados a temperatura ambiente, al abrigo de la luz hasta su análisis.

7.3.7 Potencial nutracéutico de los nejayotes

Se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas y la capacidad antioxidante de los nejayotes líquidos, así como de los polvos de nejayote secados por aspersión, para cada una de las cuatro variedades de maíz estudiadas. Se determinó también la actividad de agua y el color de los polvos de nejayote.

Preparación de los extractos. Los extractos fueron obtenidos de acuerdo a lo establecido por Gutiérrez-Urbe *et al.* (2010), con algunas modificaciones. Un gramo de muestra fue homogeneizada con 10 mL de metanol al 80 % por 1 min en un homogeneizador a 10000 rpm (T 25 digital ULTRA-TURRAX®, IKA Works, Inc., USA). El homogeneizado fue sonificado por 30 min a 40 °C en un baño sonicador (MOD 8895-39, Cole-Parmer®, USA);

posteriormente fue centrifugado por 10 min a 3500 rpm en una centrífuga (MOD C-40, SOL-BAT, México). El sobrenadante fue removido, para repetir la extracción del residuo. Ambos sobrenadantes fueron reunidos y aforados a 25 mL con etanol al 80 %. Los extractos fueron almacenados a -20 °C hasta su análisis.

Determinación de fenoles totales. 50 μ L de los extractos fueron mezclados con 3 mL de agua desionizada y 250 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu (1N); la mezcla se dejó reposar por 8 min, adicionando entonces 750 μ L de Na_2CO_3 al 20 % (p/v) y 950 μ L de agua desionizada; la mezcla se agitó en un vortex por 30 seg, después de lo cual se dejó en reposo por 30 min a temperatura ambiente. Se midió su absorbancia a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro visible MOD SP-600 (Orbeco Hellige, Alemania). La concentración de fenoles totales fue calculada utilizando una curva estándar de ácido gálico (0-10 ppm) y expresada como mg de ácido gálico por cada 100 g de muestra seca.

Determinación de Flavonoides totales. 1 mL de los extractos fueron mezclados con 4 mL de agua desionizada y 300 μ L de NaNO_3 al 5 % por 5 min; se adicionan entonces 300 μ L de una solución metanólica de AlCl_3 al 10 % (p/v). La mezcla se deja reposar 1 min y se adicionan entonces 2 mL de NaOH (1M); la mezcla se afora a 10 mL con agua desionizada. Se midió su absorbancia a una longitud de onda de 415 nm en un espectrofotómetro visible MOD SP-600 (Orbeco Hellige, Alemania). El contenido de flavonoides totales fue calculado utilizando una curva estándar de quercetina (0-60 ppm) y expresada como mg equivalentes de quercetina por cada 100 g de muestra seca.

Determinación de antocianinas. El contenido de antocianinas totales se determinó con la técnica espectrofotométrica de Abdel-Aal y Hucl (1999), con modificaciones. 0.4 g de muestra se mezclaron con 1.5 mL de HCl (1 N), en un vortex, durante 3 min. Se adicionaron 8.5 mL de alcohol etílico a la mezcla y ésta se sonicó por 20 min en el baño sonicador (MOD 8895-39, Cole-Parmer®, USA); posteriormente la mezcla es centrifugada a 3500 rpm durante 20 minutos en una centrífuga MOD C-40 (SOL-BAT, México). Se colecta el sobrenadante y se mide su absorbancia en un espectrofotómetro visible MOD SP-600 (Orbeco Hellige, Alemania), a las longitudes de onda de 535 y 700 nm. Los resultados se expresaron como mg de cianidina 3-glucósido por cada 100 g de muestra seca.

Determinación de la actividad antioxidante. Se evaluó la actividad antioxidante usando el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) de acuerdo con Brand-Williams *et al.* (1995), con algunas modificaciones. Se pesan 0.4 g de muestra, se adicionan 2 ml de agua destilada y la mezcla se agita con ayuda de un vortex; se agregan 8 mL de metanol puro y la mezcla se sonica por 10 min a temperatura ambiente en un baño sonicador (MOD 8895-39, Cole-Parmer®, USA); la mezcla se centrifuga entonces por 10 min a 3500 rpm en una centrifuga (MOD C-40, SOL-BAT, México) para obtener el sobrenadante. 125 μ L del extracto son adicionados en tubos de ensaye conteniendo 4875 μ L de la solución de DPPH, se dejan reposar al abrigo de la luz por una hora. Se mide la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro visible MOD SP-600 (Orbeco Hellige, Alemania). Los resultados se expresan como μ mol equivalentes de Trolox por gramo de muestra seca.

Actividad de agua. La actividad de agua se determinó a los polvos de nejayote, después del secado por aspersión, utilizando para ello un analizador de actividad de agua Aqua Lab (Decagon, Pullman, USA).

Color. El color de los polvos de nejayote se determinó también de acuerdo con el sistema de color de CieLAB (coordenadas L*, a* y b*), utilizando para ello un analizador de color portátil, digital FRU WR10QC (Beley, China). Cada valor reportado fue resultado del valor promedio de 6 lecturas para cada uno de los polvos, provenientes de las cuatro diferentes variedades de maíz estudiadas.

7.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Para la caracterización física de los granos de las diferentes variedades de maíz, se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Para la evaluación del proceso de nixtamalización (caracterización de los granos de nixtamal y nejayote), se utilizó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial con dos factores: variedad de maíz con cuatro niveles y tiempo de cocción con 10 niveles. Para determinar el efecto del secado por aspersión en las características fisicoquímicas y potencial nutracéutico de los

polvos de nejayote, se consideró un diseño experimental completamente al azar, en el que los tratamientos evaluados fueron cada una de las variedades de maíz estudiadas. Finalmente, para determinar el efecto del agente encapsulante en el potencial nutracéutico de los polvos de nejayote, se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en el que los tratamientos evaluados fueron las distintas concentraciones de maltodextrina (1:5, 1:7.5 y 1:10).

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples entre medias con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). Estos análisis estadísticos se realizaron con MINITAB 19v.

México.

Autónoma de Tabasco.

VIII. Resultados y discusión

8.1 Caracterización de los granos de las diferentes variedades de maíz

Las características físicas y químicas de los granos de maíz son determinantes en los parámetros de procesamiento, así como en la calidad y rendimiento de los productos obtenidos (Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto, 2010). De acuerdo con la literatura, se sabe que los granos de maíz más pequeños, debido a su tamaño, se hidratan más fácilmente, requieren menos tiempo y energía para su cocción que los de tamaño mayor (Sánchez *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha reportado también que los granos más grandes son de textura más suave, mientras los más pequeños suelen ser de textura más dura (Jiménez-Juárez *et al.*, 2012).

El largo, ancho y grosor de los granos de cada una de las variedades de maíz evaluadas en este trabajo se muestran en la Tabla 2. Donde se observa que las variedades de maíz mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en el largo y grosor, no así en el ancho de grano.

Tabla 2. Valores medios en el largo, ancho y grosor de los granos de las cuatro variedades de maíz

Variedad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)
Blanco Victoria	13.09 ± 1.11 ^c	7.78 ± 0.80 ^a	4.65 ± 0.45 ^b
Amarillo Ámbar	16.32 ± 1.60 ^{ab}	8.03 ± 1.40 ^a	4.72 ± 0.68 ^b
Rojo Criollo	17.19 ± 1.23 ^a	7.82 ± 0.78 ^a	4.94 ± 0.64 ^{ab}
Negro Carioca	15.34 ± 1.40 ^b	8.45 ± 1.86 ^a	5.27 ± 0.83 ^a

Medias ± Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

El largo de grano osciló entre 13.09 y 17.19 mm; correspondiendo el menor largo de grano a la variedad de maíz Blanco Victoria, mientras que el mayor largo de grano lo tuvo la variedad

de maíz Rojo Criollo. Con respecto al grosor del grano, los valores fluctuaron entre 4.65 y 5.27 mm, siendo superior el grosor de los granos de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo. De acuerdo con Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010), las dimensiones de los granos son importantes en la hidratación de los granos debido a que, a una misma dureza, los granos de pequeño tamaño se hidratan mejor que los de mayor tamaño.

En relación con el peso hectolítrico, peso de 1000 granos y dureza (Tabla 3), las variedades de maíz mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$). Para peso hectolítrico se encontraron valores entre 64.76 y 79.72 kg/hL; siendo la variedad de maíz Blanco Victoria la que obtuvo el mayor valor, mientras que los menores valores se presentaron en las variedades Rojo Criollo y Negro Carioca. De acuerdo con Vázquez-Carrillo *et al.* (2003), existe una correlación negativa entre la relación largo/ancho de los maíces y su peso hectolítrico; siendo así porque los granos más largos y delgados dejan un mayor espacio entre sí al ser depositados en el recipiente de la balanza de peso por hectolitro; esto podría explicar el menor peso hectolítrico de las variedades de maíz Amarillo Ámbar, Rojo Criollo y Negro Carioca, de granos más largos, en comparación con los granos más cortos de la variedad Blanco Victoria.

Tabla 3. Valores medios de dureza, peso hectolítrico y peso de 1000 granos de las cuatro variedades de maíz

Variedad	Dureza (N)	Peso hectolítrico (kg/hL)	Peso de 1000 granos (g)
Blanco Victoria	222.87 ± 16.76 ^a	79.72 ± 0.63 ^a	311.38 ± 11.18 ^b
Amarillo Ámbar	199.58 ± 28.89 ^{ab}	73.91 ± 1.89 ^b	460.53 ± 1.23 ^a
Rojo Criollo	232.19 ± 26.51 ^a	66.29 ± 2.87 ^c	326.45 ± 18.67 ^b
Negro Carioca	165.57 ± 6.14 ^b	64.76 ± 1.94 ^c	329.97 ± 25.79 ^b

Medias ± Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Por otra parte, Palacios *et al.* (2016) indican que el peso hectolítrico de los granos está relacionado con su densidad y también con su dureza. La Norma Mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización (NMX-FF-034/1-SCFI-2002) establece como

parámetro de calidad un peso hectolítrico mínimo de 74 kg/hL; en este sentido, solo las variedades de maíz Amarillo Ámbar y Blanco Victoria cumplen con este requerimiento, que corresponde a granos duros e intermedios, demandados por la industria de la masa y la tortilla (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2012).

En relación con el peso de 1000 granos, éste indica el tamaño del grano de la variedad. Para esta variable analizada, el mayor valor se obtuvo para la variedad de maíz Amarillo Ámbar (460.53 g). De acuerdo con Billeb de Sinibaldi y Bressani (2001), un peso de 1000 granos bajo (menor a 380 g) corresponde a una variedad de granos pequeños, mientras que un peso alto, se obtiene cuando los granos son grandes; prefiriéndose para el procesamiento las variedades de maíz de mayor peso. Además, de acuerdo con García-Jiménez y Vázquez-Ch (2016) un peso de 1000 granos bajo corresponde a granos suaves, en tanto que las variedades más duras corresponden a pesos elevados.

Por otra parte, Blandino *et al.* (2010) indicaron que la forma, superficie y grosor de los granos, tienen un efecto importante en su textura y, de acuerdo con Fox y Manley (2009), la dureza del grano de maíz es una característica hereditaria, afectada por su composición, principalmente del almidón y las proteínas, la cual se ve influenciada por las condiciones ambientales. En este estudio, la variedad de maíz que presentó la menor dureza correspondió al Negro Carioca (165.57 N), relacionada con el tipo de endospermo suave o harinoso, a diferencia de los maíces Rojo Criollo y Blanco Victoria que mostraron una mayor dureza, relacionada con genotipos de endospermo vítreo o cristalino, de alta vitrosidad (Saenz *et al.*, 2020). Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010), evaluaron el efecto de la dureza del grano de maíz sobre los rendimientos de masa y tortilla, así como sobre la textura de la tortilla; concluyendo que la dureza influyó en el contenido de humedad de la tortilla y por lo tanto en el rendimiento, pero no en su textura. Además indicaron que para lograr rendimientos de tortilla/maíz ≥ 1.5 , la humedad de la tortilla debe estar entre 45-46 %, lo que se logró procesando maíces de dureza intermedia o suave.

En lo que se refiere al color de las variedades de maíz estudiadas, en la Tabla 4 se aprecian las coordenadas de color en el sistema HunterLab, en donde la coordenada *L* hace referencia a la luminosidad (0 es el negro y 100 es el blanco), para la coordenada *a* los valores positivos hacen referencia a colores rojizos y los negativos a colores verdosos, mientras que para la

coordenada *b*, valores positivos corresponden a tonalidades amarillas y los negativos a colores azulados (Saenz *et al.*, 2020). Para la coordenada *L*, la variedad de maíz Blanco Victoria obtuvo el mayor valor, mientras que los menores valores se presentaron en las variedades Rojo Criollo y Negro Carioca. Las tonalidades más rojizas (coordenada *a*) se alcanzaron en la variedad Rojo Criollo, seguida de la variedad Amarillo Ámbar, mientras que la tonalidad más amarilla (coordenada *b*) se obtuvo para la variedad Amarillo Ámbar. Las variedades criollas de maíz incluyen granos de diversos colores; estas coloraciones se deben primordialmente a dos familias de pigmentos, los carotenoides y las antocianinas; los maíces ricos en carotenoides, de granos amarillo-naranja, se siembran ampliamente en el mundo; mientras que las variedades ricas en antocianinas, de producción muy limitada, incluyen granos de coloraciones rojizas, azules, moradas y negras (Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

Tabla 4. Valores medios para las coordenadas de color en el sistema HunterLab (*L*, *a* y *b*) de los granos de las cuatro variedades de maíz

Variedad	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Blanco Victoria	71.28 ± 1.25 ^a	2.54 ± 1.45 ^c	16.30 ± 2.59 ^b
Amarillo Ámbar	60.24 ± 4.51 ^b	16.89 ± 6.59 ^b	46.16 ± 3.63 ^a
Rojo Criollo	31.39 ± 6.98 ^c	30.08 ± 6.31 ^a	12.57 ± 4.50 ^b
Negro Carioca	29.10 ± 4.65 ^c	0.68 ± 0.44 ^c	-0.42 ± 1.57 ^c

Medias ± Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

8.2 Caracterización de los granos del nixtamal

En la Figura 3 se muestra el comportamiento en el peso de los granos de maíz nixtamalizados, para las cuatro variedades de maíz estudiadas durante su cocción a una temperatura de 92 °C; dicho peso se incrementó con respecto al tiempo de cocción debido a la absorción de agua. De acuerdo con Castillo *et al.* (2009), durante la nixtamalización ocurren cambios en los gránulos de almidón, los cuales afectan significativamente las propiedades fisicoquímicas del nixtamal; el almidón pierde su estructura, las cadenas de amilosa son solubilizadas, disminuye la viscosidad y ocurre la absorción de agua. Sin embargo, un excesivo

calentamiento provoca una mayor absorción de agua, gelatinización y adhesividad de la masa, lo que dificulta su manejo en la elaboración de tortillas.

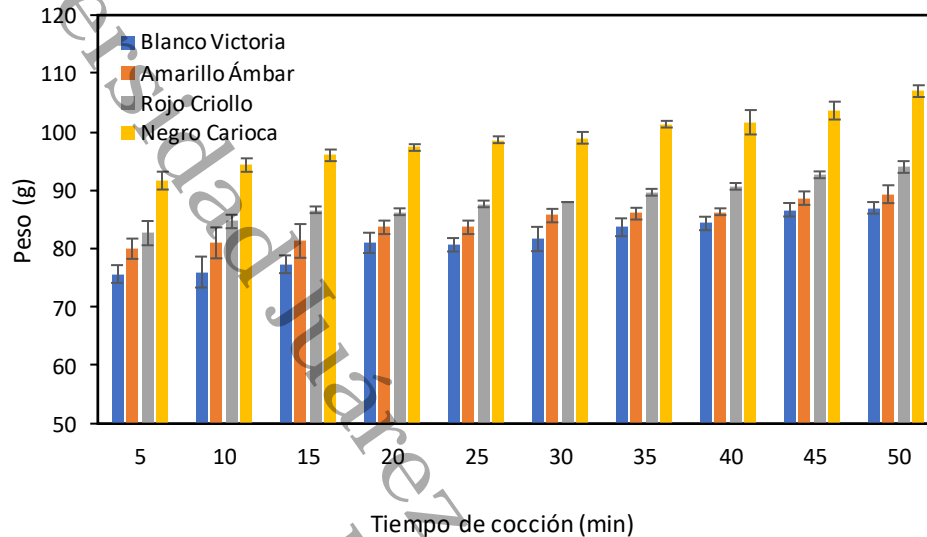


Figura 3. Peso de los granos de maíz nixtamalizados a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

La variedad de maíz Negro Carioca, mostró el mayor incremento en el peso de nixtamal, lo que coincide con lo reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2012), quienes indican que una menor dureza de grano permite una mayor hidratación. Por su parte, Bressani (2008) indicó que en los maíces más duros se dificulta la absorción de agua debido a que en su endospermo vítreo, los gránulos de almidón están recubiertos por una matriz proteica que dificulta su absorción.

En cuanto a la humedad de los granos de maíz nixtamalizados, en la Figura 4 se observa el porcentaje de humedad del nixtamal, para cada uno de los tiempos de cocción, para cada una de las variedades de maíz evaluadas. En esta Figura podemos observar que la mayor humedad en el nixtamal se obtuvo para la variedad de maíz Negro Carioca, en concordancia con el mayor peso obtenido para los granos de maíz nixtamalizados de esta variedad (Figura 3). En seguida se tiene a las variedades Rojo Criollo y Blanco Victoria, mientras que el menor contenido de humedad se presentó en el maíz Amarillo Ámbar. Observándose este

comportamiento en todos los tiempos de cocción. En este sentido Salinas *et al.* (2010) indican que los granos de menor tamaño y de mayor suavidad, permiten una mejor hidratación del endospermo durante la nixtamalización y el reposo, lo que resulta en un mayor rendimiento; cuyo mínimo para la industria de la masa y la tortilla debe ser de 1.5 kg de tortilla por kg de maíz, con una humedad de 45 % en las tortillas.

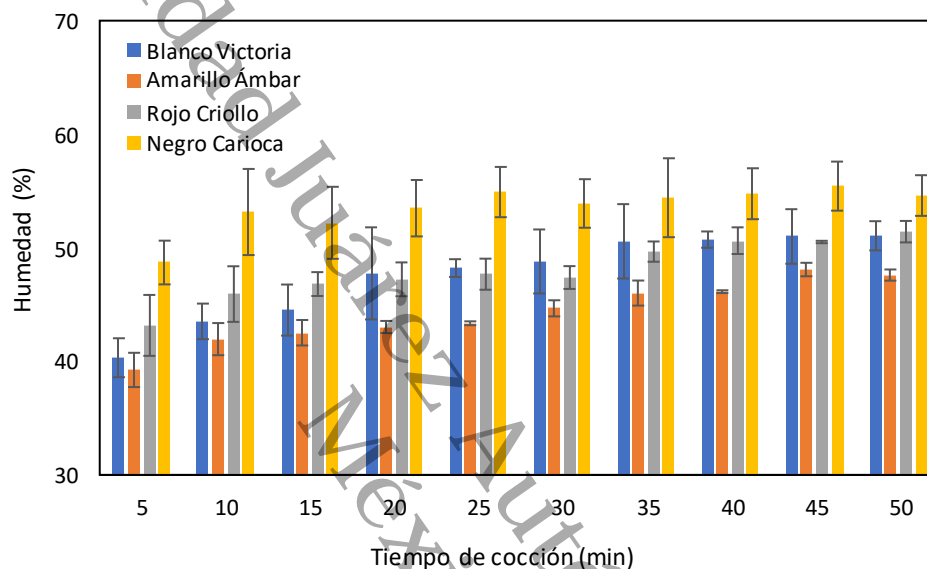


Figura 4. Humedad de los granos de maíz nixtamalizados a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

Además, Billeb de Sinibaldi y Bressani (2001) señalan que el porcentaje de humedad en el nixtamal indica el grado de cocción del grano. En base a lo anterior, los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización de las diferentes variedades de maíz fueron para la variedad Amarillo Ámbar, 45 minutos; Blanco Victoria, 40 minutos; Rojo Criollo, 35 minutos y, para la variedad Negro Carioca, 30 minutos. No encontrándose diferencias significativas en el porcentaje de humedad, para los nixtamales obtenidos para dichas variedades de maíz, a estos tiempos de cocción.

Vázquez *et al.* (2012a y 2012b), reportan humedades en el nixtamal de 44 a 46 % y de 43 a 51 %, respectivamente, con una humedad en las tortillas elaboradas a partir de estos nixtamales de 43 a 44 % y de 40 a 45 %, respectivamente, para diferentes variedades de maíz cultivadas en los estados de Tlaxcala, México y Puebla.

Para la dureza de los granos de maíz nixtamalizados, en la Figura 5 se observa como a medida que se incrementa el tiempo de cocción la dureza disminuye, fenómeno relacionado también con la absorción de agua. En concordancia con nuestros resultados, Roque-Maciel *et al.* (2016) reportan que la fuerza de corte del nixtamal es inversamente proporcional al tiempo de cocción, debido a que el grano es más suave por el agua absorbida, decreciendo de 235 a 95.3 N en los primeros minutos de proceso. Ibarra-Mendivil *et al.* (2008) por su parte, reportan un comportamiento similar.

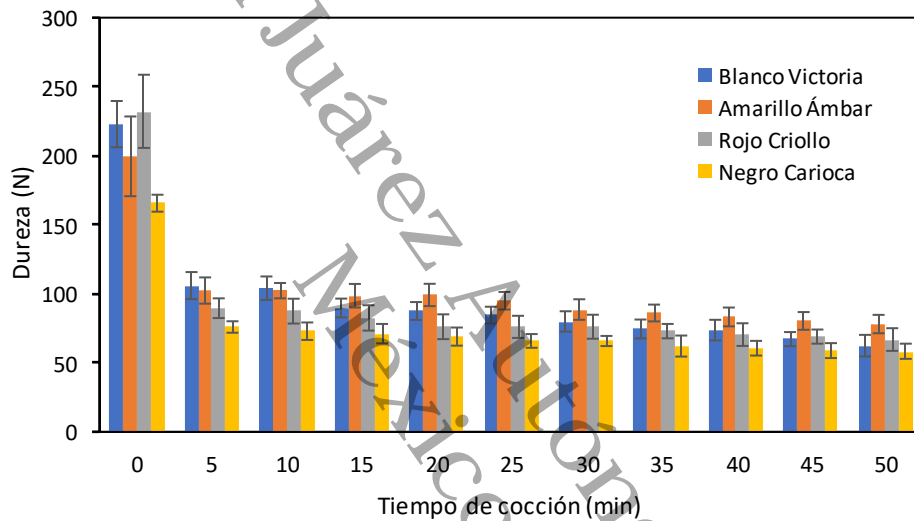


Figura 5. Dureza de los granos de maíz (tiempo 0) y del nixtamal a los diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

De acuerdo con Figueroa *et al.* (2013), la dureza del grano es influenciada por la microestructura de los granos de maíz, el tipo y la proporción de endospermo. En la Figura 4 se puede observar también que la variedad de maíz que presentó la mayor dureza durante el proceso de nixtamalización fue la Amarillo Ámbar, lo que coincide con el mayor peso de 1000 granos, relacionado con maíces duros, de endospermo es vítreo (Cruz *et al.*, 2018). Por otra parte, la mayor dureza de los granos de maíz Amarillo Ámbar concuerda también con el menor porcentaje de humedad que alcanzaron durante su cocción, en comparación con las otras tres variedades de maíz estudiadas (Figura 3). Los granos de maíz Negro Carioca, con,

el mayor porcentaje de humedad y el mayor peso de grano alcanzados durante la cocción, presentaron la menor dureza.

8.3 Características de las aguas de nixtamal o Nejayote

En la Figura 6 se muestra el comportamiento para el peso de las aguas del nixtamal o Nejayote durante la cocción de las cuatro variedades de maíz evaluadas; dicho peso disminuye a medida que avanza el tiempo de cocción para los cuatro tipos de maíz, debido a la absorción de las aguas de cocción por los granos, mismos que incrementaron su peso (Figura 3) y su contenido de humedad (Figura 4), mientras disminuyó su dureza (Figura 5).

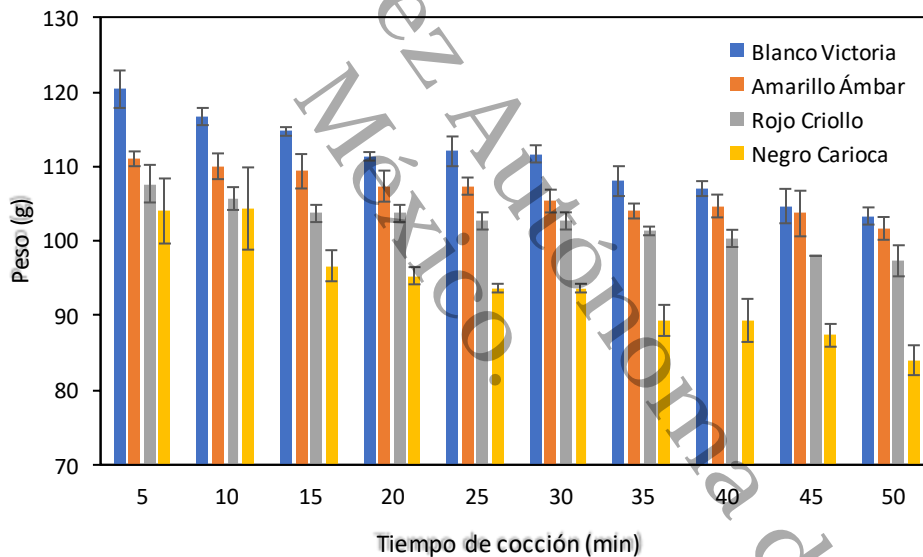


Figura 6. Peso del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

En la Figura 7 se puede observar el comportamiento para el volumen de las aguas del nixtamal durante la cocción de las cuatro variedades de maíz; comportamiento que es coincidente con el comportamiento para el peso de estas mismas aguas de cocción.

Los menores valores para peso y volumen de nejayote fueron alcanzados por los granos de maíz Negro Carioca; mismos que alcanzaron la mayor humedad (Figura 4).

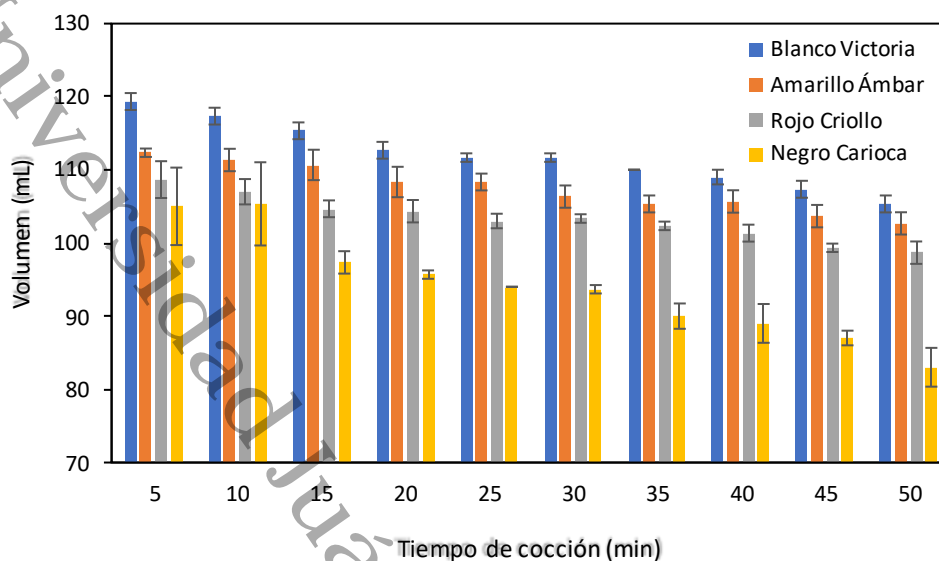


Figura 7. Volumen del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

En cuanto al contenido de sólidos totales en las aguas del nixtamal, relacionado con la pérdida de sólidos de los granos durante su cocción, en la Figura 8 se puede apreciar que a medida que avanza el tiempo de nixtamalización, se incrementa el contenido de sólidos totales en el Nejayote. En esta Figura también se puede apreciar que el mayor contenido de sólidos totales en el Nejayote fue para el maíz Negro Carioca (entre 1.29 y 2.13 %, para los diferentes tiempos de cocción), variedad de maíz para la que se obtuvo también el menor peso (Figura 6) y volumen de Nejayote (Figura 7). De acuerdo con Castro-Muñoz *et al.* (2017), el nejayote contiene en promedio un 2.28 % de sólidos totales.

Figuroa-Cárdenas *et al.* (2013) indican que la calidad de la tortilla y otros productos de maíz nixtamalizado depende, entre otros factores, de la pérdida de sólidos de los granos durante su cocción; existiendo razas como el maíz Palomero Toluqueño que presenta uno de los más altos porcentajes de pérdida de sólidos, cuyas tortillas no presentan textura suave y presentan valores bajos de humedad y de rendimiento. De igual manera la norma para maíz destinado al proceso de nixtamalización (NMX-FF-034/1-SCFI-2002), incluye como variable de calidad del grano, la pérdida de sólidos. Las industrias prefieren maíces con pérdidas de sólidos menores al 5%.

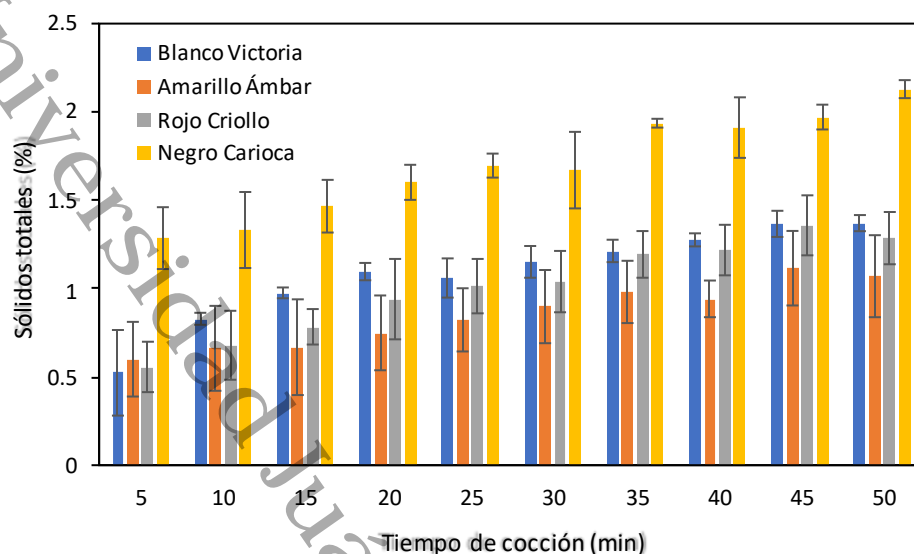


Figura 8. Contenido de sólidos totales del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

En relación con el color de los nejayotes obtenidos en la nixtamalización de los granos de las cuatro variedades de maíz estudiadas, en las Figuras 9, 10 y 11, se muestran la luminosidad (coordenada de color L del sistema CieLab), las tonalidades rojizo-verdozas (coordenada a) y amarillo-azuladas (coordenada b) de estas aguas residuales, respectivamente. En la Figura X, se puede apreciar que la mayor luminosidad se obtuvo en el nejayote de la variedad Negro Carioca, mientras que los menores valores fueron presentados en las aguas de la variedad Rojo Criollo. Con respecto al tiempo de nixtamalización, en la misma gráfica se observa que la luminosidad se mantiene sin cambios significativos para las cuatro variedades de maíz, independientemente del tiempo de cocción.

Para las variedades de maíz Blanco Victoria, Amarillo Ámbar y Rojo Criollo, se aprecian para la coordenada de color *a* (Figura 10), valores positivos relacionados con tonalidades rojizas, mientras que para la variedad Negro Carioca predominan las tonalidades verdes (valores negativos). Con respecto al tiempo de nixtamalización, se observó para esta coordenada de color, que las tonalidades rojizo-verdozas disminuyen dependiendo del tiempo de cocción.

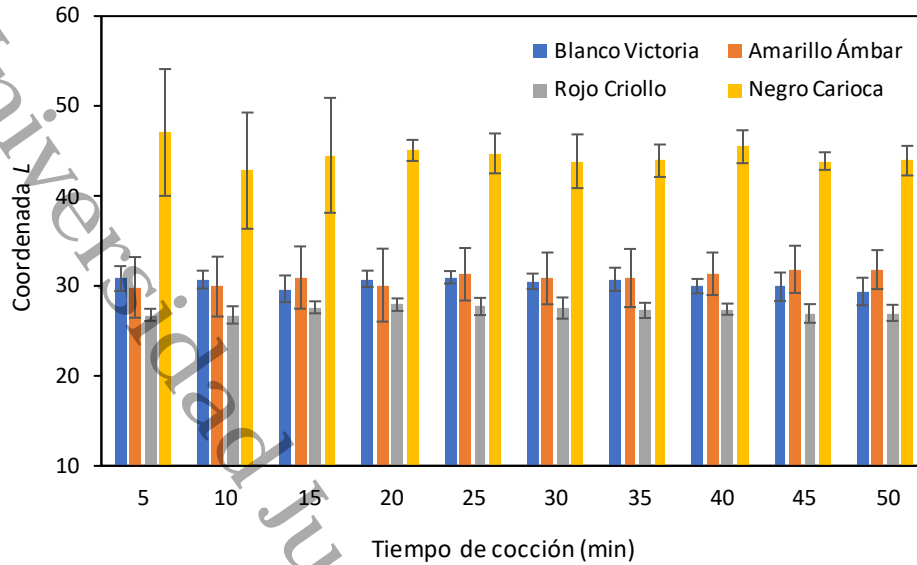


Figura 9. Luminosidad (coordenada L del sistema CieLab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

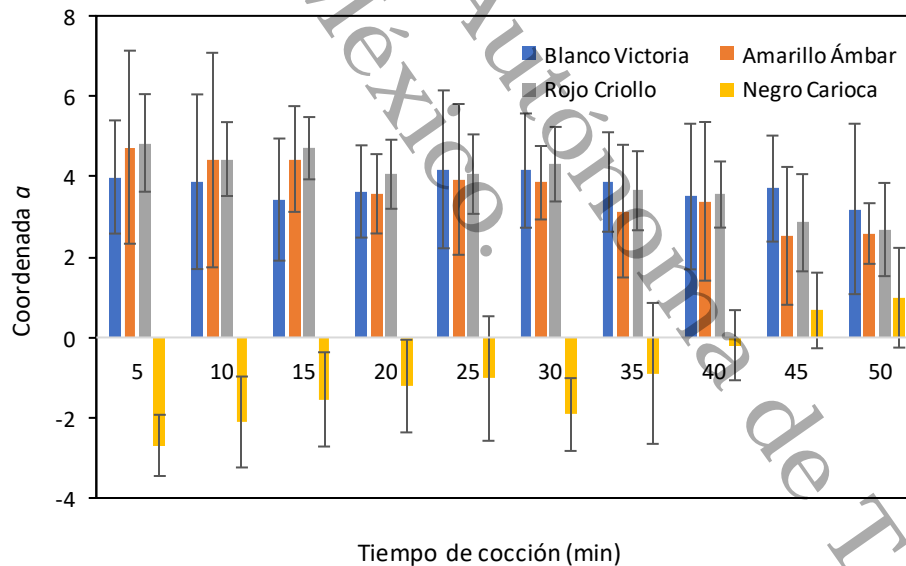


Figura 10. Coloración rojizo-verdosa (coordenada a del sistema CieLab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

En la Figura 11, se puede apreciar que el nejayote de la variedad Negro Carioca presentó también los mayores valores positivos para la coordenada b, relacionados con la coloración amarilla de sus aguas residuales; seguido de las variedades Amarillo Ámbar y Blanco

Victoria; los menores valores fueron presentados en las aguas residuales de la variedad de maíz Rojo Criollo. Para esta coordenada de color se observó una disminución en la coloración amarilla de las aguas residuales con respecto al tiempo de cocción.

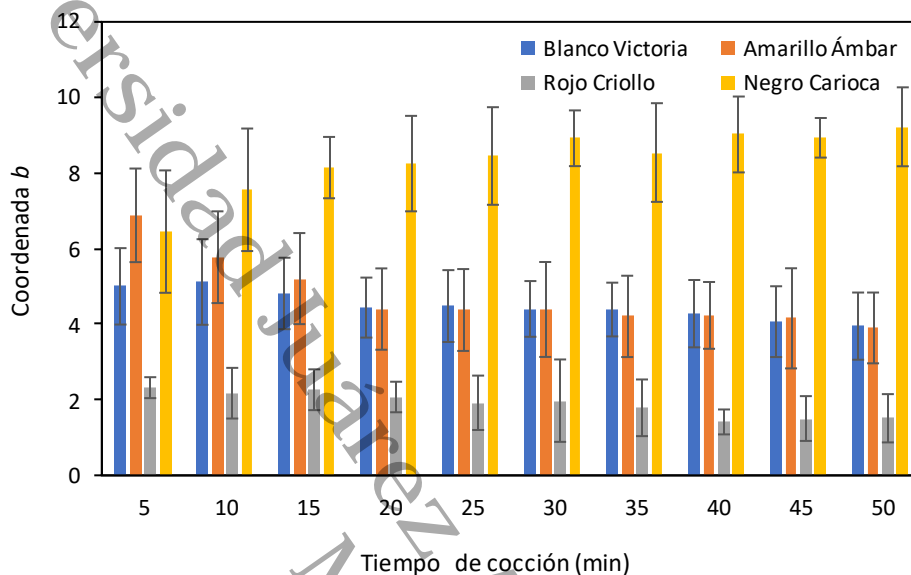


Figura 11. Coloración amarillo-azulada (coordenada b del sistema Cielab) del Nejayote obtenido en la nixtamalización de los granos, a diferentes tiempos de cocción, a una temperatura de 92 °C, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

En relación con lo anterior, en un estudio realizado por Buitimea-Cantúa *et al.* (2019) se encontró, al evaluar el color de nejayotes de maíz blanco a los 0 y 12 meses de almacenamiento, incrementos en los valores obtenidos para la coordenada L , mientras que las coordenadas a y b disminuyeron con el paso del tiempo.

En la Tabla 5 se muestran el volumen, peso, sólidos totales y pH, de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz obtenidos, a los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización: Amarillo Ámbar, 45 minutos; Blanco Victoria, 40 minutos; Rojo Criollo, 35 minutos y Negro Carioca, 30 minutos. En correspondencia con los resultados mostrados con anterioridad (Figuras 6, 7 y 8), se observa que los menores valores para peso y volumen de nejayote, así como los mayores porcentajes de sólidos totales y pH, fueron obtenidos en el nejayote de los granos de maíz Negro Carioca. No obstante y como se mencionó también con anterioridad (Figura 4), no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de

humedad en los nixtamales obtenidos para las diferentes variedades de maíz, a estos tiempos de cocción (Blanco Victoria, 49.67 ± 1.22 ; Amarillo Ámbar, 47.64 ± 0.86 ; Rojo Criollo, 47.98 ± 0.12 y Negro Carioca, 48.86 ± 1.20).

Tabla 5. Volumen, peso, humedad, sólidos totales y pH, de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz obtenidos, a los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización*

Variedad	Volumen (mL)	Peso (g)	Sólidos Totales (%)	pH
Blanco Victoria	104.6 ± 0.5^b	104.0 ± 0.7^b	0.99 ± 0.06^b	9.33 ± 0.32^{ab}
Amarillo Ámbar	104.8 ± 0.4^b	103.8 ± 0.4^b	0.80 ± 0.12^{ab}	8.76 ± 0.40^a
Rojo Criollo	102.0 ± 5.2^b	100.7 ± 5.8^b	0.72 ± 0.02^a	9.16 ± 0.11^a
Negro Carioca	97.7 ± 1.2^a	96.7 ± 1.2^a	1.01 ± 0.14^b	9.83 ± 0.28^b

Medias \pm Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$). *Amarillo Ámbar, 45 minutos; Blanco Victoria, 40 minutos; Rojo Criollo, 35 minutos y Negro Carioca, 30 minutos.

Tabla 6. Valores medios para las coordenadas de color en el sistema HunterLab (L^* , a^* y b^*), de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz obtenidos, a los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización**

Variedad	L^*	a^*	B^*
Blanco Victoria	29.97 ± 0.80^{ab}	3.50 ± 1.81^a	4.28 ± 0.89^b
Amarillo Ámbar	31.83 ± 2.63^b	2.52 ± 1.72^a	4.16 ± 1.32^b
Rojo Criollo	27.27 ± 0.85^a	3.65 ± 0.98^a	1.79 ± 0.75^a
Negro Carioca	43.35 ± 2.99^c	-1.92 ± 0.91^b	8.92 ± 0.74^c

Medias \pm Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$). **Amarillo Ámbar, 45 minutos; Blanco Victoria, 40 minutos; Rojo Criollo, 35 minutos y Negro Carioca, 30 minutos.

En la Tabla 6 se aprecian las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , de los nejayotes obtenidos de las cuatro variedades de maíz, a los tiempos de cocción elegidos para la nixtamalización (Amarillo Ámbar, 45 minutos; Blanco Victoria, 40 minutos; Rojo Criollo, 35 minutos y

Negro Carioca, 30 minutos). En dicha Tabla se muestra que los nejayotes de las cuatro variedades, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las tres coordenadas de color. Como puede observarse, el nejayote de la variedad Negro Carioca mostró la mayor luminosidad, el menor valor en la coordenada a^* y el mayor valor en la coordenada b^* , valores relacionados con su coloración más amarilla y brillante, en comparación con la de los demás nejayotes.

8.4 Potencial nutracéutico de los nejayotes

El nejayote, además de contener partes del hidrolizado del grano (pericarpio, germen y endospermo), por las que es rico en carbohidratos, proteínas y calcio; es fuente de fitoquímicos como carotenoides y compuestos fenólicos, entre los que destacan los flavonoides, antocianinas y derivados del ácido hidroxicinámico (ácidos ferúlico, cumárico, dehidrodiferúlico y dehidrotriferúlico); cuyas aplicaciones potenciales incluyen su utilización como aditivos alimentarios en productos de panadería y en bebidas con capacidad antioxidante y antiinflamatoria (Buitimea-Cantúa *et al.*, 2019; Villela-Castrejón *et al.*, 2017b; Serna-Saldivar *et al.*, 2015). Sin embargo, algunas investigaciones han demostrado diferencias significativas en el perfil fitoquímico para diferentes genotipos de maíz (López-Martínez y García-Galindo, 2009; de la Parra *et al.*, 2007). Además, durante el proceso de cocción el perfil fitoquímico y por lo tanto la actividad antioxidante, puede aumentar o disminuir, dependiendo de la naturaleza química de los compuestos involucrados (Serna-Saldivar *et al.*, 2013; Adom y Liu, 2002).

Las concentraciones de compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas, así como la capacidad antioxidante de los sólidos de nejayote, para cada una de las cuatro variedades de maíz estudiadas en esta investigación, se muestran en la Tabla 7. En dicha Tabla se aprecia que los sólidos de nejayote de las variedades de maíz evaluadas, mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los cuatro parámetros analizados. Como puede observarse, los sólidos del nejayote de la variedad Amarillo Ámbar mostraron la mayor concentración de compuestos fenólicos, seguido por la variedad Negro Carioca, mientras que las menores concentraciones fueron para las variedades Blanco Victoria y Rojo Criollo. De la misma

manera, la variedad Amarillo Ámbar presentó la mayor capacidad antioxidante, seguida por las variedades Negro Carioca, Blanco Victoria y finalmente, la variedad Rojo Criollo. Así, para las cuatro variedades de maíz evaluadas, aquellas que presentaron la mayor concentración de compuestos fenólicos, también presentaron la mayor capacidad antioxidante.

Tabla 6. Contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante en los sólidos totales de nejayote de las cuatro variedades de maíz

Variedad	Fenoles totales ¹	Flavonoides ²	Antocianinas ³	Capacidad antioxidante ⁴
Blanco Victoria	7157.06 ± 42.18 ^a	155.47 ± 3.10 ^a	8.35 ± 0.47 ^a	186.90 ± 13.80 ^{ab}
Amarillo Ámbar	9348.09 ± 171.78 ^c	201.76 ± 20.21 ^b	15.92 ± 0.62 ^b	229.82 ± 18.95 ^b
Rojo Criollo	7189.21 ± 113.60 ^a	444.39 ± 6.69 ^c	136.22 ± 4.49 ^c	136.91 ± 16.36 ^a
Negro Carioca	7537.51 ± 193.03 ^b	140.37 ± 23.68 ^a	10.74 ± 1.42 ^{ab}	201.88 ± 50.22 ^{ab}

Medias ± Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

¹mg de ácido gálico/100 g de sólidos totales de nejayote. ²mg de quercetina/100g de sólidos totales de nejayote. ³mg de cianidina-3-glucósido/100 g de sólidos totales de nejayote. ⁴µmoles de Trolox/g de sólidos totales de nejayote.

En concordancia con estos resultados, de la Parra *et al.* (2007) reportan las concentraciones más altas de compuestos fenólicos y la mayor actividad antioxidante en un genotipo de maíz con alto contenido de carotenoides, seguido del maíz amarillo regular; mientras que el maíz blanco presentó la menor concentración de fenoles totales y la menor actividad antioxidante. Aunque dicho estudio se realizó a los granos de maíz (crudos y nixtamalizados), no así a los nejayotes producto de su nixtamalización, varios estudios han demostrado que en los cereales como el maíz, la mayoría de los compuestos fenólicos están unidos a las estructuras de la pared celular, de manera que la nixtamalización provoca pérdidas muy importantes de dichos compuestos que migran hacia el nejayote; el tratamiento alcalino del maíz hidroliza parcialmente las fracciones de hemicelulosa y lignina ricas en fenoles, de forma que la

hidrólisis química libera y solubiliza fenoles que se filtran al agua de cocción (González *et al.*, 2004; Sosulski *et al.*, 1982).

Se sabe que los compuestos fenólicos en los granos de maíz, son los principales contribuyentes de su actividad antioxidante (Adom y Liu, 2002); así como también que la actividad antioxidante de los mismos disminuye después de su cocción con cal (de la Parra *et al.*, 2007); estos autores reportan una disminución de aproximadamente un 30 % de la actividad antioxidante de los granos crudos, en comparación con la actividad antioxidante en la masa obtenida, después de su nixtamalización, debido a la liberación de estos compuestos a las aguas de cocimiento. Todo esto concuerda con nuestros resultados, mostrados en la Tabla 7.

El contenido de flavonoides en los sólidos totales de nejayote osciló entre 444.39 y 140.37 mg de quercetina por cada 100 g; correspondiendo el mayor contenido de flavonoides a los sólidos del nejayote de la variedad de maíz Rojo Criollo, seguido por la variedad Amarillo Ámbar, mientras que el menor contenido lo presentaron las variedades Negro Carioca y Blanco Victoria. Un comportamiento similar se observó para el contenido de antocianinas, en el que los valores oscilaron entre 136.22 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g de sólidos en la variedad Rojo Criollo y 8.35 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g para el maíz Blanco Victoria.

En relación con lo anterior, autores como Quintanilla-Rosales *et al.* (2017) determinaron el contenido de flavonoides y antocianinas en cinco genotipos de maíz criollo pigmentado, de coloraciones morado y morado-rojizo, encontrando valores de 741.8 a 570.9 mg equivalentes de catequina por cada 100 g de grano y de 51.3 a 33.8 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido por cada 100 g, respectivamente. Por su parte, López-Martínez *et al.* (2010) determinaron el contenido de antocianinas de distintas variedades de maíz mexicano, encontrando que su contenido varió entre 2052.75 y 1.54 mg por cada 100 g de harina de maíz; siendo los maíces morados y negros los que presentaron los mayores valores en antocianinas, los menores valores correspondieron a los maíces amarillos y blancos, mientras que los maíces rojos presentaron valores de entre 431 y 127 mg por cada 100 g de harina. Es así que los valores encontrados en nuestra investigación para el contenido de flavonoides y antocianinas en los sólidos del nejayote de la variedad de maíz Rojo Criollo, son similares a

los encontrados por los autores anteriormente citados para los granos de maíces rojos o morado-rojizos, lo que demuestra que dichos sólidos de nejayote podrían ser utilizados como una fuente importante de flavonoides y antocianinas.

De acuerdo con de la Parra *et al.* (2017), una cantidad considerable de las antocianinas presentes en los granos de maíz (principalmente en la capa de aleurona y el pericarpio), se pierden durante la cocción alcalina por lixiviación al nejayote. De acuerdo con los resultados obtenidos por dichos autores, los granos nixtamalizados de maíces blanco, amarillo, rojo y azul, perdieron aproximadamente 21, 54, 23 y 93 % de las antocianinas presentes en sus respectivos granos crudos. Dichos resultados muestran que las pérdidas varían según el tipo de maíz.

En relación con el potencial nutracéutico de los nejayotes obtenidos de la nixtamalización de las variedades de maíz Blanco Victoria, Amarillo Ámbar, Rojo Criollo y Negro Carioca, podemos indicar que en todos los casos se obtienen cantidades importantes de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, que contribuyen a su actividad antioxidante; además de estar documentados sus efectos biológicos benéficos, por lo que estos nejayotes pueden ser considerados una fuente potencial de dichos ingredientes funcionales para el enriquecimiento de alimentos.

8.5 Propiedades fisico-químicas y potencial nutracéutico de los polvos de nejayotes secados por aspersión

El nejayote, rico en fibra dietética, calcio, compuestos fenólicos, carotenoides y otros fitoquímicos, puede ser utilizado como aditivo alimentario pero, al contener grandes cantidades de agua es necesario separar estos compuestos del medio acuoso, siendo una alternativa el secado por aspersión (Villela-Castrejón *et al.*, 2017).

En las Figuras 12, 13 y 14, se muestran las coordenadas de color L* (Luminosidad) a* (tonalidades rojizo-verdozas) y b* (tonalidades amarillo-azuladas), respectivamente, de los polvos obtenidos del secado por aspersión de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz estudiadas. En las Figuras 12 y 13 se puede observar que hay diferencia estadística ($p \leq 0.05$) para estas coordenadas de color (L* y a*) en el maíz Rojo Criollo; variedad que presentó la

menor luminosidad en los polvos obtenidos, en comparación con las demás variedades de maíz; esta misma variedad de maíz fue la que mostró el mayor valor positivo en a^* , mientras que las otras tres variedades evaluadas presentaron para esta coordenada valores negativos. En relación con la coordenada b^* (Figura 14), no se observaron diferencias estadísticas entre los valores positivos, obtenidos en las distintas variedades de maíz.

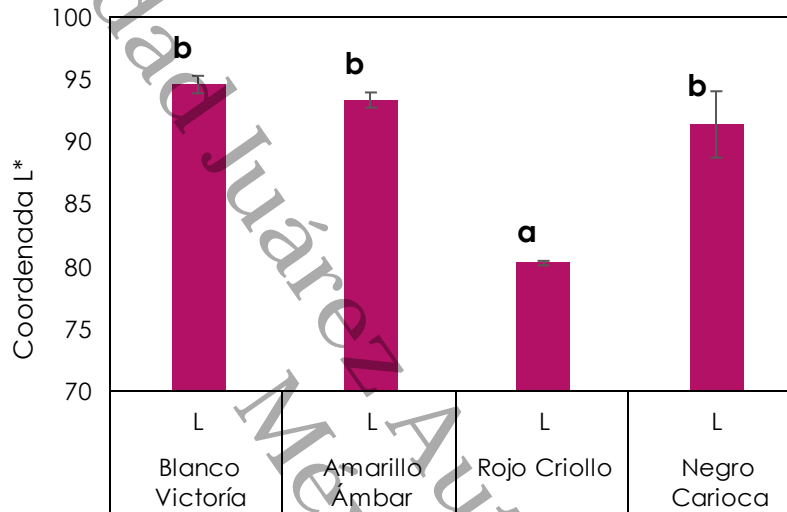


Figura 12. Luminosidad (coordenada L^* del sistema Cielab) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

Estos resultados están relacionados con la tonalidad ligeramente rojiza de los polvos de nejayote del maíz Rojo Criollo y las tonalidades amarillas de los polvos de nejayote de los maíces Blanco Victoria, Amarillo Ámbar y Negro Carioca. En este sentido, Arrazola *et al.* (2013) reportaron una correlación positiva entre los mayores valores obtenidos para la coordenada a^* y el mayor contenido de antocianinas para diferentes variedades de maíz.

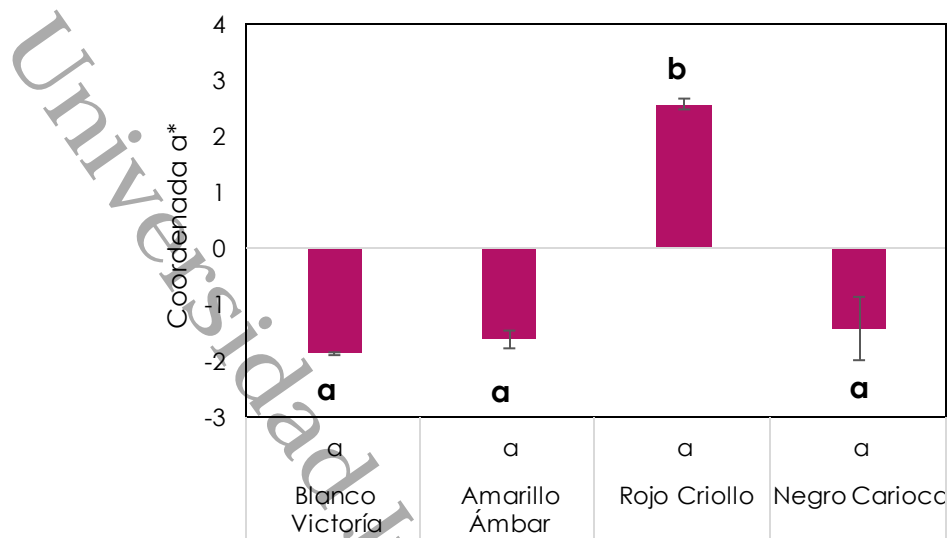


Figura 13. Coloración rojizo-verdoza (coordenada a* del sistema CieLab) de los polvos de Nejayote secados por aspersion, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

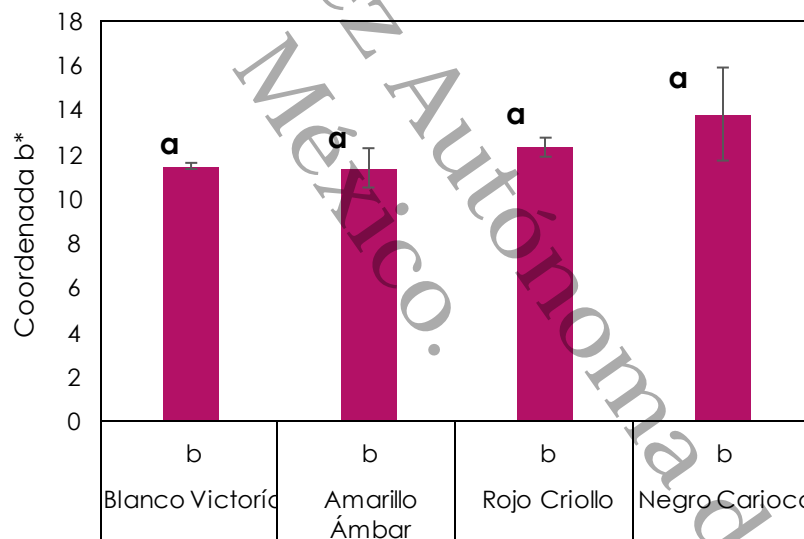


Figura 14. Coloración amarillo-azulada (coordenada b* del sistema CieLab) de los polvos de Nejayote secados por aspersion, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

Al comparar los resultados obtenidos para las coordenadas L*, a* y b* en los polvos de los nejayotes secados por aspersion y sus correspondientes nejayotes antes del secado tenemos diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para las tres coordenadas de color; obteniendo que los polvos en todos los casos presentaron valores superiores en las coordenadas L* y b*, e inferiores en a*; lo que indica una mayor luminosidad y una mayor

tonalidad amarilla en los polvos obtenidos, en relación con el nejayote; así como una disminución en la tonalidad rojiza.

En la Figura 15 se muestran los resultados obtenidos para la actividad de agua (aw) de los polvos obtenidos del secado por aspersión de los nejayotes de las cuatro variedades de maíz. Todos los polvos presentaron una baja actividad de agua, que osciló entre 0.14 para el maíz Negro Carioca y 0.16 para la variedad Blanco Victoria. Valores inferiores a 0.60, que garantiza la estabilidad durante el almacenamiento, evita la proliferación microbiana y la degradación de los compuestos fenólicos (Sadowska *et al.*, 2019; Hamed *et al.*, 2015).

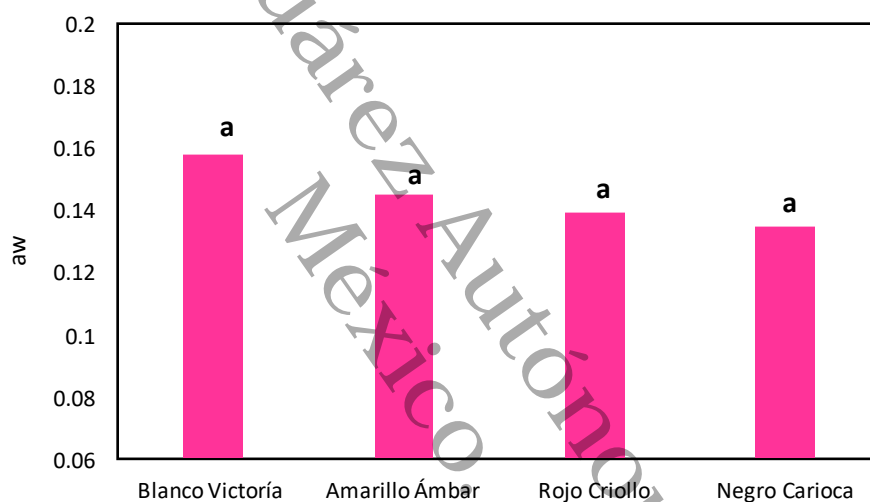


Figura 15. Actividad de agua (aw) de los polvos de Nejayote secados por aspersión, para las cuatro variedades de maíz estudiadas.

La Tabla 8, muestra las concentraciones de compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas, así como la capacidad antioxidante de los sólidos de nejayote secados por aspersión, para cada una de las cuatro variedades de maíz evaluadas; también aquí se puede apreciar que hay diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los cuatro parámetros analizados, entre las diferentes variedades de maíz. En la Tabla 8 se observa que, en correspondencia con los resultados obtenidos para los sólidos totales de los nejayotes (Figura 6), después del secado por aspersión los sólidos del nejayote de la variedad Amarillo Ámbar mostraron también la mayor concentración de compuestos fenólicos, así como la mayor actividad antioxidante, en

comparación con los polvos obtenidos a partir de las otras tres variedades de maíz evaluadas. De la misma forma, los sólidos del nejayote de la variedad Rojo Criollo mostraron, después del secado por aspersión, las mayores concentraciones de flavonoides y antocianinas en comparación con las otras variedades de maíz estudiadas. Por otra parte, las menores concentraciones de fenoles totales y flavonoides, así como la menor capacidad antioxidante, se observaron en los sólidos del nejayote de la variedad Negro Carioca, después del secado; mientras que el menor contenido de antocianinas fue para el maíz Blanco Victoria.

Tabla 7. Contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante en los sólidos totales de nejayote de las cuatro variedades de maíz secados por aspersión.

Variedad	Fenoles totales ¹	Flavonoides ²	Antocianinas ³	Capacidad antioxidante ⁴
Blanco Victoria	4834.20 ± 185.67 ^b	81.82 ± 2.05 ^b	8.82 ± 0.07 ^a	143.01 ± 5.58 ^b
Amarillo Ámbar	7813.62 ± 482.02 ^c	107.90 ± 1.68 ^c	21.36 ± 0.89 ^b	212.71 ± 5.47 ^c
Rojo Criollo	7206.88 ± 97.15 ^c	230.47 ± 3.77 ^d	111.48 ± 6.86 ^c	144.64 ± 6.41 ^b
Negro Carioca	3770.01 ± 259.17 ^a	53.19 ± 6.05 ^a	12.60 ± 0.27 ^{ab}	89.14 ± 5.46 ^a

Medias ± Desviación estándar. Valores con diferente letra en columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

¹mg de ácido gálico/100 g de sólidos totales de nejayote. ²mg de quercetina/100g de sólidos totales de nejayote. ³mg de cianidina-3-glucósido/100 g de sólidos totales de nejayote. ⁴µmoles de Trolox/g de sólidos totales de nejayote.

Las retención de compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante, en los polvos de los nejayotes secados por aspersión, mostró valores máximos promedio de 75, 49, 100 y 80 %, respectivamente; observándose la mayor retención de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, en los polvos obtenidos de la variedad Amarillo Ámbar, mientras que la mayor retención de flavonoides y antocianinas se obtuvo en los polvos de la variedad Rojo Criollo. Las mayores pérdidas se presentaron en los polvos de la variedad negro Carioca.

En la Tabla 9 se muestra la correlación de Pearson para las coordenadas de color (L^* , a^* y b^*) y compuestos nutraceuticos (fenoles totales, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante) en los nejayotes. En dicha Tabla se observa una fuerte correlación positiva entre la coordenada de color a^* y el contenido de flavonoides (0.94) y antocianinas (0.98) de los nejayotes; así como una fuerte correlación negativa entre la coordenada L^* y estos mismos compuestos nutraceuticos (flavonoides, -0.89 y antocianinas, -0.96). Esto nos indica que a mayor valor en L^* , el contenido de antocianinas es menor y, a menor valor de L^* será mayor el contenido de antocianinas. Mientras que a mayor valor en la coordenada a^* , se tendrá un mayor contenido de flavonoides y antocianinas. En base a lo anterior podemos decir que los polvos de nejayote con tonalidades más rojas y de menor luminosidad, tendrán un mayor contenido de flavonoides y antocianinas.

Tabla 8. Correlación de Pearson para las coordenadas de color y compuestos nutraceuticos en los nejayotes

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
L^*	Fenoles Totales	12	-0.38	0
L^*	Flavonoides	12	-0.89	0
L^*	Antocianinas	12	-0.96	0
L^*	Capacidad antioxidante	12	0.16	0.15
a^*	Fenoles Totales	12	0.44	0
a^*	Flavonoides	12	0.94	0
a^*	Antocianinas	12	0.98	0
a^*	Capacidad antioxidante	12	-0.08	0.28
b^*	Fenoles Totales	12	-0.40	0.8
b^*	Flavonoides	12	-0.14	0.94
b^*	Antocianinas	12	0.00	0.85
b^*	Capacidad antioxidante	12	-0.65	0

8.6 Concentración de maltodextrina y pérdidas de los compuestos bioactivos durante el secado por aspersión

El secado por aspersión, junto con la adición de agentes encapsulantes como las maltodextrinas, protege a los compuestos bioactivos de la oxidación, siendo uno de los métodos de elección para el secado de compuestos termosensibles (Villela-Castrejón *et al.*; 2017). Las maltodextrinas han sido utilizadas como agentes encapsulantes en el secado por

aspersión de aceites de pescado o mandarina, de oleorresinas de canela o cardamomo, de extractos, pigmentos vegetales, pulpas o zumos de frutas e hidrolizados proteicos, mejorando el proceso de secado, así como la estabilidad del producto durante el almacenamiento. No obstante las ventajas de agregar un agente encapsulante, la adición de una cantidad mínima es deseable para evitar cambios en las propiedades del producto y disminuir su costo.

En las Figuras 16 a la 19, se muestran las concentraciones de compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas, así como la capacidad antioxidante, en los sólidos de nejayote obtenidos del secado por aspersión, a diferentes concentraciones de maltodextrina (1:5, 1:7.5 y 1:10), para las variedades de maíz Rojo Criollo y Negro Carioca. Estos resultados muestran el efecto significativo ($p \leq 0.05$) de la concentración de maltodextrina, en el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de los polvos de nejayote.

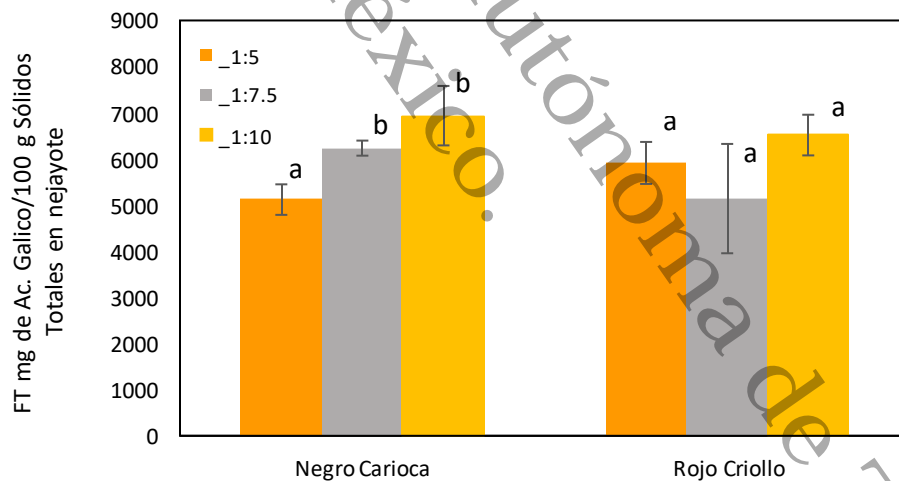


Figura 16. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de compuestos fenólicos totales en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.

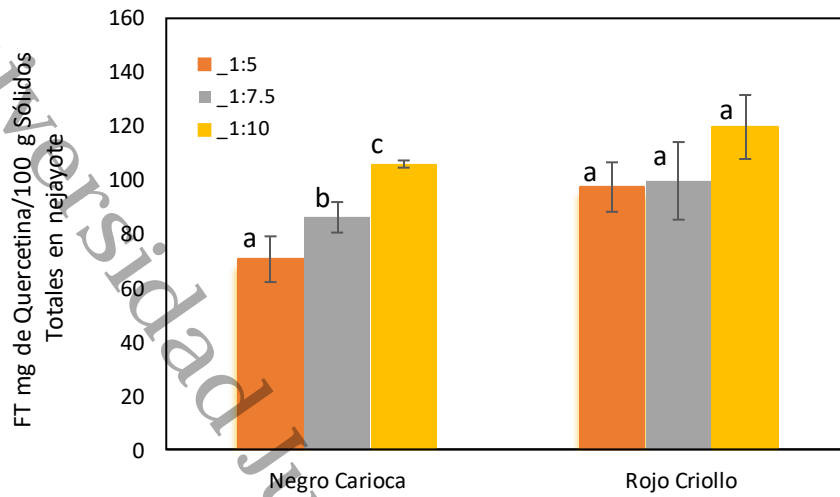


Figura 17. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de flavonoides totales en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.

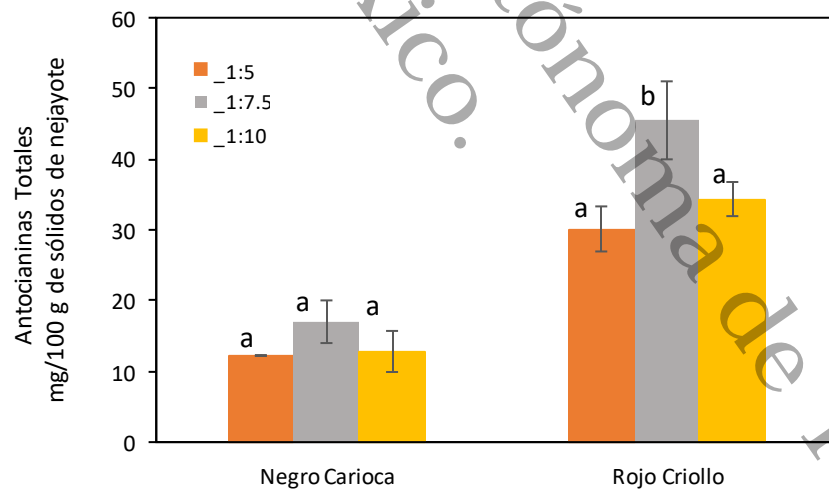


Figura 18. Efecto de la concentración de maltodextrina en el contenido de antocianinas en los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.

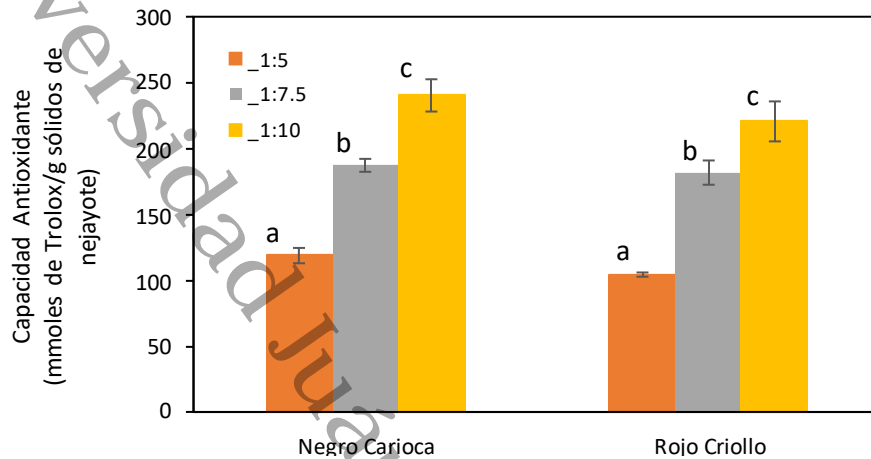


Figura 19. Efecto de la concentración de maltodextrina en la capacidad antioxidante de los sólidos totales del nejayote secado por aspersión, de las variedades de maíz Negro Carioca y Rojo Criollo.

En concordancia con estos resultados, Vilela-Castrejón *et al.* (2017) reportan para el secado por aspersión de nejayote obtenido de maíz blanco, incrementos en la recuperación de los ácidos fenólico y dihidro-diferúlico, del 84.55 al 102.80 %, y del 73.38 al 91.10 %, respectivamente, al utilizar maltodextrina, en comparación con el secado sin el agente encapsulante. Otros investigadores reportan que, al incrementar la cantidad de maltodextrina adicionada decrece el porcentaje de fenoles totales en el producto final, aunque esta disminución se debe únicamente al efecto de dilución (Caliskan y Dirim, 2013).

IX. Conclusiones

Aún cuando los granos de maíz evaluados NC, AA, BV y RC, presentaron diferentes valores de dureza inicial, de 165.57, 199.58, 222.87 y 232.19 N, respectivamente; la nixtamalización a diferentes tiempos de cocción, 45, 40, 35 y 30 min para las variedades AA, BV, RC y NC, respectivamente; permitió la obtención de nixtamales con humedad y dureza similares. En relación con las propiedades nutraceuticas de los nejayotes, los sólidos del nejayote de la variedad AA mostraron la mayor concentración de compuestos fenólicos (9348.09 mg de ácido gálico/100 g), así como la mayor capacidad antioxidante (229.82 μ moles de Trolox/g), seguido por la variedad NC, mientras que los menores valores se obtuvieron en las variedades BV y RC. El contenido de flavonoides osciló entre 444.39 y 140.37 mg de quercetina por cada 100 g de sólidos totales de nejayote; correspondiendo el mayor contenido a la variedad RC, seguido por la variedad AA, mientras que el menor contenido lo presentaron las variedades NC y BV. Un comportamiento similar se observó para el contenido de antocianinas, en el que los valores oscilaron entre 136.22 y 8.35 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g de sólidos, en las variedades RC y BV, respectivamente. La retención de compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante, en los polvos de los nejayotes secados por aspersión, mostró valores máximos promedio de 75, 49, 100 y 80 %, respectivamente; observándose el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (7813.62 mg de ácido gálico/100 g) y la mayor capacidad antioxidante (212.71 μ moles de Trolox/g), en los polvos obtenidos de la variedad AA; mientras que la mayor concentración de flavonoides (230.47 mg de quercetina/100g) y antocianinas (111.48 mg de cianidina-3-glucósido por cada 100 g) se obtuvo en los polvos de la variedad RC. Mayores incrementos en la retención de los compuestos bioactivos se obtuvieron en los polvos de los nejayotes secados por aspersión, al utilizar mayores concentraciones de maltodextrina. Se concluye que ocurre la difusión de compuestos potencialmente nutraceuticos de los maíces a los nejayotes, mismos que son retenidos en los polvos obtenidos del secado por aspersión.

X. Perspectivas

En este trabajo de Tesis se obtuvo información relevante en relación con las concentraciones de compuestos nutraceuticos en los nejayotes, aportaciones relevantes para la Industria alimentaria y farmaceutica, que abonan a la disminucion del descarte sin ninguna utilizacion de esta agua residual de la nixtamalización de los granos de maiz. Valdría la pena cuantificar que tanto disminuye la contaminación por estos efluentes al utilizarlos con estos fines.

Respecto a las dosis encontradas en los polvos de Nejayotes, previamente secados por aspersión, se sugiere ampliar la evaluación a más nejayotes de maices pigmentados, de otras regiones de la República Mexicana, puesto que en este trabajo solo se incluyeron cuatro variedades de maices provenientes de Toluca, Estado de México.

Cabe mencionar que dentro de los compuestos nutraceuticos, no se determinaron los arabinoxilanos, compuestos importantes ya que son fibras naturales que ayudan a una mejor digestión.

También sería de interés determinar el contenido de carotenoides, así como la correlación entre el color y estos compuestos, en estos y otras tantas variedades de maiz. Realizar un análisis estadístico de comparación de medias en donde se determine, cual maiz tiene el mayor contenido de carotenoides. Y esto es importante ya que la bibliografía reporta una relación de estos compuestos con la actividad antioxidante, de gran relevancia en beneficio de la salud humana.

Además, se sugiere continuar con la investigación de las propiedades nutraceuticas de los nejayotes, sus concentraciones en los estos polvos y su posible empleo y efectividad para contrarrestar enfermedades de impacto social como el cáncer y la Covid-19, entre otras enfermedades.

XI. Bibliografía

- Abdel-Aal, E., Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3):350-354.
- Acosta-Estrada, B. A., Lazo-Vélez, M. A., Nava-Valdez, Y., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*, 60(1):264-269.
- Adom, K. K., Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21):6182-6187.
- Alzaabi, M. M., Hamdy, R., Ashmawy, N. S., Hamoda, A. M., Alkhatat, F., Khademi, N. N., y Soliman, S. S. (2022). Flavonoids are promising safe therapy against COVID-19. *Phytochemistry Reviews*, 21(1):291-312.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists.
- Arámbula-Villa, G., Méndez-Albores, J. A., González-Hemández, J., Gutiérrez-Arias, E., Moreno-Martínez, E. (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.
- Arazola, G., Herazo, I., Alvis, A. (2013). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. *Información tecnológica*, 25(3):31-42.
- Ayala-Soto, F., Serna-Saldívar, S., García-Lara, S., Pérez-Carrillo. (2014). Hydroxycinnamic acids, sugar composition and antioxidant capacity of arabinoxylans extracted from different maize fiber sources. *Food Hydrocolloids*, 35:471-475.
- Bakowska-Barczaka, A. M., Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34:1301-1309.
- Badui-Dergal, S. (2006). Pigmentos. *Química de los Alimentos*. (401-439). México: Pearson Educación.
- Berlanga-Reyes, C., Guerrero-Elias, H. Y., Ignacio-Pacheco, M., Contreras-Jacquez, V., Camacho-Ruiz, R., Mateos-Díaz, J. C., Nevárez-Moorillón, V., Asaff-Torres, Ali. (2021). Effect of drying method and process conditions on physicochemical and

- rheological properties of arabinoxylans extracted from corn-lime-cooking-liquor on a pilot plant scale. *Food Hydrocolloids*, 119(106819): 1-9.
- Bello-Pérez, L., Camelo-Mendez, G., Agama-Acevedo, E., Utrilla-Coello, R. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8):1041-1063.
- Billeb de Sinibaldi, A. C., Bressani, R. (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(1):86-94.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1):25-30.
- Campechano-Carrera, E., Figueroa-Cárdenas, J., Arámbula-Villa, G., Martínez-Flores, H., Jiménez-Sandoval, S., Luna-Bárceñas, J. (2012). New ecological nixtamalization process for tortilla production and its impact on the chemical properties of whole corn flour and wastewater effluents. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(3):564-571.
- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1):135-148.
- Carvajal-Millán, E. (2007). Una alternativa para convertir un residuo del proceso de “nixtamalización” del maíz en un producto de alto valor agregado. *Tecnociencia*, 1(2):4-5.
- Castillo V. K. C., Ochoa M. L. A., Figueroa C. J. D., Delgado L. E., Gallegos I. J. A., Morales C. J. (2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(4):425-432.
- Castro-Muñoz, R., Fíla, V., Durán-Páramo, E. (2019). A Review of the Primary By-product (Nejayote) of the Nixtamalization During Maize Processing: Potential Reuses. *Waste and Biomass Valorization*, 10(1):13-22.
- Castro-Muñoz, R., Orozco-Álvarez, C., Cerón-Montes, G., Yáñez-Fernández, J. (2015). Characterization of the microfiltration process for the treatment of nixtamalization wastewaters. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 7(1):23-34.
- Castro-Muñoz, R., Orozco-Álvarez, C., Cerón-Montes, G., Yáñez-Fernández, J. (2015). Recovery of carbohydrates from nixtamalization wastewaters (nejayote) by ultrafiltration. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(3):735-744.
- Chen, J., Xu, B., Sun, J., Jiang, X., Bai, W. (2022). Anthocyanin supplement as a dietary strategy in cancer prevention and management: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(26):7242-7254.

- Chimbiba, J., Pratt, R., Cuellar, M., Delgado E. (2019). Quality Parameters of Masa and Tortillas Produced from Blue Maize (*Zea mays* sp. mays) Landraces. *Journal of Food Science*, 84(2):213-223.
- CONABIO. (2021). Razas de maíz de México. Noviembre 8, 2021, Biodiversidad Mexicana Sitio web:
<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Columba de La Parra, S. (2006). Efecto de la nixtamalización de cinco tipos de maíces coloreados sobre el perfil fitoquímico, capacidad antioxidante y absorción de carotenoides en células caco 2. Tesis para obtener el grado de maestra en ciencias especialidad en biotecnología. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Cruzado, M., Cedrón, J. C. (2012). Nutraceuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química*, 26(1-2), 33-36.
- Del Angel-Acosta, Y. A., Alvarez, L. H., Garcia-Reyes, R. B., Carrillo-Reyes, J., Garcia-Gonzalez, A., Meza-Escalante, E. R. (2021). Co-digestion of corn (nejayote) and brewery wastewater at different ratios and pH conditions for biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(54):27422-27430.
- De la Parra, C., Serna Saldivar, S. O., Liu, R. H. (2007). Effect of Processing on the Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Corn for Production of Masa, Tortillas, and Tortilla Chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10):4177-4183.
- Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R., Yáñez-Fernández, J. (2016). An overview of nejayote, a nixtamalization byproduct. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2):41-60.
- Douglas, S. G. (1981). A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. *Food Chemistry*, 7:139-145.
- Eberhardt, M. V., Lee, C. Y., Liu, R. H., (2000). Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405(6789): 903-904.
- Escalante-Aburto, A., Mariscal-Moreno, R. M., Santiago-Ramos, D., Ponce-García, N. (2019). An Update of Different Nixtamalization Technologies, and Its Effects on Chemical Composition and Nutritional Value of Corn Tortillas. *Food Reviews International*, 36(5):456-498.
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Barrón-Hoyos, J. M., Figueroa-Cárdenas, J., López-Cervantes, J. (2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Fitotecnia Mexicana*, 36(4):429-437.
- Escribano-Bailón, M. T., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J. C. (2004). Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A*, 1054(1): 129-141.

- Fabela-Morón, M. F. (2017). Secado por Aspersión. En Tecnologías de nano/microencapsulación de compuestos bioactivos (189-199). Jalisco: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A., Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(3):275-283.
- García, M., Monroy, A., Herman, E., Nogueira, T. (2010). Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *Journal of Cereal Science*, 52(3):410-416.
- García-Jiménez, A., Vázquez-Ch, L. (2016). Secado de maíz propiedades del grano. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2):73-77.
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta biológica colombiana*, 13(3):27-36.
- Guillén-de la Cruz, P., de la Cruz-Lázaro, E., Rodríguez-Herrera, S. A., Castañón-Nájera, G., Gómez-Vázquez, A., Lozano-del Río, A. J. (2014). Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2):239-247.
- Guillén-De la Cruz, P., Velázquez-Morales, R., De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R. (2018). Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Agro-Ciencia*, 34(2):108- 117.
- González, R., Reguera, L., Mendoza, J., Figueroa, F., Sánchez-Sinacio, M. (2004). Physicochemical changes in the hull of corn grains during their alkaline cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12):3831-3837.
- Gómez-Galvarriato, A. (2022). La industrialización del nixtamal y la elaboración de la tortilla en México. *Revista Del Instituto Riva-Agüero*, 7(1):231-274.
- Gutiérrez-Urbe, J. A., Rojas-García, C., García-Lara, S., Serna-Saldivar, S.O. (2010). Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *Journal of Cereal Science*, 52(3):410-416.
- Gutiérrez Zavala, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1).
- Guzmán-Rodríguez, F. J., Peña-Reyes, R. A., Gómez-Ruiz, L., Ramírez-Romero, G. A., y Cruz-Guerrero, A. E. (2022). Evaluation of nixtamalization temperature and adding nejayote solids on textural and color properties of dough and tortillas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(2):1-11.
- Herrera-Balandrano, D. D., Báez-González, J. G., Carvajal-Millán, E., Muy-Rangel, D., Urías-Orona, V., Martínez-López, A. L., Márquez-Escalante, J. A., Heredia J., Beta,

- T., Niño-Medina, G. (2018). Alkali-Extracted Feruloylated Arabinoxylans from Nixtamalized Maize Bran Byproduct: A Synonymous with Soluble Antioxidant Dietary Fiber. *Waste and Biomass Valorization*, 11:403-409.
- Herrera-Balandrano, D. D. (2019). Evaluación funcional y antioxidante de arabinosilanos ferulados extraídos de pericarpio de maíz (*Zea Mays L.*) obtenidos bajo diferentes condiciones de extracción alcalina. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias de los alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/17021/1/1080240344.pdf>
- Huang, D. Y., Dai, Z. R., Li, W. M., Wang, R. G., Yang, S. M. (2018). Inhibition of EGF expression and NF- κ B activity by treatment with quercetin leads to suppression of angiogenesis in nasopharyngeal carcinoma. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(4):826-831.
- INIFAP. (2020). El maíz, base en la seguridad alimentaria del mundo: Agricultura. Septiembre 29, 2020, de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Sitio web: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/el-maiz-base-en-la-seguridad-alimentaria-del-mundo-agricultura>
- INIFAP. (2020). Maíz azul: coloreando nuestras tradiciones. enero 14, 2020, de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias <https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/maiz-azul-coloreando-nuestras-tradiciones?idiom=es>
- Jiménez-Juárez, J. A., Arámbula-Villa, G., de la Cruz-Lázaro, E., Aparicio-Trapala, M. A. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico Mexicano. *Universidad y Ciencia*, 28(2):145-152.
- Kato-Yamakake, T. A., Mapes-Sánchez, C., Mera-Obando, L. M., Serratos-Hernández, J. A., Bye-Boettler, R. A. (2009). Reseña de nuevo libro: Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. *Fitotecnia Mexicana*, 32(4):1-2.
- Lessur, L. (2005) Manual del cultivo del Maíz. Una guía paso a paso. (11-13) Trillas.
- Liu, R. H., (2004). Potential Synergy of Phytochemicals in Cancer Prevention: Mechanism of Action. *The Journal of Nutrition*, 134(12):34795-34855.
- López-Maldonado, E., Oropeza-Guzmán, M., Suárez-Meraz, K. (2017). Integral use of Nejayote: Characterization, New Strategies for Physicochemical Treatment and Recovery of Valuable By-Products. In R. Farooq, *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. (239-252). Islamabad, Pakistan.
- López-Martínez, L. X., García-Galindo, H. S. (2010). Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova Scientia*, 2(3):51-65.
- Martínez-Flores, H. E., Martínez-Bustos, F., Figueroa, J. D. C., González-Hernández, J. (2002). *Studies and Biological Assays in Corn Tortillas Made From Fresh Masa*

- Prepared by Extrusion and Nixtamalization Processes. *Journal of Food Science*, 67(3):1196-1199.
- Mex-Álvarez, R. M. J., Bolívar-Fernández, N. J., Garma-Quen, P. M., Tut-Heredia, J. A., Romero-Guillén, K. I. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(6):558-571.
- Miravet-Valero, M. G., Alacid-Cárceles, M., Obón-Castro, J. M. (2009). Secado por Atomización de zumo de granada. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Ambiental y Procesos Químicos y Biotecnológicos. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1807/pfm92.pdf?sequence=1>
- Naddaf, L., Avalo, B., Naddaf, O., Avalo, L., Oliveros, M. (2012). Spray-dried natural orange juice encapsulants using maltodextrin and gum arabic. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1):020-027.
- Nogueira, H., (2007). Drying Kinetics and Sorption Isotherms of the Nejayote. *Drying Technology*, 22(9):2173-2182. <https://doi.org/10.1081/DRT-200034237>
- Oas, S. A., Adams, R. A., (2021). The Nutritional Content of Five Southwestern US Indigenous Maize (*Zea Mays* L.) Landraces of Varying Endosperm Type. *American Antiquity*. 1-19 DOI:10.1017/aaq.2021.131
- Oberoi, D. P. S., Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165:172-178.
- Ochoa, A. T., Ramírez-Romero, G., Villaseñor-Flores, G., Viniegra-González, G., Romero-Paredes, H., Ambriz-García, J., Orozco, L., Sánchez, R., Hernández F., Salinas-Moreno, Y. (2009). Temas selectos de la cadena maíz - tortilla. Un enfoque multidisciplinario. Tlalpan, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Pérez Leonard, H. (2006). Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA*, 15(3):20-28.
- Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Escalante-Aburto, A., Torres-Chávez, P. I., & Serna-Saldivar, S. O. (2017). Grading factors of wheat kernels based on their physical properties. *Wheat improvement, management and utilization*, 275.
- Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Serna-Saldivar, S. O., Cortez-Rocha, M. O. (2013). Effect of moisture content on the viscoelastic properties of individual wheat kernels evaluated by the uniaxial compression test under small strain. *Cereal Chemistry*, 90(6).558-563
- Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P., Figueroa-Cárdenas, J., Serna-Saldivar, S., Cortez-Rochab, M, Escalante-Aburto A. (2016). Evaluation of

- viscoelastic properties of conditioned wheat kernels and their doughs using a compression test under small strain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4):1235- 1243.
- Quintanilla-Rosales, V. L., Galindo-Luna, K., Zavala-García, F., Pedroza-Flores, J. A., Heredia, J. B., Urías-Orona, V., Niño-Medina, G. (2017). Fenólicos solubles de tipo flavonoide y capacidad antioxidante en genotipos criollos pigmentados de maíz (*Zea mays*). *ITEA*, 113(4):325-334.
- Ramírez-Jiménez, K., Castro-Munoz, R. (2020). Emerging techniques assisting nixtamalization products and by-products processing: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-14.
- 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.
- Ramírez-Wong, M., Sánchez-Madrigal, A., Quintero-Ramos, F., Martínez-Bustos, C., Meléndez-Pizarro, M., Ruiz-Gutiérrez, G., Camacho-Dávila, A., Torres-Chávez, P. (2014). Effect of different calcium sources on the bioactive compounds stability of extruded and nixtamalized blue maize flours. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5):2701-2710.
- Reyes, D. L. V., Moreno, Y. S., Ramírez, E. B., Pérez, P. S., Loera, M. A. V. (2022). Calidad y aceptación de tortillas de maíces de la Sierra de Manantlán, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (27):81-85.
- Rios-Aguirre, S., Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*. 24(51):1836-2021. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>.
- Rojas-García, C., García-Lara, S., Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. (2012). Chemopreventive effects of free and bound phenolics associated to steep waters (nejayote) obtained after nixtamalization of different maize types. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1):94-9.
- Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., Herrera-Corredor, J. A. (2016) Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en consumo de combustible y cambios fisicoquímicos. *Agrociencia*, 50(6):727-745.
- Rosentrater, K. (2005). A review of corn masa processing residues: Generation, properties, and potential utilization. *Elsevier*, 26(3):284-292.
- Ruiz-Gutiérrez, M. G., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., Talamás-Abbud, R., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., Lardizábal-Gutiérrez, D. (2012). Nixtamalization assisted with ultrasound: effect on mass transfer and physicochemical properties of nixtamal, masa and tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2):265-279.

- Sadowska, A., Rakowska, R., Świdorski, F., Kulik, K., y Hallmann, E. (2019). Properties and microstructure of blackcurrant powders prepared using a new method of fluidized-bed jet milling and drying versus other drying methods. *CyTA - Journal of Food*, 17(1),439-446.
- Saenz, E., Abdala, L. J., Borrás, L., Gerde, J. A. (2020). La dureza del grano de maíz afecta su color independientemente de su concentración de carotenoides. *Agromensajes*. 15-18.
- Salehi, B., Machin, L., Monzote, L., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Salem, M. A., Cho, W. C. (2020). Therapeutic potential of quercetin: new insights and perspectives for human health. *Acs Omega*, 5(20):11849-11872.
- Salinas-Moreno, Y., Soria-Ruiz, J., Espinosa-Trujillo, E., (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. 1-50. DOI: 10.13140/RG.2.2.36398.82241.
- Salinas-Moreno, Y., Aguilar-Modesto L., (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1):5-11. DOI: 10.5154/r.inagbi.2010.08.009.
- Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Coutiño-Estrada B., Vidal-Martínez, V. A., (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones Mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia. Mexicana*, 36(3):285-294.
- Salmerón-Alcocer, A., Rodríguez-Mendoza, N., Pineda-Santiago, V., Cristiani-Urbina, E., Juárez-Ramírez, C., Ruiz-Ordaz, N., Galíndez-Mayer, J. (2003). Aerobic treatment of maize-processing wastewater (nejayote) in a single-stream multi-stage bioreactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(5):401-406.
- Samil-Argun, M., Emin-Argun, M. (2017). Treatment and alternative usage possibilities of a special wastewater: Nejayote. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1):1-7.
- Serna-Saldivar, S. O., Amaya Guerra, C. A., Herrera Macias, P., Melesio Cuellar, J. L., Preciado Ortiz, R. E., Terron Ibarra, A. D., Vazquez Carrillo, G. (2008). Evaluation of the Lime-Cooking and Tortilla Making Properties of Quality Protein Maize Hybrids Grown in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(3):119-125.
- SIAP. (2019). Atlas Agroalimentario. Panorama Agroalimentario, de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Sitio web: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299:152-178.
- Stintzing, F. C., Stintzing A, S., Carle, R., Frei, B., Wrolstad, R, E. (2002). Color and

- antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21):6172-6181.
- Singleton Jr, R., Straits, B. C., Straits, M. M., McAllister, R. J. (1988). *Approaches to social research*. Oxford University Press.
- Vacio-Muro, K., Lozano-Álvarez, J., Sánchez-González, M., Chávez-Vela, N., Torres-Ramírez, E., Jáuregui-Rincón, J. (2020). Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3):497-515.
- Valderrama-Bravo, C., Gutiérrez-Cortez, E., Contreras-Padilla, M., Oaxaca-Lun, Ramírez-Jimenez, K., Castro-Munoz, A., Del Real López, A., Espinosa-Arbelaez, D., Rodríguez-García, M. (2013). Physico-mechanic treatment of nixtamalization by-product (nejayote). *CyTA - Journal of Food*, 11(1):75-83.
- Vázquez-Carrillo, M. G., Guzmán-Báez, L., Andrés-García, J. L., Márquez-Sánchez, F., Castillo-Merino, J. (2003). Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4): 231-238.
- Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., Salinas Moreno, Y., Rojas-Martínez, I., Arellano-Vázquez, J. L., Velázquez-Cardelas, G. A., Espinosa-Calderón, A. (2012). Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3):229- 237.
- Velasco-Martínez, M., Angulo, O., Vazquez-Couturier, D., Arroyo-Lara, A., Monroy-Rivera, J. A. (1997). Effect of dried solids of nejayote on broiler growth. *Poultry Science*, 76(11):1531-1534.
- Vignoni, L. A, Césari, R. M., Forte, M., Mirábile, M. L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6):63-67.
- Villela-Castrejón, J., Acosta-Estrada, B, A., Gutiérrez-Urbe, J, A., (2017). Microencapsulation of Corn Wastewater (Nejayote) Phytochemicals by Spray Drying and Their Release Under Simulated Gastrointestinal Digestion. *Journal of food Science*. 82 (7): 1726-1734.
- Villela-Castrejón, J., Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017). Bioavailability and anti-inflammatory activity of phenolic acids found in spray-dried nejayote after its in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, 39:37-43.
- Yang, D., Wang, T., Long, M., Li, P. (2020). Quercetin: its main pharmacological activity and potential application in clinical medicine. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8825387>

XII. Anexos



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
"Estudio en la Duda. Acción en la Fe"
Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación
Dirección de Difusión y Divulgación
Científica y Tecnológica

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios

era@ujat.mx

Teléfono/fax 01.993.3 58 15 00 Ext. 5041

2 de mayo de 2023

Asunto: Constancia de recepción de manuscrito

Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores

Autor de correspondencia

Presente.

Por medio del presente hago constar, que se recibió el manuscrito "POTENCIAL NUTRACEÚTICO DE POLVOS DE NEJAYOTE SECADOS POR ASPERSIÓN OBTENIDOS DE VARIEDADES PIGMENTADAS DE MAÍZ", de los autores Ana Karen Cruz-Alegría, Josafat Alberto Hernández-Becerra, Gilbert Vela-Gutiérrez, Néstor Ponce-García y Angélica Alejandra Ochoa-Flores. El cual se registró con el ID **ERA3763** en el sistema de gestión editorial de la revista, donde le podrá dar seguimiento al proceso de revisión.

Agradeciendo su interés por la revista, me despido de usted con saludos.

Atentamente

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro
Editor

C.c.p. Archivo



**DIRECCIÓN DE DIFUSIÓN,
DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
Y TECNOLÓGICA**

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL DEPARTAMENTO EDITORIAL DE REVISTAS UNIVERSITARIAS DE LA SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN, POSGRADO Y VINCULACIÓN DE LA UJAT

*Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación, Sistema de Gestión de Calidad, certificado por American Trust Register, S.C.; Alcance de Certificación (Véase en el Manual de Calidad), Número de certificado ATR 0742 en base a (Norma de referencia NMX-CC-9001-IMNC-2008), Vigencia de Certificación (Junio 2017).

