

REVISTA COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES



E-ISSN: 2422-4456

Vol. 11 Núm. 1 Ene - Jun 2024



Foto: Edgar F. Parra Ortega
Ganador del Concurso de Fotografía Digital Apícola
Edición: Revista RCIA



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

COMITÉ CIENTÍFICO

GILLERMO SALAMANCA GROSSO

Posdoctorado en Ingeniería de Alimentos
Profesor Titular
Facultad de Ciencias, Departamento de Química
Universidad del Tolima
Ibagué, Colombia

JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ

PhD. en Ingeniería de Alimentos
Universidad del Valle
Cali - Colombia

ANA FUENTES LÓPEZ

PhD. en Ciencias de los Alimentos
Universidad Politécnica de Valencia, España.

JAVIER MAURICIO OBANDO ULLOA

PhD. en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE)
Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC. Sede Regional
San Carlos, Costa Rica

RAMÓN GONZALO ARAGADVAY YUNGAN

PhD. En Veterinaria
Universidad Técnica de Ambato.
Ecuador.

JULIANA GAMBOA SANTOS

PhD.
Universidad Nacional de la Plata
Argentina

LUZ MARINA FLÓREZ PARDO

Ph.D.
Universidad Autónoma de Occidente.
Colombia.

JAVIER MAURICIO OBANDO ULLOA,

Ph.D.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Costa Rica

ALESSANDRA LOPES DE OLIVEIRA

Ph.D.
Universidad de São Paulo.
Brasil.

GERMÁN AYALA VALENCIA

Ph.D.
Universidad Federal de Santa Catarina.
Brasil.

MANUEL CASTILLO ZAMBUDIO

Ph.D.
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
España.

SIMÓN PÉREZ MARTÍNEZ

Ph.D.
Universidad Estatal de Milagro (UNEMI).
Ecuador.

ALEJANDRO ISABEL LUNA MALDONADO

Ph.D.
Universidad Autónoma de Nuevo León
Mexico.

RAMÓN FELIPE MOREIRA MARTÍNEZ

Ph.D.
Universidad de Santiago de Compostela
España.

COMITÉ EDITORIAL

JOSÉ LIBARDO TAPIERO CUÉLLAR

Editor Jefe
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia

JOSÉ EDISON ESCOBAR SALCEDO

Editor de Asociado
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

ADRIANA PAOLA BONILLA SÁNCHEZ

Gestora Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

JOVANY PERTÚZ CRESPO

Auxiliar Editorial
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Colombia.

ISSN electrónico: 2422-4456
Enero - Junio 2024

REVISTA COLOMBIANA DE INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES VOL.11 NÚM 1 ENERO-JUNIO 2024

La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales con ISSN 2422-4456 es una revista científica de acceso abierto digital, que publica artículos de investigación originales nacionales e internacionales. La RCIA, da prioridad a la calidad de sus publicaciones tanto científicas como tecnológicas cubriendo las siguientes líneas de investigación:

Ciencias Agroalimentarias (Alimentos 4.0), **Metabolitos Secundarios** (Bioprocesos en alimentos), **Biotechnología Agropecuaria** (Economía Aplicada), **Vida Apícola** y **Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial**.

Copyright

La publicación de los artículos en la Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales es responsabilidad de los autores, los artículos publicados vía electrónica están autorizados por los autores mediante cesión derechos de autor.

Calidad editorial y propiedad intelectual

La Revista se acoge a una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

Esta licencia permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente. Para más información remitirse al sitio web: <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/>



Indexada en:



Redes sociales:



TABLA DE CONTENIDO

CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

- Evaluación de propiedades reológicas y contenido de gluten en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cosechadas en Quito, Ecuador
Silvia Alexandra Chancusig-Pila, Clara Elena Villacrés-Poveda,
María Monserrath Morales-Padilla1
- Chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni stems as an agro-industrial byproduct for potential use in functional foods
Enrique Barbosa-Martín, Luis Antonio Chel-Guerrero,
Arturo Francisco Castellanos-Ruelas, Yolanda Moguel-Ordóñez,
David Abram Betancur-Ancona13
- Aprovechamiento de residuos de la hortaliza de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.), para el desarrollo de un sazón bajo en sodio
Vianey Mendez-Trujillo, Martha Ramos-Romero, Daniel González-Mendoza,
María Navarro-Ibarra, Diana Reyes-Pavón.....23
- Efecto de la congelación sobre los polifenoles y capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum* (eugenio)
Beatriz Estella López-Marína, Diego Fernando Noguera-Córdoba,
Julián Camilo Aragón-Rincón.....32

BIOTECNOLOGÍA AGROPECUARIA

- Taxonomic report of filamentous fungi presents in sewage waste sludge with biotechnological potential
Brenda Irais Gutiérrez-Anzueto, Sandra Grisell Mora-Ravelo,
Daniel González-Mendoza, Francisco Reyes-Zepeda, Madai Rosas-Mejía.....42

ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

- Diseño de alimentos: de la reflexión al proceso de formulación
Juan Sebastián Ramírez-Navas, Patricia López-Ramírez,
Leidy Marcela Montoya-Devía, Sandra Patricia Betancourt-Botero.....57

CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

- Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and potential source of fructooligosaccharides
Diana Villafán-González, David Abram Betancur-Ancona,
Santiago Moisés Gallegos-Tintoré.....80

Evaluación de propiedades reológicas y contenido de gluten en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cosechadas en Quito, Ecuador

Evaluation of rheological properties and gluten content in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties harvested in Quito, Ecuador

Silvia Alexandra Chancusig–Pila^a  silvia.chancusig0151@utc.edu.ec; Clara Elena Villacrés–Poveda^{ab}  elenavillacres9@hotmail.com;
María Monserrath Morales–Padilla^a  maria.morales1144@utc.edu.ec

^aUniversidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga– Ecuador.

^bInstituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Mejía –Ecuador.

Recibido: 19/10/2023 Aceptado: 27/02/2024

Citar, APA: Chancusig–Pila, S.A., Villacrés–Poveda, C.E., y Morales–Padilla, M.M. (2024). Evaluación de propiedades reológicas y contenido de gluten en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cosechadas en Quito, Ecuador. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 1–12. <https://doi.org/10.23850/24220582.5990>

Resumen El trigo es un cultivo de importancia económica por su relevante composición nutricional incluyendo: proteínas, lípidos, fibra, minerales (hierro, magnesio, zinc, potasio, calcio y fósforo), además de contener aminoácidos. El objetivo de la presente investigación consistió en determinar el contenido de gluten y las propiedades reológicas de harinas obtenidas de diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). Por lo cual, se analizaron características fisicoquímicas (humedad, contenido de gluten húmedo y seco y proteína) y propiedades reológicas (absorción de agua, estabilidad de la masa, C2, C3, C4 y C5) de las harinas de 9 variedades de trigo, aplicando un Diseño Completamente al Azar, siendo el Factor C = Variedad de trigo y Factor B = Niveles de nitrógeno, con tres repeticiones. En cuanto a la humedad no se presentó diferencia significativa ($p < 0,05$), mientras que el contenido de gluten húmedo reportó valores entre 17,4 a 38,89 %; para gluten seco se obtuvo valores entre 8,38 a 15,87 %; y contenido de proteína de 10,54 a 13,71 %. En relación a las características reológicas de las harinas, las variedades INIAP-COJITAMBO 92, INIAP-COTACACHI 98 e INIAP-IMBABURA 2014 (66,08 %; 65,95 % y 65,55 %, respectivamente) obtuvieron la mayor absorción de agua, en la estabilidad, las masas de harina presentaron un rango entre 1,97 y 7,34 min, para debilitamiento de las proteínas (C2) se obtuvo valores de 0,17 a 0,40 Nm, en la gelatinización del almidón (C3) situó 0,94 y 1,48 Nm, actividad amilácea (C4) presentó 0,29 a 1,15 Nm y la retrogradación del almidón (C5) que varió en sus resultados con valores que oscilaron entre 0,28 a 1,58 Nm.

Palabras clave: cereal, gluten seco, almidón, características fisicoquímicas, fertilización.

Abstract Wheat is a crop of economic importance due to its relevant nutritional composition including: proteins, lipids, fiber, minerals (iron, magnesium, zinc, potassium, calcium and phosphorus), in addition to containing amino acids. The objective of this research was to determine the gluten content and rheological properties of flours obtained from different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). Therefore, physicochemical characteristics (moisture, wet and dry gluten content and protein) and rheological properties (water absorption, dough stability, C2, C3, C4 and C5) of flours from 9 wheat varieties were analyzed, applying a completely randomized design, with Factor C = wheat variety and Factor B = nitrogen levels, with three replicates. As for moisture, there was no significant difference ($p < 0,05$), while the wet gluten content reported values between 17,4 and 38,89 %; for dry gluten, values between 8.38 and 15.87 % were obtained; and protein content between 10.54 and 13,71 %. In relation to the rheological characteristics of the flours, the varieties INIAP-COJITAMBO 92, INIAP-COTACACHI 98 and INIAP-IMBABURA 2014 (66,08 %; 65,95 % and 65,55 %, respectively) obtained the highest water absorption, in stability, flour doughs presented a range between 1.97 and 7.34 min, for protein weakening (C2) values from 0,17 to 0,40 Nm were obtained, starch gelatinization (C3) showed 0,94 to 1.48 Nm, starch activity (C4) showed 0,29 to 1.15 Nm, and starch retrogradation (C5) showed variability in its results with values ranging from 0,28 to 1.58 Nm.

Keywords: cereal, dry gluten, starch, physicochemical characteristics, fertilization.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más cultivado a nivel mundial (Oyeyinka & Bassey, 2023). Según la Food and Agriculture Organisation (FAO, 2022), se espera que la producción mundial de cereales alcance 2,804 millones de toneladas en 2023/24, cifra que sigue siendo un 0,8 % (21,8 millones de toneladas) más alta que en 2022/23. La previsión de la utilización total de trigo a disminuido de 1,7 millones de toneladas a 783 millones de toneladas, aunque supera en un 0,5 % el nivel de 2022/23.

El trigo suministra aproximadamente el 55 % de los carbohidratos y el 21 % de las calorías alimentarias consumidas en todo el mundo, además, es rico en proteínas (gluten), minerales (Cu, Mg, Zn, P y Fe), vitaminas (grupo B y E), riboflavina, niacina, tiamina. y fibra dietética (Khalid *et al.*, 2023). Los productos de harina como el pan, fideos y otros productos se elaboran con harina de trigo y son el principal alimento del ser humano (Zhang, 2020). Actualmente, el trigo es uno de los cultivos más importantes en la serranía ecuatoriana, y hace parte de la canasta básica de los pequeños productores de la región (Sarchi-Laines & Guerrero-Zurita, 2022).

Este cultivo se desarrolla en todo el callejón interandino (provincias de Carchi, Chimborazo, Bolívar, Imbabura y Pichincha), siendo la provincia de Carchi la de mayor producción con un cultivo de más de 2,976 hectáreas (Ponce-Molina *et al.*, 2022). Sin embargo, la producción de trigo en Ecuador ha evidenciado un déficit desde hace más de 30 años, debido a afectaciones causadas principalmente por factores de tipo abiótico, déficit hídrico, nutricional y las temperaturas extremas en estado crítico del cultivo (Montenegro-Montenegro, 2012).

Tanto la producción y la calidad del trigo se pueden mejorar mediante el desarrollo de nuevas variedades que puedan generar

un rendimiento superior y funcionar mejor en diversas condiciones y tensiones agroclimáticas (Villaseñor, 2015). Por ello, para predecir la calidad del producto final, es necesario comprender la caracterización fisicoquímica y reológica de la materia para la industria alimentaria (Carrión, 2022). Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo de investigación consistió en determinar el contenido de gluten y las propiedades reológicas de harinas obtenidas de diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Materiales y métodos

Material

Las harinas utilizadas en la experimentación se obtuvieron de 9 variedades de trigo (INIAP-COJITAMBO 92; INIAP-QUILINDAÑA 94; INIAP-SANGAY 94; INIAP-COTACACHI 98; INIAP-ZHALAO 2003; INIAP-MIRADOR 2010; INIAP-SAN JACINTO 2010; INIAP-VIVAR 2010 e INIAP-IMBABURA 2014), las cuales provienen de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ubicada a 13 km al sur de Quito, Ecuador con una Latitud: 0° 22' S, Longitud: 78° 33' 0 y a una altura de 3050 m.s.n.m.

Obtención de las harinas de trigo

Las harinas se obtuvieron mediante la molienda de los granos de cada variedad estudiada, con la ayuda de un molino industrial (MAGISTER, Colombia) y finalmente cada muestra, se tamizó hasta obtener una granulometría uniforme, en un tamiz de malla 100 ASTM. Cabe destacar que, para garantizar la calidad de las harinas, estas se empacaron en embalaje de papel transpirable y se conservaron a temperatura ambiente (25 °C), para sus respectivos análisis.

Características reológicas

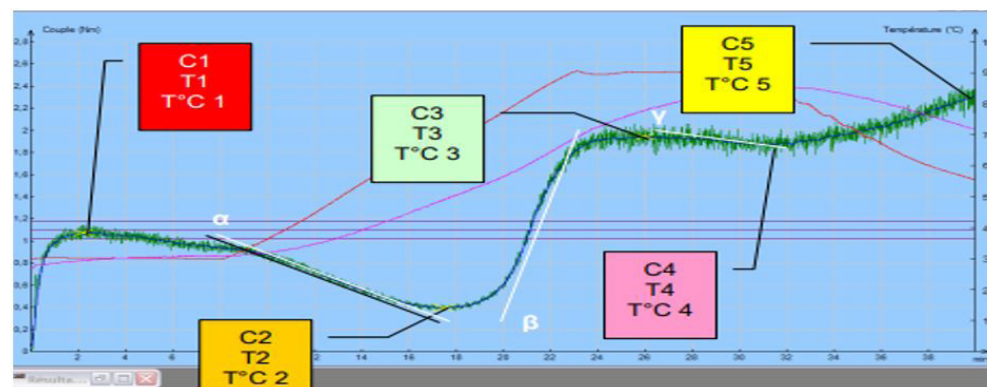
Por medio del equipo Mixolab (CHOPIN Technologies), se observó el comportamiento reológico de las harinas de las 9 variedades de

trigo (*T. aestivum* L.) estudiadas. Se evaluó la absorción de agua, estabilidad de la masa (min), comportamiento de la mezcla (C1), calidad de la proteína (C2), gelatinización del almidón (C3), actividad amilásica (C4) y retrogradación del almidón (C5). Por ello, se siguió la metodología de Dubat & Boinot (2012), la cual consistió

en desarrollar una prueba apoyada en la preparación de una masa de cada harina, la cual se hidrató constantemente durante la primera fase del test. Los resultados se demuestran a lo largo del gráfico de la curva con los cinco picos representados en los valores (C1, C2, C3, C4 y C5) como se indica en la **Figura 1**.

Figura 1

Curva Mixolab usada para la determinación de las características reológicas



Nota. C1: Comportamiento de la mezcla, C2: Calidad de la proteína, C3: Gelatinización del almidón, C4: Actividad amilásica, C5: Retrogradación del almidón.

Determinación del contenido de Humedad

Respecto al contenido de humedad, este fue determinado según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1235. Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad (INEN, 2012). De esta manera, se tomaron 5 g de muestras para posteriormente ser colocadas en la estufa (VWR Symphony, Colombia), por un periodo de 2 h a 130 °C, finalmente se aplicó la fórmula de diferencia de peso.

Determinación del contenido de Proteína

Se utilizó el método de Kjeldahl descrito en Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2000) con ciertas modificaciones realizadas en el laboratorio de Nutrición y Calidad de la EESC-INIAP. Por lo cual, se pesó en un matraz micro-Kjeldahl 0,15 g de harina de

trigo y 1 g de catalizador, al matraz se le agregó 2,5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, la digestión fue desarrollada a 75 °C por 30 minutos, y posteriormente se incrementó a 90 °C por 60 minutos, transcurrido este tiempo se dejó enfriar dentro de la cámara de extracción por 4 minutos, luego por los bordes del cuello del matraz se agregaron 7 ml de agua destilada y se dejó enfriar por unos minutos más. Una vez caliente la unidad destiladora, se procedió a adicionar la muestra en la cámara de ebullición, y el matraz fue lavado con 5 ml de H_2O , seguidamente, se añadieron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 30 %. Encendido el equipo, se recolectaron 40 ml del destilado en un Erlenmeyer que contenía 10 ml de ácido bórico con dos gotas del indicador. El resultado presentó una tonalidad verdosa. Finalmente, el destilado es titulado con ácido clorhídrico 0,1N (HCl), considerándose por finalizado el proceso cuando la muestra se tornará de color violeta (AOAC, 2000).

Análisis del contenido de Gluten húmedo y seco

Se empleó el método tradicional de lavado estipulado por American Association of Cereal Chemists 38-52.01 (AACC, 2000), con ciertas modificaciones. De esta manera, en un vaso de precipitación de 50 ml, se pesó la cantidad de harina de trigo de acuerdo a la **Tabla 1**, luego se adicionaron 2,5 ml de solución salina de cloruro de sodio al 2 %. Se amasó la mezcla manualmente durante 2 min y concluido el tiempo se realizó un lavado de la masa con agua potable durante 5 min. Se eliminó el exceso de gluten realizando el lavado a presión mediante un tamiz y tul. Finalmente, se colocó el gluten húmedo en una

tostadora (marca Oster) con superficie plana, durante 5 min y así se obtuvo la cantidad de gluten seco (AACC, 2000).

El contenido de gluten se expresó en porcentaje %, de acuerdo con las **ecuaciones 1 y 2**.

Ecuación 1.

$$GH = \frac{\text{Peso del gluten humedo (g)}}{\text{peso de harina (g)}} \times 100\%$$

Ecuación 2.

$$GS = \frac{\text{Peso del gluten seco (g)}}{\text{peso de harina (g)}} \times 100\%$$

Tabla 1

Peso de la harina para evaluar el contenido de gluten (en 10 g de harina con 14 % de humedad)

Humedad	Disciplina
(%)	Gramos de harina
(g)	Genómica
9,0 – 9,9	9,5
10,0 – 10,9	9,6
11,1 – 11,8	9,7
11,9 – 12,7	9,8
12,8 – 13,6	9,9
13,7 – 14,4	10,0
14,5 – 15,3	10,1

Nota. Adaptado de “Curso de Métodos Analíticos de Tecnología de Cereales Menores” por Coca-Cadena, A., Ayala-Rojas, G., & Fajardo-Rodríguez, L. 1988. (Primera ed.) Colombia Tibaitatá, ICA, p.30

Fuerza de gluten

Se empleo el método descrito por Morris *et al.* (2005), el cual consistió en aplicar una prueba de sedimentación con dodecil sulfato de sodio (SDS), de la siguiente manera: en una probeta (con tapón) de 25 ml se pesó 1 g de harina de trigo y se adicionaron 6 ml de solución de azul de

bromofenol, con agitación mediante un vórtex durante 2, 4 y 40 s. se agregaron 19 ml de ácido láctico con SDS (17 ml de ácido láctico al 85 % y 480 ml de SDS). Se colocó el tapón en la probeta y se agito la mezcla en un agitador oscilatorio por 1 min, posteriormente, se colocó la probeta sobre una base con fondo iluminado para sedimentar las muestras por un lapso de 14 min. Finalmente,

se tomó la lectura del volumen de sedimento al término de este tiempo.

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar en arreglo bifactorial A*B (Tabla 2), donde el Factor A = correspondió a las harinas de las

9 variedades de trigo analizadas y el Factor B = a los 2 niveles de nitrógeno utilizados en el cultivo, con tres repeticiones, obteniéndose un total de 18 tratamientos. Para determinar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, se empleó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), mediante el software estadístico InfoStat versión libre.

Tabla 2

*Tratamientos evaluados en el Diseño Completamente Al Azar A*B de la investigación*

Humedad	Humedad
T1	INIAP - COJITAMBO 92 + 0 % de nitrógeno
T2	INIAP - COJITAMBO 92 + 120 % de nitrógeno
T3	INIAP - QUILINDAÑA 94 + 0 % de nitrógeno
T4	INIAP - QUILINDAÑA 94 + 120 % de nitrógeno
T5	INIAP - SANGAY 94 + 0 % de nitrógeno
T6	INIAP - SANGAY 94 + 120 % de nitrógeno
T7	INIAP - COTACACHI 98 + 0 % de nitrógeno
T8	INIAP - COTACACHI 98 + 120 % de nitrógeno
T9	INIAP - ZHALAO 2003 + 0 % de nitrógeno
T10	INIAP - ZHALAO 2003 + 120 % de nitrógeno
T11	INIAP - MIRADOR 2010 + 0 % de nitrógeno
T12	INIAP - MIRADOR 2010 + 120 % de nitrógeno
T13	INIAP - SAN JACINTO 2010 + 0 % de nitrógeno
T14	INIAP - SAN JACINTO 2010 + 120 % de nitrógeno
T15	INIAP - VIVAR 2010 + 0 % de nitrógeno
T16	INIAP - VIVAR 2010 + 120 % de nitrógeno
T17	INIAP - IMBABURA 2014 + 0 % de nitrógeno
T18	INIAP - IMBABURA 2014 + 120 % de nitrógeno

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica y contenido de gluten

En la Tabla 3 se detallan las características fisicoquímicas y contenido de gluten de los tratamientos en estudio (harinas de las 9 variedades de trigo evaluadas y los 2 niveles de nitrógeno utilizados en el cultivo).

En relación a la humedad no existió diferencia significativa ($p > 0,05$) en los 18 tratamientos estudiados (Tabla 3), siendo el

rango porcentual de humedad reportado para las harinas evaluadas en este estudio entre 11,43 % a 12,83 %. Estos valores guardan relación con investigaciones, donde se ha reportado un contenido de humedad de 13,50 % en harina de trigo (Vásquez-Castillo & Matos-Chamorro, 2021; Pérez-Carrión 2022).

Además, es necesario mencionar que, los valores de humedad encontrados en las harinas de los 18 tratamientos analizados en la presente investigación se encuentran dentro del rango máximo permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 616, que establece un

contenido de humedad máximo de 14,5 % en harina de trigo, con el fin de asegurar la calidad del grano en el almacenamiento postcosecha (INEN, 2006).

Análisis de gluten húmedo y seco

En cuanto al contenido de gluten húmedo (Tabla 3) de las harinas de los diferentes tratamientos analizados, esta variable presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$), demostrando que, los tratamientos T1, T3, T5, T9, T11, T13, T15 y T18 obtuvieron el menor contenido de gluten húmedo, mientras que, el T10 con 38,89 % destacó por un mayor contenido. Con ello se demuestra que, al utilizar 120 % de nitrógeno como fertilizante en el cultivo de trigo es posible obtener mayor cantidad de gluten húmedo en las harinas, lo cual es benéfico en la panificación, puesto que, durante la fermentación, el gluten retiene el dióxido de carbono resultante y asegura mayor volumen en el pan (Sciarini *et al.*, 2016). Por otro lado, diversas investigaciones han reportado un contenido de gluten húmedo entre un 25 a 26,58 % (Cazares-Torres, 2022); todas coincidiendo en que la presencia de gluten húmedo en la harina estaba relacionada con el nitrógeno empleado en la etapa de fertilización del trigo, siendo este transferido al grano y a la harina sumado a la presencia de la gliadina, una proteína que interviene en la formación del gluten (Lerner *et al.*, 2015).

De igual manera, los resultados del análisis de gluten seco se presentan en la Tabla 3 y registran diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Demostrando que, los tratamientos donde se utilizó 120 % de nitrógeno en los cultivos de trigo, se obtuvo mayor contenido de gluten seco en la harina, lo que para nuestro caso se reflejó en valores porcentuales de 8,38 % a 15,87 % de gluten seco. En nuestro caso es factible asociar un control de estos factores ambientales (temperatura y humedad relativa) y externos (fertilización y disponibilidad de agua), lo que pudo facilitar la presencia del gluten en nuestras muestras (Dillchneider-Loza, 2020).

Contenido de proteína

En la evaluación del contenido de proteína las medias de los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), por efecto de los diferentes niveles de nitrógeno aplicado al cultivo, determinándose el mayor contenido en los tratamientos: (T2, T10 y T18), donde se utilizó nitrógeno al 120 %; por el contrario, las muestras que no recibieron nitrógeno registraron el contenido de proteína más bajo, como se puede ver en la Tabla 3.

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia condiciona la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo (Xiaoyang *et al.*, 2022), por ende creemos que esto favoreció el alto contenido en las harinas que analizamos. Por otro lado, Calvo-Carrillo *et al.* (2020), señalan que la calidad panadera del trigo se asocia frecuentemente con los niveles de proteína en grano, la cantidad y calidad de gluten y las propiedades reológicas de la masa. En este sentido, se considera que las harinas obtenidas de las variedades de trigo (INIAP-COJITAMBO 92; INIAP-ZHALAO 2003 e INIAP-IMBABURA 2014), cumplen con estas características y podrían ser empleadas a nivel industrial.

Propiedades reológicas de las harinas

En la Tabla 4, se presentan los resultados obtenidos respecto a la absorción de agua de las harinas obtenida a partir de las 9 variedades de trigo analizadas. Variable que demostró diferencias significativas ($p < 0,05$), estableciéndose la mayor absorción de agua en las harinas INIAP-COJITAMBO 92 (66,08 %); INIAP-COTACACHI 98 (65,65 %) e INIAP-IMBABURA 2014 (65,55 %), en comparación a la harina obtenida de la variedad INIAP-QUILINDAÑA 94 con una absorción de agua igual al 58,93 %, que obtuvo un menor porcentaje. En relación a este hallazgo, se cree que las harinas fuertes, es decir aquellas que presentan gran

cantidad y calidad de proteínas, así como de gluten en su contenido, pueden absorber mayor contenido de agua, lo cual pudo favorecer los 3 tratamientos que para nuestro caso arrojaron los valores más altos de absorción (Sánchez-Aguilera *et al.*, 2023). Cabe mencionar que, una capacidad de absorción de agua mayor al 65 %, indica una harina de buena calidad, lo que

a su vez se traducirá en un buen rendimiento en la producción de pan, mientras que valores menores < 60 %, indica una harina de inferior calidad por lo cual esta deberá verificarse con la información de tanto de cantidad como de calidad de gluten (Lascano, 2022). En la presente investigación los resultados obtenidos, se ubicaron por encima de este parámetro (> 65 %).

Tabla 3

Efecto de la fertilización nitrogenada en los parámetros de calidad de las variedades nacionales de trigo (T. aestivum L) evaluados

Tratamientos	Humedad (%)	Gluten húmedo (%)	Gluten seco (%)	Proteína (%)
T1	11,43a	19,55a	9,91b	11,72b
T2	12,0a	33,52c	13,02c	14,26f
T3	11,5a	18,18a	9,66b	11,40c
T4	12,8a	32,73b	14,61d	13,63e
T5	11,73a	19,73a	9,96b	9,85b
T6	12,45a	34,71d	14,09d	13,43e
T7	11,0a	21,12ab	8,89a	10,07b
T8	12,02a	34,40c	15,87e	13,40e
T9	11,30a	18,06a	9,84b	8,85a
T10	12,20a	38,89f	14,71d	14,06f
T11	11,9a	17,47a	8,38a	10,34b
T12	12,48a	36,23e	14,05d	13,80a
T13	11,83a	19,18a	10,33c	11,04c
T14	12,45a	32,09ab	13,72d	13,56e
T15	11,80a	21,45a	9,94b	10,94bc
T16	12,21a	33,94c	14,10d	13,30a
T17	11,57a	18,42a	8,63a	10,93bc
T18	12,02a	31,36c	15,09e	13,93f

Nota. Letras diferentes asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$, con la prueba de Tukey.

Estabilidad de la masa

En cuanto a la estabilidad de la masa de la harina de trigo, se aprecia que las medias registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 4), determinándose la mayor estabilidad en las masas provenientes de las variedades

INIAP-MIRADOR 2010 e INIAP-VIVAR 2010 presentando cada una un tiempo de consistencia de 7,34 y 7,57 min, respectivamente. Mientras que, la menor estabilidad se obtuvo con la variedad INIAP- COTACACHI 98 cuya masa tan solo mantuvo su máxima consistencia en un tiempo de 1,97 min. Cabe mencionar que

la estabilidad de la masa está estrechamente relacionada con el genotipo y condiciones ambientales de los cultivos (De la Horra, 2015). El intervalo de tiempo de estabilidad logrado con las dos variedades mencionadas, es relevante si se compara con lo reportado por Urbina-Díaco *et al.* (2023), quienes determinaron una estabilidad de 4,67 min en harina de quinoa y 4,17 min en harina de amaranto, harinas de dos especies que también se caracterizan por su valor nutricional y comercial.

Debilitamiento de las proteínas

Al evaluar el debilitamiento de las proteínas (C2) en las harinas obtenidas de la especie *Triticum aestivum* L, se encontró que las 9 variedades evaluadas, presentaron una masa con menor debilitamiento de las proteínas, con valores entre 0,17 Nm a 0,40 Nm (Tabla 4). Es necesario mencionar que, valores bajos de las proteínas (C2) indican alta actividad diastásica en las masas, incidio también en la baja consistencia de la masa, la cual disminuye a consecuencia del debilitamiento de la proteína (Hasna *et al.*, 2020).

Por otro lado, los resultados obtenidos pueden afectar negativamente la calidad final del producto horneado, puesto que, la masa pierde la capacidad de retener el CO₂ durante la fermentación y no alcanza una textura adecuada. En consecuencia, es importante mantener un equilibrio adecuado entre el desarrollo del gluten y el debilitamiento de las proteínas, con el fin de obtener resultados óptimos al trabajar con harina de trigo (Bustillos, 2022).

Gelatinización del almidón

Los resultados de gelatinización del almidón (C3) presentados en la Tabla 4, reflejan diferencias significativas ($p < 0,05$), estableciendo el valor más alto en la variedad INIAP-VIVAR 2010 con una viscosidad de 1,48 Nm. Diferente sucedió con las variedades INIAP-COJITAMBO 92 (1,12 Nm), INIAP-COTACACHI 98 (0,94 Nm) e INIAP-

MIRADOR 2010 (1,19 Nm), que arrojaron valores inferiores de gelatinización.

Respecto a una menor estabilidad del gel del almidón en el trigo, este resultado podría estar relacionado con una mayor actividad amilásica debido a que su presencia tiende a generar una mayor proporción de almidón dañado (Barrera, 2014). Estos resultados difieren con lo reportado por Hasna *et al.* (2020), quienes obtuvieron un valor de 2,70 Nm en gelatinización de harina de patata nativa (*Solenostemon rotundifolius*). La gelatinización del almidón se refiere a la fase de hinchamiento del almidón, a medida que el almidón se hincha, se forma una red de gel que retiene la humedad en el producto horneado (Guo *et al.*, 2018). En este sentido la variedad de harina (INIAP-VIVAR 2010) podría considerarse con potencial uso para el proceso de horneados.

Actividad Amilácea

Respecto a la actividad amilácea (C4) de la harina evaluada en las diferentes variedades de trigo (Tabla 4), se observó diferencia significativa en los tratamientos ($p < 0,05$), determinándose un contenido general de amilácea dado entre 0,29 Nm - 1,15 Nm para las variedades INIAP-COJITAMBO 92 e INIAP-VIVAR 2010, respectivamente. Estos resultados se pueden atribuir a la fase de horneado y a la gelatinización del almidón. Cuando el almidón se calienta en un ambiente con alta humedad, los macropolímeros sufren un cambio estructural irreversible asociado con una mayor viscosidad y una estructura abierta y más flexible, desarrollando una mayor susceptibilidad a la hidrólisis enzimática (Di Rosa *et al.*, 2023).

Sin embargo, los resultados obtenidos son inferiores a lo hallado por Kaurcorres & Gill (2020), quienes obtuvieron un contenido de amilácea de 2,70 % en harina de trigo y 2,40 % en harina de quinoa. Además, se menciona que, la actividad amilácea de la harina de trigo se refiere a la capacidad de las enzimas amilasas presentes

en la harina para descomponer el almidón en azúcares más simples durante el proceso de fermentación y cocción (Hasna *et al.*, 2020). Por lo cual, consideramos la variedad INIAP-VIVAR

2010 puede cumplir con estas características y aportar en la actividad fermentativa de gran escala industrial.

Tabla 4

Propiedades reológicas de las harinas obtenida de las 9 variedades de trigo

Variedades de trigo	Absorción de agua (%)	Estabilidad de la masa (min)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)
INIAP - COJITAMBO 92	66,08 e	4,37 c	0,29 a	1,12 a	0,29 a	0,28 a
INIAP- QUILINDAÑA 94	58,93 a	3,16 b	0,26 a	1,35 b	0,93 c	1,15 c
INIAP- SANGAY 94	61,98 c	5,66 d	0,34 a	1,36b	0,61 b	0,82 b
INIAP- COTACACHI 98	65,65 e	1,97 a	0,40 a	0,94 a	0,54 b	0,70 b
INIAP- ZHALAO 2003	60,17 b	2,62 b	0,33 a	1,38 b	1,02 c	1,34 c
INIAP- MIRADOR 2010	64,68 d	7,34 f	0,35 a	1,19 a	0,66 b	0,88 b
INIAP- SAN JACINTO 2010	64,48 d	6,04 e	0,39 a	1,33 b	0,85 c	1,11 c
INIAP- VIVAR 2010	60,17 b	7,57 f	0,17 a	1,48 c	1,15 c	1,58 d
INIAP- IMBABURA 2014	65,55 e	6,27 e	0,34 a	1,38 b	1,01 c	1,41 d

Nota. Letras diferentes asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$, con la prueba de Tukey.

Retrogradación del almidón

Finalmente, analizando la variable retrogradación del almidón (C5), en las masas representativas de las distintas variedades de trigo se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Se demostró que las variedades de harina que formaron almidón retrogradado posterior al proceso de enfriamiento del almidón presente en la harina, correspondieron a los tratamientos: INIAP-VIVAR 2010 y INIAP-IMBABURA 2014 con valores de 1,58 Nm y 1,41 Nm, respectivamente.

En cambio, la variedad INIAP-COJITAMBO 92 presentó la menor retrogradación del almidón con un valor igual a 0,28 Nm. De este modo, se enfatiza que, un mayor porcentaje de amilosa permitiría la obtención de altos porcentajes de almidón retrogradado en la harina, lo que supone un papel fundamental en el control de la

textura y calidad de los productos que contienen almidón (Pablos-Alcalde, 2018).

Conclusiones

Las características fisicoquímicas y contenido de gluten de los 18 tratamientos estudiados, evidenció que las diferentes variedades de trigo y distintos niveles de nitrógenos utilizado en el cultivo influyen significativamente en la composición nutricional, siendo la harina del T10 la que obtuvo mayor concentración de gluten húmedo, mientras que, el T8 proporcionó mayor cantidad de gluten seco y el T2 presentó mayor contenido de proteína.

Respecto a las propiedades reológicas se concluye que la harina obtenida de la variedad INIAP COJITAMBO 92 presentó mayor capacidad de absorción de agua, mientras que, la harina de la

variedad INIAP- VIVAR 2010 destacó en la mejor estabilidad de masa, gelatinización del almidón, actividad, actividad amilácea y retrodegradación de almidón, lo cual la hace promisorio como materia prima en la elaboración de productos de panificación y por ende potenciar la industria panadera en el país.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists [AACC]. (2000). *Approved Methods of the AACC*. 10th Edition the Association. Sección 38-52.01 USA. <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1488371>
- Association of Official Analytical Chemist [AOAC]. (2000). *Official Methods of Analysis*, Section 954.10. Arlington, USA. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Barrera, G. N. (2014). *Efecto del almidón dañado sobre las propiedades de las masas panarias y la calidad de los panificados* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Córdoba. Repositorio Institucional: <https://core.ac.uk/reader/72040800>
- Bustillos, K. (2022). *Caracterización fisicoquímica y reológica de la harina de trigo (Triticum aestivum) obtenida de los pasajes del proceso de molienda en Molinos e Industrias* [Tesis de grado]. Quito. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio Institucional: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36531/1/CAL%20011.pdf>
- Calvo-Carrillo, M. C., López-Méndez, O. X, Carranco-Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud Biotecnia*. XXII (3), 116-124. <https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v22n3/1665-1456-biotecnia-22-03-116.pdf>
- Cazares-Torres, M. (2022). *“Evaluación físico-química y farinográfica de la harina de trigo (Triticum aestivum) obtenida en los pasajes de molienda de la industria “Molinos Miraflores”* [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio Institucional: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/834/1/AL460%20Ref.%203353.pdf>
- Coca-Cadena, A; Ayala-Rojas, G., & Fajardo-Rodríguez, L. (1998). *Curso de Métodos Analíticos de Tecnología de Cereales Menores*. (Primera ed.). Colombia Tibaitatá, ICA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17598>
- De la Horra, A., Seghezzi, M., Molfese, P., & León, A. (2015). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29(2). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200003
- Di Rosa, C., De Arcangelis, E., Vitelli, V., Crucillà, S., Angelicola, M., Trivisonno, M. C., . . . Messina, M. C. (2023). Effect of Three Bakery Products Formulated with High-Amylose Wheat Flour on Post-Prandial Glycaemia in Healthy Volunteers. *Foods*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/foods12020319>
- Dillchneider-Loza, A. (2020). *Efecto de la fertilización nitrogenada y del ambiente sobre el rendimiento y la calidad panadera de dos variedades de trigo en la región semiárida Pampeana*. Universidad Nacional de Pampa. https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/7213/atp-dilefe020_c.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dubat, A & Boinot, D.(2012). *Mixolab applications*, h. (2012). Obtenido de <https://concereal.net/wp-content/uploads/2017/03/2012-CHOPIN-Mixolab-Applications-Handbook-EN-SPAIN-3.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura .. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/#:~:text=El%20pron%C3%B3stico%20relativo%20a%20la%20utilizaci%C3%B3n%20total%20de%20trigo%20se,el%20nivel%20de%202022%2F23>
- Guo, P., Yu, J., Wang, S., & Wang, S. (2018). Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on *in vitro* starch digestibility. *Food Hydrocolloids*(82), 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.012>
- Hasna, T., Muchlisyyah, J., Wardani, S., & Estiasih, T. (2020). Effect of pregelatinization on the physicochemical effects and Functional properties of *Solenostemon rotundifolius*. flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/524/1/012014/pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1235. Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 616. Harinas de trigo. Requisitos*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador. <https://archive.org/details/ec.nte.1235.1987>
- Kaurcorres, H., & Gill, B. S. (2020). Changes in physicochemical, nutritional characteristics and

- ATR–FTIR molecular interactions of cereal grains during germination. *J Food Sci Technol*, 58(6), 2313–2324. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04742-6>
- Khalid, A., Hameed, A., & Muhammad, F. T. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Front Nutr.*, 10(53). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389%2Ffnut.2023.1053196>
- Lascano, A. (2022). Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales cebada (*Hordeum vulgare*), Maíz (*Zea mays*), QUINUA (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) nacionales con trigo (*Triticum vulgare*) limportado [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio Institucional: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8671/AL425%20Ref.%203271.pdf>
- Lerner, S., Arata, A., & Arrigoni, A. (2015). Relación entre eficiencia de uso del nitrógeno y calidad industrial en variedades argentinas de Trigo Pan (*Triticum Aestivum* L.) con distinta composición de gluten. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(1). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142016000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Montenegro-Montenegro, D. (2012). Respuesta agronómica de trece líneas y dos variedades de trigo rojo (*Triticum vulgare* L.), en la parroquia La Paz, provincia del Carchi [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica del Norte. Repositorio Institucional: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2126/2/TESIS%201.pdf>
- Morris, C. F., Paszczynska, B., & Garrison, K. (2005). A critical examination of the sodium dodecyl sulfate (SDS) sedimentation test for wheat meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://www.researchgate.net/publication/227734385>
- Oyeyinka, S. A., & Bassey, I.-A. (2023). Composition, Functionality, and Baking Quality of Flour from Four Brands of Wheat Flour. *Journal of Culinary Science & Technology*. <https://doi.org/10.1080/15428052.2023.2191874>
- Pablos-Alcalde, S. (2018). Estudio de la mejora de la funcionalidad de harinas y almidones sin gluten mediante tratamientos físicos innovadores [Tesis de posgrado]. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31505/TFM-L397.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20p%20o%20c%20e%20g%20e%20gelatinizaci%C3%B3n%20%20E2%80%93%20retrogradaci%C3%B3n,los%20productos%20horneados%20sin%20gluten.>
- Pérez-Carrión, D. (2022). Estudio de la variación de las propiedades fisicoquímicas en la harina de trigo después de la molienda de acuerdo a su tiempo en reposo [Tesis de pregrado]. Universidad Central de Ecuador. Repositorio Institucional: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/29718/1/UCE-FCQ-CQA-PEREZ%20DAYANNA.pdf>
- Ponce-Molina, L., Garófalo, J., & Noroña, P. (2022). Trigo (*Triticum aestivum* L.), Manual de cultivo y conservación de suelos. Boletín Divulgativo No. 004. KOPIA, INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5975>
- Sciarini, L., Steffolani, M., & León, A. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *Agriscientia*, 33(2), 61–74. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n2.17468>
- Sánchez-Aguilera, D. D., Gustavo, S.-T. S., Aguayo-Pino, D. R., Revilla-Escobar, K. Y., Carrillo-Pisco, M. L., & Aldas-Morejon, J. P. (2023). Caracterización fisicoquímica de fréjol canario (*Vigna unguiculata*) y chocho guaranguito (*Lupinus mutabilis*) y su incidencia en la funcionalidad de harinas. *Bases de la Ciencia*, 8(1), 38–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i1.5452>
- Sarchi-Laines, E. D., & Guerrero-Zurita, G. P. (2022). Caracterización de la Agricultura Familiar Campesina en la región Sierra del Ecuador durante el año 2019 [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Repositorio Institucional.
- Urbina-Dicao, K., Santacruz-Terán, S., Guapi -Álava, G., Revilla -Escobar, K., & Aldas-Morejón, J. (2023). Caracterización fisicoquímica de granos de cereales y funcionalidad de harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 10 (2), 33–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.5708>
- Vásquez-Castillo, G. M., & Matos-Chamorro, R. A. (2021). Evaluación de algunas características fisicoquímicas de harina de trigo peruano en función a su calidad panadera. *Revista de Investigación Universitaria*, 1(1). <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/684>
- Villaseñor, H. E. (2015). Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 6(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.796>
- Xiaoyang, Z., Xiaolong, W., Liang, L., Pai, P., Qianying, M., Xinzhong, H., & Rudi, A. (2022). Effects of Composition and Strength of Wheat Gluten on Starch Structure, Digestion Properties and the Underlying Mechanism. *Foods*, 11(21), 3432. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11213432>

Zhang, A. (2020). Effect of wheat flour with different quality in the process of making flour products. *Int. J. Metrol. Qual. Eng*, 6(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/ijmqe/2020005>

Chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni stems as an agro-industrial byproduct for potential use in functional foods

Propiedades químicas y funcionales de tallos de *Stevia rebaudiana* Bertoni como subproducto agro-industrial para uso potencial en alimentos funcionales

Enrique Barbosa-Martín^a  enrique.barbosa89@hotmail.com; Luis Antonio Chel-Guerrero^a  cguerrerr@correo.uady.mx;
Arturo Francisco Castellanos-Ruelas^a  cruelas@correo.uady.mx; Yolanda Moguel-Ordóñez^b  moguel.yolanda@inifap.gob.mx;
David Abram Betancur-Ancona^a  bancona@correo.uady.mx

^aFacultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn. 97203 Mérida, Yucatán, México.

^bCampo Experimental Mocochá, Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Received : 23/01/2024 Accepted: 02/04/2024

Citing, APA: Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L.A., Castellanos-Ruelas, A.F., Moguel-Ordóñez, Y., & Betancur-Ancona, D.A. (2024). Chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni stems as an agro-industrial byproduct for potential use in functional foods. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 13–22. <https://doi.org/10.23850/24220582.6215>

Abstract *Stevia* leaves (*Stevia rebaudiana* Bertoni) are considered natural, harmless, non-caloric sweeteners. The stems of the stevia plant hadn't been as researched and are considered waste or agro-industrial byproducts, yet a good source of potentially techno-functional fiber, which could be considered as a food ingredient. The aim of this work was to evaluate the chemical and techno-functional properties of stevia stems as a potential ingredient for functional foods. The stems were obtained from stevia plantations in the state of Yucatan – Mexico, and their proximal chemical composition and techno-functional profile were determined considering water and oil retention, water absorption and adsorption, and the organic molecules absorption capacity. The analytical determinations were performed in triplicate and a one-way analysis of variance was used for the statistical analysis of the data obtained. They presented a high content of carbohydrates (54.84 %), crude fiber (32.33 %), ash (6.99 %), and protein (4.46 %). The stems retained five times their weight in water and oil, with 5.57 and 5.00 g/g, respectively. Their organic molecules absorption capacity was 2.09 g/g, with 4.49 g/g for water absorption and 0.29 g/g for water adsorption. As an agricultural byproduct of stevia leaves harvesting, the stems are a functional alternative to use in food preparations with potential physiological effects.

Keywords: dietary fiber, natural sweetener, physiological effect, physicochemical properties.

Resumen Las hojas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) son consideradas edulcorantes naturales, bajos en calorías e inocuos. Por su parte, los tallos de stevia han sido menos estudiados y se consideran subproductos agroindustriales, aunque representan una buena fuente de fibra con propiedades tecnofuncionales que podría utilizarse como ingrediente alimentario. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades químicas y tecnofuncionales de los tallos de stevia como potencial ingrediente de alimentos funcionales. Los tallos fueron obtenidos de plantaciones de stevia en Yucatán – México, y se les determinó la composición química proximal y su perfil tecnofuncional considerando la retención de agua y de aceite, la absorción y adsorción de agua y la absorción de moléculas orgánicas. Las determinaciones analíticas fueron realizadas por triplicado y se utilizó un análisis de varianza de una vía para el análisis estadístico de los datos obtenidos. Estos presentaron un alto contenido de carbohidratos (54,84 %), fibra cruda (32,33 %), cenizas (6,99 %) y proteína (4,46 %). Los tallos retuvieron cinco veces su peso en agua y en aceite (5,57 y 5,00 g/g), respectivamente. La capacidad de absorción de moléculas orgánicas fue de 2,09 g/g, la absorción de agua iguala a 4,49 g/g y la adsorción de agua de 0,29 g/g. Los tallos como subproducto agrícola de la cosecha de hojas de stevia son una alternativa funcional para usar en la elaboración de alimentos con potenciales efectos fisiológicos.

Palabras clave: efecto fisiológico, endulzante natural, fibra dietética, propiedades fisicoquímicas.

Introduction

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) is an herbaceous plant native to Paraguay and frequently cultivated in several regions of different countries such as: China, Japan, the United States of America, Indonesia, Brazil, and Canada (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2023). The botanist Moisés Santiago Bertoni first described the plant, and its significant commercial exploitation began in the decade of the 70s, when it was promoted through research on the extraction and refinement of its sweetening components, such as the steviol glycosides present in its leaves (Peteliuk *et al.*, 2021).

Functional foods can be defined as those that have been innovatively developed to contain substances or live microorganisms that provide benefits to improve the health of consumers or help prevent disease. They must be used in a safe concentration, sufficient to achieve the desired benefit (Temple, 2022). Kurek and Krejpcio (2019), have reported the potential therapeutic benefits of *Stevia rebaudiana* extracts and its pure compounds in promoting health in various *in vitro* and *in vivo* models.

Stevia leaves produce diterpene glycosides with high-potency sweeteners that can replace sucrose and artificial sweeteners like aspartame, acesulfame potassium (Ace-K), neotame, saccharin, sucralose, and advantame (Basson *et al.*, 2021). Glycosides are non-nutritive and non-toxic. To date, more than thirty such compounds have been identified, with Stevioside and Rebaudioside A being the most investigated. Stevioside is the main component in the native variety of stevia; it represents 4 to 13 % of all glycosides, its taste is bitter or astringent and its sweetening power after the molecule has been purified is 300 times sweeter than sucrose at a concentration of 0.4 % (Fasiha *et al.*, 2020).

It is precisely because of this non-caloric sweetening capacity that steviol glycosides and their extracts have been widely used in the technological development of food products. The scientific literature has reported their use in the production of beverages, bread, cookies, dairy products, and confectionery, among other products (Jaimes *et al.*, 2018; Gupta *et al.*, 2017). The versatility of steviol glycosides for use in the food industry also lies in their physicochemical properties, such as their thermal stability (~200 °C), their stability against different acidity and alkalinity conditions (pH 2 - 10), their non-fermentability, and their high organoleptic acceptability (Gasmalla *et al.*, 2014).

Another important application of stevia is in the field of functional foods, defined as foods that have a potentially positive effect on health beyond basic nutrition, due to the physiological effects as antioxidant, antihyperglycemic and antilipid, attributed to it. Stevia has been shown to have therapeutic potential due to its ability to regulate blood glucose, improve renal and hepatic functions, and reduce arterial hypertension. It is also important to mention the safety of its consumption as toxicological studies have shown that, in general, the plant's metabolites do not have teratogenic, mutagenic, carcinogenic, or allergenic effects (Mathur *et al.*, 2017).

Regarding their nutritional characteristics, stevia leaves, in addition to being rich in carbohydrates, contain a high proportion of minerals, proteins, and dietary fiber. In this regard, the functional potential of stevia leaves has been confirmed, mainly due to their contribution of dietary fiber, phenols, flavonoids, vitamins, and minerals (Jahangir-Chughtai *et al.*, 2020). The understanding of these peculiarities of the stevia leaves has served as a basis for the various technological and therapeutic applications of the different parts of the plant.

Stevia production has increased to an estimated 4.000 tons annually, which has led to the generation of a large amount of waste and agro-industrial byproducts, mainly its stems, that could have a wide range of applications. The potential to exploit stems as a source of antioxidants has been demonstrated with hot water Stevia leaf extracts that presented greater antioxidant activity compared to fish oil oxidation (Yu *et al.*, 2017). Nogueira *et al.* (2024) carried out *in vitro* studies to evaluate the antioxidant, antidiabetic, and anti-obesity capacity of methanolic and hydroalcoholic extracts of Stevia stems. The results indicated the presence of bioactive compounds such as polyphenols and flavonoids that have great importance in health. The extracts presented 17 % phenolic compounds, an antioxidant activity of 65 to 89 %, lipase enzyme inhibition activity of 98 % for the methanolic extracts, and inhibition of α -amylase and α -glucosidase of the hydroalcoholic extract, with 30 and 90 %, respectively.

Bondarev *et al.* (2003) analyzed by high-performance liquid chromatography the content of the three main steviol glycosides: stevioside and rebaudioside A and C in vegetative and generative organs during the ontogeny of *S. rebaudiana*. The highest glycoside content was found in the upper sections of actively growing young shoots, while the lower sections of senescent shoots exhibited the lowest amount. During ontogeny, a gradual increase in glycoside content was observed in both mature leaves and stems of stevia, and this process continued until the budding phase and the onset of flowering, making the stems a potential source of these sweetening compounds. However, although the stems have not yet been recognized as a source of sweeteners, they also possess highly significant nutritional and functional characteristics in addition to their sweetening compounds. For example, the high amount of fiber (Atteh *et al.*,

2011) and antioxidant compounds (Yu *et al.*, 2017) found in the stems, allows expanding the study of the plant towards the utilization of all its parts, since the interest has been mainly focused on the leaves and the stems have been categorized as by-products or waste.

Barbosa-Martín *et al.* (2022) indicated that *S. rebaudiana* stems, could be an alternative for the use and valorization of waste or the development of functional products based on the circular economy, due to their dietary fiber content. The stems could provide a benefit that, in some way, contributes to reduce overweight and obesity, with a hypoglycemic effect in patients with type 2 diabetes mellitus. Therefore, the goal of the present work was to evaluate the chemical components and techno-functional properties of stevia stems as agro-industrial byproducts. The results are expected to contribute to the recognition of stems as relevant ingredients for the development of functional foods.

Materials and methods

Stem collection and processing

S. rebaudiana, Morita II variety stem samples were obtained from plantations of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) at the Campo Experimental de Mococho, Yucatan, Mexico. Plants of the selected variety had thick, branched stems with elliptic leaves arranged in opposite directions. Samples were obtained from the first harvest of leaves at three months of age from the experimental plots and dried for three days in sun-shade periods. The stems were then collected, dried in a Fisher Scientific convection oven at 50 °C for 24 h, processed in a Thomas Wiley industrial mill to reduce the particle size, and finally sieved on a 2 mm mesh. The powders obtained were stored in amber glass bottles until use.

Chemical characterization

Proximal chemical evaluation was performed according to the methods established by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). All analyses were performed in triplicate and the results were expressed on a dry basis (% d.b.).

- The moisture (M) content was measured in terms of the weight loss of the sample after drying it in a convection oven at 110 °C for 2 h, following method 925.10 (AOAC, 2005a).

- The fat (F) content was obtained from an extraction with hexane for 1 h in accordance with the Soxhlet principle, using a Soxtec™ 8000 system (Tecator, Höganäs, Skåne län, Sweden), following method 2003.06 (AOAC, 2012).

- The amount of ashes (A) or mineral residues was calculated based on the weight of the sample after burning it at 550 °C for 2 h, following method 923.02 (AOAC, 2005b).

- The nitrogen (N₂) content was quantified according to the Kjeldahl method using a Kjeltac™ 8200 digestion system (Tecator, Höganäs, Skåne län, Sweden) using cupric sulfate and potassium sulfate catalysts, according to 992.23 method (AOAC, 2000).

- Protein (P) content was calculated as nitrogen $\times 6.25$ since there is no specific conversion factor for fibrous stevia residues.

- For the crude fiber (CF), the Weende method 962.09 was used with a Fibertec™ 8000 system (Tecator, Höganäs, Skåne län, Sweden), according to the AOAC (1990). The sample was digested with 1.25 % sulfuric acid and then

with 1.25 % sodium hydroxide. The residue that consisted of fiber was determined by drying to constant weight, calcining, and reweighing.

- Nitrogen-free extract (NFE) was calculated and expressed as total carbohydrate. This value was estimated as the difference between the other components, as indicated in **Equation 1**:

Eq 1.

$$\% NFE = 100 - P - F - A - CF$$

Where:

(P) = represents protein,

(F) = indicates fat,

(A) = represent ash,

(CF) = indicates crude fiber.

Functional properties

The functional properties of the samples were determined in triplicate using the following methods:

Water Retention Capacity (WRC)

It was performed by adapting the technique reported by Chau *et al.* (1997), as modified by Barbosa-Martin *et al.* (2016). Using 20 mL of distilled water, 1 g of sample was hydrated and centrifuged at $2550 \times g$ for 30 min at 25 °C. Subsequently, the supernatant was measured, and the WRC was expressed as the grams of water absorbed divided by the grams of sample.

Oil Retention Capacity (ORC)

It was developed based on the technique proposed by Chau *et al.* (1997) and adapted by Barbosa-Martín *et al.* (2016). To 1 g of sample (S), 10 mL of corn oil was added and centrifuged at $2550 \times g$ for 30 min at 25 °C and the oil retained (OR) was weighed. The density of the oil used was 0.91 g/cm³. Finally, the volume of supernatant (VS) was measured, and the ORC was calculated as indicated in **Equation 2**.

Eq 2.

$$ORC = \frac{OR (VS \times 0.91)}{S}$$

Organic Molecule Absorption Capacity (OMAC)

According to the technique reported by Segura-Campos *et al.* (2014), 3 g of sample were saturated with corn oil, left to stand for 24 h at 25 °C, and centrifuged at 2000 x g for 15 min at 25 °C. The OMAC was estimated as the grams of oil absorbed between the grams of sample.

Water Absorption Capacity (WAC)

Following the 88-04 technique by the American Association of Cereal Chemists (AACC, 1984) reported by Barbosa-Martin *et al.* (2016), 5 grams of sample were saturated with distilled water (SV) and centrifuged at 2000 x g for 10 min. The precipitate was weighed, and the approximate water absorption capacity (ApWAC) was estimated by the difference in weights between the grams of sample. Subsequently, the amount of sample to be weighed for the determination was calculated according to Equation 3.

Eq 3.

$$Sample\ weight = \frac{SV}{(ApWAC + SV)}$$

Next, the samples were tested in 4 systems considering the volumes of distilled water described below. The amount of water necessary to complete the sample weight to 18 g was determined (18 - Sample weight), and, to this calculated volume, +1.5, +0.5, -1.5, and -0.5 mL of water was added. The solutions were shaken, then centrifuged at 2000 x g for 10 min, and the volume of water absorbed was calculated. Finally, the WAC was expressed as the grams of water absorbed between the grams of the sample.

Water Adsorption Capacity (WAdC)

It was performed through the methodology proposed by Chen *et al.* (1984) and adapted by Barbosa-Martin *et al.* (2016). The dried and milled stevia stems were placed in an equilibrium microenvironment with a relative humidity of 98 %, which was generated by placing 20 mL of saturated potassium sulfate saline solution in hermetically sealed glass flasks and placing them in desiccators at 25 °C. The sample was left in the microenvironment until it reached constant weight (48 h). Water adsorption capacity was measured as the grams of water adsorbed between grams of sample.

Statistical analysis

The results obtained were analyzed with descriptive statistics and one-way analysis of variance (95 % confidence level) using the statistical software package Statgraphics Centurion version 18 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA). Duncan's test was applied to determine differences between the means of the average values of the proximal composition and functional properties of the stems at a 95 % confidence level.

Results and Discussion

Chemical characterization

The results revealed that the stevia stems sample presented a high content of carbohydrates expressed as nitrogen-free extract (54.84 %), fiber (32.33 %), ash (6.99 %), and protein (4.46 %), as well as moisture content of 7.14 %. (Table 1). This was expected since the stems of herbaceous plants, such as stevia, are usually rich in assimilable carbohydrates (Jahangir-Chughtai *et al.*, 2020). These results are in agreement with those reported by Atteh *et al.* (2011), in a study where the stems of the plant

were recognized as a good source of fiber, minerals, and protein. These authors also reveal that, if consumed, the stems provide a very low metabolizable energy content, which is associated with their high fiber content. This is relevant as the use of the stems as food ingredients could generate products with a

very low energy density that could be included in calorie-restricted dietary plans. Other fiber properties that stevia stems could contribute to the diet include increased faecal mass, improved intestinal transit, antioxidant effects, early satiety generation and low energy density, among others (Mugdil & Barak, 2013).

Table 1

Chemical-proximal composition (% dry basis) of Stevia rebaudiana stems compared with reference data

Gluten seco	Gluten seco Current study	Gluten seco Atteh <i>et al.</i> (2011).
Fat	1.38 ± 0.03 a	1.1 ± 0.01
Protein	4.46 ± 0.09 b	6.7 ± 0.1
Ash	6.99 ± 0.19 c	5.6 ± 0.6
Fiber	32.33 ± 0.54 e	45.1 ± 0.8
Carbohydrates as (nitrogen free extract)	54.84 ± 0.83 f	41.5 ± 0.6

Note. Data are expressed as mean ± standard deviation. ^{a-f} Different letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) between the chemical components.

Likewise, the stems could be used as a source of affordable protein as they have a better protein assimilation rate than the leaves when consumed by monogastric animals. In terms of minerals expressed as inorganic matter, according to reports by Atteh *et al.* (2011), the stems would provide sodium and potassium, mainly. In addition, stevia stems can act as non-caloric sweeteners due to their stevioside (0.69 %) and rebaudioside A (0.3 %) contents (Atteh *et al.*, 2011), as prebiotics in a similar manner to inulin and fructooligosaccharides (Sanches-Lopes *et al.*, 2017), and as antioxidants due to the presence of phenolic compounds (Yu *et al.*, 2017).

Functional properties

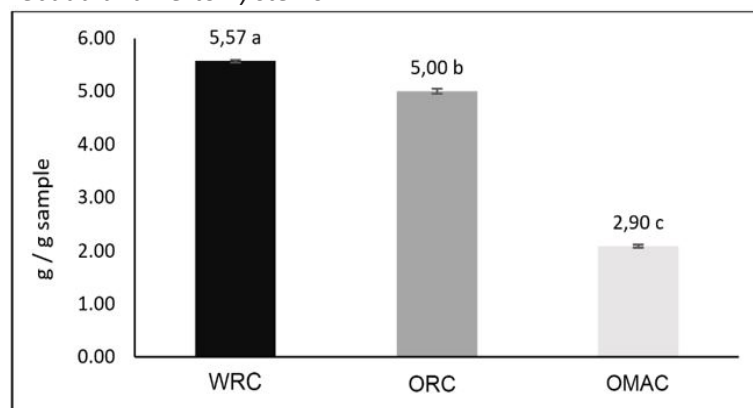
The functional potential of stevia stems is mainly due to their contribution to fiber content. The main reason is based on the interactions that fiber has with other nutrients, usually expressed as water retention capacity (WRC), oil retention capacity (ORC), and organic molecule absorption capacity (OMAC). The results of the functional evaluation of the stems showed that they were able to retain five times their weight

in water and oil (5.57 ± 0.12 g/g and 5.00 ± 0.15 g/g, respectively) and twice their weight in organic molecules (2.09 ± 0.09 g/g) (Figure 1). It is worth mentioning that water retention capacity (WRC) is in turn composed of both physical (water adsorption capacity, (WAdC) and chemical (water absorption capacity, WAC) interactions. For the stems, the distribution of water retention was 4.49 ± 0.02 g/g absorption and 0.29 ± 0.03 g/g adsorption, respectively (Figure 2).

The observed WRC can be explained mainly by the fiber and protein contents present in the stems (Table 1), since both elements are prone to form interactions with water molecules. In this sense, water retention may have benefited from the soluble portion of fiber, such as the mucilage and gums, and the interaction of the hydrogen bonds generated with the proteins (Aminlari *et al.*, 2009). In the stevia stems, a higher amount of WAC than WAdC was observed, most likely due to the fiber's ability to form gels and bind water by absorption phenomena through its exposed hydrophilic groups (Segura-Campos *et al.*, 2014).

Figure 1

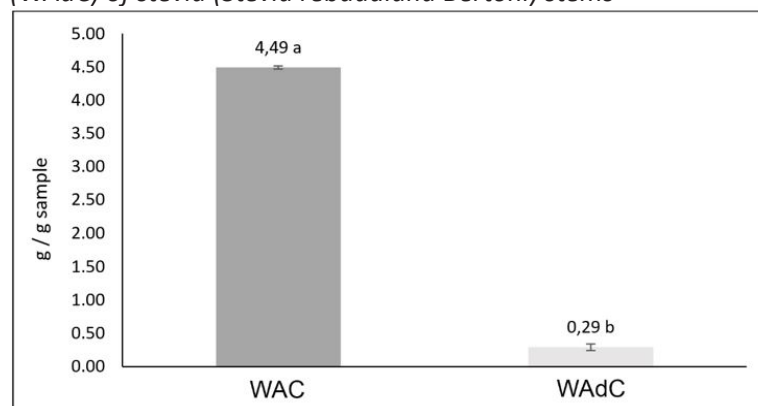
Water retention capacity (WRC), oil retention capacity (ORC), and organic molecule absorption capacity (OMAC) of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) stems



Note. ^{a-c} Different letters indicate a significant difference ($p < 0.05$).

Figure 2

Water absorption capacity (WAC) and water adsorption capacity (WAdC) of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) stems



Note. ^{a-c} Different letters indicate a significant difference ($p < 0.05$).

The influence of water retention can be seen in the physiological field since when fiber is associated with water, it produces biological effects such as an increased fecal mass, improved intestinal transit, early generation of satiety, low energy density, and reduction of glucose absorption, among others (Mugdil & Barak, 2013).

Furthermore, from a technological point of view, water retention leads to the formation of gels that could be used in foods such as sauces, beverages, jams, etc.

Additionally, the oil retention capacity (ORC) is also related to the fiber content present in the stems, specifically to its insoluble fraction, which consists mainly of cellulose, lignin, and insoluble hemicelluloses. This characteristic is related to the capacity to absorb fat under the action of a mechanical force. When this retention is low, it provides a non-greasy sensation in fried products, but when it is high, it imparts juiciness and better texture to meat products. Moreover, physiologically speaking, this property is relevant since it involves the uptake and elimination of lipid elements such as triglycerides and cholesterol from dietary foods.

According to Vázquez-Ovando *et al.* (2009), the organic molecule absorption capacity (OMAC) is closely related to the insoluble fiber content and could indicate the ability of the stems to intestinally bind to proteins, carbohydrates, bile salts, cholesterol, drugs, toxic compounds, and carcinogens.

Finally, to highlight the functional potential of stevia stems, their properties were compared

with the same plant leaves and by-products from other plant sources (Table 2). Compared to stevia leaves, the stems retained a higher proportion of water and organic molecules. They also retain more water than other sub-products, such as pomegranate peel, coffee husk, and avocado seeds. Regarding oil retention, the stems have a lower capacity compared to stevia leaves and other byproducts like avocado seeds.

Table 2

Comparison of the functional potential of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) stems

Vegetal source	WRC (g/g sample)	ORC (g/g sample)	OMAC (g/g sample)	Reference
Stevia Stems	5.57 ± 0.12	5.00 ± 0.15	2.09 ± 0.09	Own study
Stevia leaves	4.07	6.79	1.81	Segura-Campos <i>et al.</i> , (2014)
Pomegranate peel	3.53	4.05	nr	Hasnaoui <i>et al.</i> , (2014)
Coffee husk	5.11	4.72	nr	Ballesteros <i>et al.</i> , (2014)
Avocado seed	4.13	6.37	nr	Barbosa-Martín <i>et al.</i> (2016)

Note. nr: not reported.

Conclusions

Stevia stems are a potential source of fiber with attractive functional properties for use as functional food ingredients, since they retain five times their weight in water and oil and have twice their absorption capacity for organic molecules.

Due to their fiber content and functional properties, the stems of *S. rebaudiana* can be an alternative to use and valorize agro-industrial wastes with a circular economy approach for the development of functional foods with an added value due to their potential beneficial physiological effects for people with diabetes, obesity, and associated ailments.

These findings indicate that the stems are a potential ingredient in diet and health food

products, such as powders, nutrition bars, breads, and cookies. However, more scientific and technological studies related to the contribution of dietary fiber and its fractions, sweetening properties, and studies of bioactive compounds and their effects on the health of consumers are required. This co-product must be further studied so that it can be incorporated into the stevia production chain, adding value and contributing to sustainable development since it is currently considered a waste product. This increases the potential value of stem waste in terms of its viability for commercial applications such as food additives, feed additives, health supplements, and nutraceuticals.

Acknowledgments

This work is part of the activities of the Thematic Network CONACYT, 12.3 “To Reduce and Valorize Food Losses and Waste: Towards Sustainable Food Systems”.

References

- Aminlari, M., Shekarforoush, S., Gheisari, H., & Golestan, L. (2009). Effect of actinidin on the protein solubility, water holding capacity, texture, electrophoretic pattern of beef, and on the quality attributes of a sausage product. *Journal of Food Science*, 74(3), 221–226. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01087.x>.
- American Association of Cereal Chemists [AACC] (1984). Approved Methods of the AACC, Method 88-04 Water absorption capacity. 8th ed. AACC, St. Paul, MN, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2012). Official Method 2003.06. Crude fat in feeds, cereal grains, and forages. Randall/Soxtec/hexanes extraction-submersion method, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 19th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2005a). Official Method 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2005b). Official Method 923.03 – Ash of Flour (Direct Method): *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2000). Official Method 992.23. Crude protein in cereal grains and oil seeds, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (1990). Official Method 962.09. *Official Methods of Analysis of AOAC International* 15th Edition., Virginia, Arlington, MA. USA
- Atteh, J., Onagbesan, O., Tona, K., Buyse, J., Decuyper, E., & Geuns, J. (2011). Potential use of *Stevia rebaudiana* in animal feeds. *Archivos de Zootecnia*, 60(229), 133–136. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49518786015>.
- Ballesteros, L., Teixeira, J., & Mussatto, S. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3493–3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>.
- Barbosa-Martín, E., Moguel-Ceballos, J.E., Rodríguez-Rosas, C., Valencia-Rivera, D. E., & Zarza García, A. L. (2022). Effect of the consumption of a fibrous extract of *Stevia rebaudiana* stems on glycemia. *Horizonte Sanitario*, 21(2), 178–186. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-74592022000200178&script=sci_arttext.
- Barbosa-Martín, E., Chel-Guerreo, L., González, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana* Mill.) seed fibrous residues. *Food and Bioprocess Technology*, 100(2016), 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.006>.
- Basson, A.R., Rodríguez-Palacios, A., & Cominelli, F. (2021). Artificial sweeteners: History and new concepts on inflammation. *Frontiers in Nutrition*, 24(8): 746247. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.746247>.
- Bondarev, N.I., Sukhanova, M.A., Reshetnyak, O.V. & Nosov, A.M. (2003). Steviol glycoside content in different organs of *Stevia rebaudiana* and its dynamics during ontogeny. *Biologia Plantarum* 47(2), 261–264. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000022261.35259.4f>.
- Chau, C., Cheung, P., & Wong, Y. (1997). Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7): 2500–2503. <https://doi.org/10.1021/jf970047c>.
- Chen, J., Piva, M., & Labuza, T. (1984). Evaluation of water binding capacity (WBC) of food fiber sources. *Journal of Food Science*, 49(1), 59–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13668.x>.
- Fasiha, A., Shahid, B., & Faiz-ul-Hassan, S. (2020). Nutritional and medicinal properties of *Stevia rebaudiana*. *Current Research in Diabetes & Obesity Journal*, 13(4), 555867. <https://juniperpublishers.com/crdoj/CRDOJ.MS.ID.555867.php>
- Gasmalla, M., Yang, R., & Hua, X. (2014). *Stevia rebaudiana* Bertoni: An alternative sugar replacer and its application in food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(4), 150–162. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9080-0>.
- Gayosso-Rodríguez, S., Sánchez-Hernández, R., Estrada-Bojello, M. A. & Lázaro-Díaz, A. (2023). Enmiendas orgánicas en el crecimiento de *Stevia rebaudiana* en Tabasco. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(3). México, ME:425–35. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3135>.
- Gupta, E., Purwar, S., Kumar, N., Shakyawar, S., & Alok, S. (2017). Formulation of value added low-calorie, high fibre biscuits using flax seeds and *Stevia rebaudiana*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8(12), 5186–5193. <http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>
- Hasnaoui, N., Wathélet, B., & Jiménez-Araujo, A. (2014). Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: dietary fiber composition, antioxidant capacity and functional properties.

- Food Chemistry*, 160 (10), 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.089>.
- Jahangir-Chughtai, M. F., Pasha, I., Zahoor, T., Khaliq, A., Ahsan, S., Wu, Z., Nadeem, M., Mehmood, T., Muhammad-Amir, R., Yasmin, I., Liaqat A., & Saira Tanweer (2020) Nutritional and therapeutic perspectives of *Stevia rebaudiana* as emerging sweetener; a way forward for sweetener industry. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 164–177. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1721562>.
- Jaimes, L., Atencia, C., Campo, Y., Contreras, J., Bermúdez, V., Rojas, E., Faria, J., Martínez, M., Rodríguez, C., Villareal, R., & Pestana, J. (2018). A functional bread designed with rye flour and stevia sweetener: A sensory and microbiological analysis. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(2), 68–73. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55960422011>.
- Kurek, J.M. & Krejpcio, Z. (2019). The functional and health-promoting properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni and its glycosides with special focus on the antidiabetic potential - A review. *Journal of Functional Foods*, Volume 61, 103465. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103465>.
- Mathur, S., Bulchandani, N., Parihar, S., & Singh G. (2017). Critical review on steviol glycosides: Pharmacological, toxicological and therapeutic aspects of high potency zero caloric sweetener. *International Journal of Pharmacology*, 13(7), 916–928. <https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=ansinet/ijp/2017/916-928.pdf>.
- Mugdil, D. & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61 (10), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>
- Nogueira, N.C., Serra-Cabeça, C.L., Marotti-Siciliano, P.L., Campangolli-Pereira, B., Trentin-Zorzenon, M.R., Dacome, A.S., de Oliveira-Souza, F., Jorge Pilau, E.J., Kazue-Enokida, M., Rodrigues de Oliveira, A., Godoi-Silva, P., da Costa, S.C. & Milani-Fernandes, P.G. (2024). Methanolic and hydroalcoholic extract of stevia stems have antihyperglycemic and antilipid activity. *Food Bioscience*, 58, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103690>.
- Peteliuk, V., Rybchuk, L., Bayliak, M., Storey, K. B., & Lushchak, O. (2021). Natural sweetener *Stevia rebaudiana*: Functionalities, health benefits and potential risks. *EXCLI Experimental and Clinical Sciences Journal*, 20(1), 1412–1430. <https://doi.org/10.17179/excli2021-4211>.
- Sanches-Lopes, S., Krausová, G., Pedroza-Carneiro, J., Gonçalves, E., Correia-Goncalves, R., & Braz de Oliveira, A. (2017). A new natural source for obtainment of inulin and fructo-oligosaccharides from industrial waste of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Food Chemistry*, 225(15), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.100>.
- Segura-Campos, M., Barbosa-Martín, E., Matus, A., Cabrera, D., Murguía, M., Moguel-Ordoñez, Y., & Betancur-Ancona, D. (2014). Comparison of chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) varieties cultivated in Mexican Southeast. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 286–293. https://www.scirp.org/pdf/AJPS_2014012616065276.pdf.
- Temple, N.J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in Nutrition*, 9, 957516. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957516>.
- Vázquez-Ovando, A., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 68–173, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.012>.
- Yu, H., Yang, G., Sato, M., Yamaguchi, T., Nakano, T., & Xi, Y. (2017). Antioxidant activities of aqueous extract from *Stevia rebaudiana* stem waste to inhibit fish oil oxidation and identification of its phenolic compounds. *Food Chemistry*, 232(10), 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.004>.

Aprovechamiento de residuos de la hortaliza de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.), para el desarrollo de un sazónador bajo en sodio

Use of garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) vegetable residues for the development of a low sodium seasoning

Vianey Mendez-Trujillo^a  vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx; Martha Ramos-Romero^a  ramos.martha@uabc.edu.mx;
Daniel González-Mendoza^{*b}  danielg@uabc.edu.mx; María Navarro-Ibarra^a  maria.navarro.ibarra@uabc.edu.mx;
Diana Reyes-Pavón^a  diana.reyes.pavon@uabc.edu.mx

^aFacultad de Nutrición, Universidad Autónoma de Baja California. Dr. Humberto Torres Sangi-nés S/N, Centro Cívico, 21000 Mexicali, B.C.

^bInstituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Nue-vo León, 21705 Nuevo León, B.C.

*Autor de correspondencia: danielg@uabc.edu.mx

Recibido: 06/02/2024 Aceptado: 09/04/2024

Citar, APA: Mendez-Trujillo, V., Ramos-Romero, M., González-Mendoza, D., Navarro-Ibarra, M., y Reyes-Pavón, D. (2024). Aprovechamiento de residuos de la hortaliza de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.), para el desarrollo de un sazónador bajo en sodio. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 23–31. <https://doi.org/10.23850/24220582.6224>

Resumen La revaloración de residuos agrícolas representa una fuente de generación de nuevos productos con alto contenido de compuestos bioactivos y bajo contenido de sodio que puede contribuir a la reducción del consumo de este elemento por la población. De tal forma que el objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido antioxidante, cantidad de sodio y compuestos fenólicos de tres sazónadores comerciales con un sazónador vegetal formulado a base de residuos de ajo/cebolla. Los resultados evidenciaron que fue posible realizar la formulación de un sazónador empleando cascara de ajo y cebolla deshidratadas por 24 h a 50 °C. Las cuales fueron molidas a 300 micras y mezcladas en proporción de 60 g de polvo de ajo con 40 g de polvo de cebolla. Este sazónador luego se comparó con tres fórmulas comerciales. El análisis del sazónador a base de ajo/cebolla presentó valores significativamente menores de sodio (60 mg/ 100 g) y de NaCl (4,7 %) comparado con los tres sazónadores comerciales que mostraron valores de sodio (137 mg/ 100 g; 69 mg/100 g y 237 mg/100 mg, respectivamente) y de NaCl (54,8 %, 33 % y 70 %, respectivamente). En contraste, los valores de proteínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante mostraron valores significativamente mayores comparados a los sazónadores comerciales. Finalmente, nuestro estudio muestra, la generación de una formulación de un sazónador bajo en sodio y con valores importantes de compuestos bioactivos, con una tecnología accesible a productores. Lo cual permite generar alternativas viables de revalorización de las cascara de ajo y cebolla, fomentando un manejo sustentable de los mismos. Futuros estudios deberán identificar el efecto de extractos de esta mezcla, en la inhibición de enzimas relacionadas con la presión arterial. Lo cual, contribuiría a la incorporación de este producto en el desarrollo de aditivos con bajo aporte de sodio a la población.

Palabras clave: aditivos, compuestos bioactivos, hipertensión, residuos vegetales.

Abstract The revaluation of agricultural waste represents a source of generation of new products with a high content of bioactive compounds and low sodium content that can contribute to the reduction of the consumption of this element by the population. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the antioxidant content, amount of sodium and phenolic compounds of three commercial seasonings with a vegetable seasoning formulated from garlic/onion residues. The results showed that it was possible to formulate a seasoning using garlic and onion peels dehydrated for 24 h at 50 °C. Which were ground to 300 microns and mixed in a proportion of 60 g of garlic powder with 40 g of onion powder. This seasoning was then compared to three commercial formulas. The analysis of the garlic/onion-based seasoning presented significantly lower values of sodium (60 mg/ 100 g) and NaCl (4.7%) compared to the three commercial seasonings that showed sodium values (137 mg/ 100 g; 69 mg/100 g and 237 mg/100 mg, respectively) and NaCl (54.8%, 33% and 70%, respectively). In contrast, the values of proteins, phenolic compounds and antioxidant activity showed significantly higher values compared to commercial seasonings. Finally, our study shows the generation of a formulation of a seasoning low in sodium and with important values of bioactive compounds, with a technology accessible to producers. This allows us to generate viable alternatives for the revaluation of onion and garlic peels, promoting their sustainable management. Future studies should identify the effect of extracts of this mixture on the inhibition of enzymes related to blood pressure. Which would contribute to the incorporation of this product in the development of additives with low sodium intake for the population.

Keywords: additives, bioactive compounds, hypertension, plant residues.

Introducción

En la actualidad en Latinoamérica, específicamente en México, la hipertensión arterial (HTA) es un problema de salud pública, causada por diversos factores entre los cuales se pueden mencionar: la alta ingesta de sodio, inactividad física, y problemas metabólicos como obesidad, diabetes y dislipidemias (Campos *et al.*, 2021). De acuerdo a los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en México, la prevalencia de HTA es del 44,0 % en mujeres y 55,3 % en hombres, lo cual ha generado alrededor de 50 mil fallecimientos (Campos *et al.*, 2021). Entre las opciones para la disminución del riesgo de mortalidad por HTA se proponen cambios en el estilo de vida evitando el sedentarismo y reduciendo el consumo de sodio (Solís y Fernández, 2010). Lo que incluye una dieta equilibrada, variada, completa, suficiente, inocua y adecuada que contenga los principales nutrientes en cantidades necesarias (Concha *et al.*, 2019).

Entre las alternativas para llevar a cabo una dieta correcta, está el desarrollo de alimentos bajos en sodio, que satisfagan las características organolépticas con la finalidad de tener opciones más saludables para el consumo humano. A este tipo de alimentos, se les conoce como alimentos funcionales, definidos como aquellos similares en apariencia a un alimento convencional que se consume como parte de una dieta normal y proporciona beneficios fisiológicos más allá de la función básica (Sedó-Masis, 2021). Los beneficios que tiene el consumo de alimentos funcionales para la salud se atribuyen a los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas, sustancias azufradas, terpénicas etc.), que muestran la capacidad antioxidante para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Silveira-Rodríguez *et al.*, 2003). Esto ha permitido que sean empelados como base para el desarrollo de conservadores, saborizantes, y aditivos alimentarios a lo largo de la historia (Lanzotti, 2006).

La revalorización de los residuos de alimentos, representa una alternativa para el aprovechamiento de subproductos agroindustriales con miras a reducir la contaminación del ambiente. México, ha sido pionero en el aprovechamiento de desechos vegetales considerados como residuos, usando sustratos como: rastrojo de maíz, tomate y paja, para la producción de hongos comestibles, galletas a base de semilla de aguacate, entre otros productos generados a partir de residuos que buscan fomentar la revalorización de los residuos agrícolas (Gaitán-Hernández y Silva-Huerta, 2016; Avila *et al.*, 2023).

A nivel agroindustrial, en México tanto la cebolla como el ajo generan residuos, que ascienden a más de 550,000 toneladas anuales de cascara de cebolla y 3,7 millones de toneladas de cascara de ajo generadas por diversas causas (Kallel y Ellouz, 2017; Chadorshabi *et al.*, 2022). Lo que quiere decir, que alrededor del 25 % al 38 % del peso fresco de ajo y cebolla son descartados por la industria ya que no se consideran aptos para consumo (Kumar *et al.*, 2022; Faiza *et al.*, 2023).

En este aspecto, el empleo de residuos agroindustriales que presentan compuestos bioactivos puede ser una opción, para el desarrollo de nuevos productos, como es el caso de un sazónador bajo en sodio. Existen diversos reportes que indican que la cascara de ajo y cebolla contienen compuestos bioactivos como flavonoides, polifenoles, ácido fenólico, terpenoides, sulfuros, cumarinas, lignanos, saponinas, curcuminas, entre otros, que muestran efectos biológicos que repercuten de manera favorable en la salud (Kumar *et al.*, 2022). Por lo que su aprovechamiento podría generar productos ricos en compuestos bioactivos y contribuir a reducir la generación de residuos agrícolas. Es por eso, que el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido antioxidante, cantidad de sodio y compuestos fenólicos de un sazónador vegetal a base de residuos de ajo y

cebolla, y compararlo con 3 fórmulas comerciales para generar una alternativa saludable de aliño con la finalidad de prevenir el riesgo de HTA y enfermedades cardiovasculares.

Materiales y métodos

Procedencia del material

Los residuos o cascaras de ajo y cebolla que presentaban características de color y textura viables, (libres de hongos y bacterias) se recolectaron en tres diferentes centros de distribución de alimentos en la ciudad de Mexicali, Baja California, México. 1kg por residuo de cada especie a evaluar fue transportado en bolsas de papel a las instalaciones de la Facultad de Nutrición campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California para su posterior análisis.

Así mismo, se realizó la elección de tres sazónadores comerciales en mercados de compra locales, seleccionado solo aquellos que presentaran ajo/cebolla como elementos principales en su formulación.

Deshidratado

Previo al secado de las cascaras de ajo y cebolla estas fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0,05 % por 5 minutos, y se lavaron con abundante agua para eliminar el exceso del desinfectante. Posteriormente, se procedió a realizar una muestra compuesta con todas las cascaras de ajo y cebolla de cada sitio de colecta. De esta muestra compuesta se tomaron 600 g por triplicado, los cuales fueron deshidratados en un horno de convección convexa (Ecoshel FA-45B) a 50 °C por 24 horas. Esto de acuerdo a resultados previos realizados en nuestro grupo de investigación (Armenta-Gorosave *et al.*, 2023).

Formulación del sazónador

Finalizado el proceso de deshidratación de cada una de las muestras, se procedió a realizar la maceración de las cascaras de ambas especies de forma separada, empleando un molino-pulverizador eléctrico para obtener un tamaño de muestra de 200 micras (0,075 mm). Posteriormente, se generó una muestra compuesta de ambos residuos en una proporción de 60:40 (polvo de ajo: polvo de cebolla) en base a 100 gramos (Figura 1).

Figura 1

Paso a paso para formular un sazónador a partir de residuos: a. selección b. procesamiento c. mezcla d. producto final



Análisis fisicoquímicos realizados a los sazónadores

Los análisis fisicoquímicos que se describen a continuación se desarrollaron de igual manera para los cuatro sazónadores evaluados en este estudio: comenzando con la propuesta alternativa de esta investigación (sazónador de ajo/cebolla) y a los tres sazónadores restantes,

denominados: sazónador comercial 1, sazónador comercial 2 y sazónador comercial 3.

Contenido de cloruro de sodio en los sazónadores

Para cada sazónador se procedió a efectuar la determinación de cloruro por triplicado usando el método de Mohr de acuerdo a Chavez-Ramos y

Bonita-Martínez (2014), por lo cual se emplearon 500 mg del sazoador a base de ajo/cebolla y la misma cantidad para los tres sazoadores comerciales usados para la comparación. Las mediciones de cada muestra de sazoador se realizaron por triplicado. Para la determinación de los valores se usó la **Ecuación 1.**, usando como blanco agua destilada:

Ec 1.

$$\% NaCl = \frac{0,0585 \times N(vl - Vo)}{m} \times 100$$

Donde:

N = normalidad de la solución plata;

vl = cm³ gastado del nitrato de plata en la titulación;

Vo = cm³ gastado de en el ensayo blanco;

M = masa de gramos de la muestra empleada.

Determinación de sodio en los sazoadores

La determinación de sodio en cada uno de los sazoadores, se realizó por triplicado empleando un analizador de ion Sodio LAQUA twin B-722 (Horiba). Para lo cual 500 mg de cada sazoador se mezcló con 3 ml de agua desionizada y bidestilada. Posteriormente, 100 µL fueron colocados en el sensor de equipo y se registró la lectura.

Determinación de compuestos fenólicos

Para la determinación de los compuestos fenólicos muestras de 500 mg de cada sazoador, se extrajeron con una solución de metanol al 80 % y después de centrifugarla a 10,000 rpm por 5 min, se colectó el sobrenadante y se le adicionó el reactivo de Folin al 0,25 N de acuerdo a la metodología reportada por Gonzalez-Mendoza et al. (2022). Los resultados se expresaron en equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g de base seca), usando una curva de calibración con ácido gálico.

Determinación de proteína

El análisis de proteínas para cada uno de los sazoadores, se llevó a cabo usando la metodología sugerida para Bradford (Rosa et al., 2020). La cual consistió en mezclar 500 mg de cada sazoador con 3 mL de una solución amortiguadora de fosfatos (100 mM a pH 6,5). Posteriormente, se centrifugó a 10,000 rpm por 3 min empleando una centrifuga refrigerada a 6 °C. Se recolectó el sobrenadante y se procedió a la determinación de la proteína con la norma Mexicana NMX-F-068-S-1980 (NMX-F,1980). Finalizado el periodo de incubación, las muestras de cada sazoador, fueron analizadas al espectrofotómetro empleando una longitud de onda de 595 nm. Los valores obtenidos se expresaron en mg/mL.

Determinación de actividad antioxidante

Para la determinación de la actividad antioxidante, 500 mg de cada sazoador se mezcló con 1000 µL de solución metanólica de DPPH, de acuerdo a lo reportado por González-Mendoza et al. (2022). Posteriormente, las muestras se incubaron por 30 min a temperatura ambiente (25 °C) en completa oscuridad. Finalmente se registraron las lecturas de cada muestra a 517 nm usando un UV/VIS espectrofotómetro (Biomate). Cada lectura se realizó por triplicado y la actividad antioxidante se obtuvo usando la **Ecuación 2:**

Ec 2.

$$\text{Inhibición de DPPH (\%)} = [(A_{\text{Control}} - A_{\text{muestra}} / A_{\text{Control}}) \times 100]$$

Dónde:

A control = es la absorbancia de la reacción del DPPH en agua;

A muestra = es la absorbancia de la reacción del DPPH en presencia de cada muestra.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de cada uno de las variables fisicoquímicas evaluadas en los cuatro sazónadores, se empleó una prueba de ANOVA de una sola vía con tres repeticiones y un análisis pos hoc de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el paquete Statistica (versión 9,0). En todos los casos, un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

Resultados y discusión

Contenido de sodio y NaCl

En este aspecto, nuestros resultados mostraron que la mezcla de cascara de ajo/cebolla en proporción 60:40, presentó valores de sodio significativamente menores (60,9 mg/100 g) comparados con los valores del sazónador 1 (136,6 mg/100 g), y el sazónador 3 (236,66 mg/100 g). Caso contrario sucedió con el sazónador 2 (59 mg/100 g), donde el valor de sodio fue similar al sazónador de ajo/cebolla (Tabla 1). Valores similares fueron observados con respecto al contenido de NaCl en cada una de las muestras analizadas, siendo la mezcla de ajo/cebolla la de menor porcentaje (4,7%) respecto a los sazónadores comerciales 1,2 y 3, los cuales

obtuvieron porcentajes mayores (54,79 %, 33,35% y 70 %), respectivamente (Tabla 1). En este sentido, Faiza *et al.* (2023), en su estudio de sazónadores reportaron que los principales minerales presentes en cascara de ajo y cebolla son el calcio y el potasio; en el caso de sodio este está presente en cantidades mínimas. Así mismo, Carreón-Delgado *et al.* (2023) mencionan un alto contenido de bioactivos presentes en la cascara de ajo, con actividad antioxidante y antimicrobiana, que pueden ser una opción para el desarrollo de aditivos alimenticios. Es por ello, que consideramos la elección de estas dos hortalizas pudo favorecer en gran medida en los bajos niveles de sodio en el sazónador alternativo.

Por otra parte, propiedades antihipertensivas han sido reportadas en ajo y cebolla como resultado de su contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Naseri, *et al.*, 2008). Estas dos especies, también promueven la activación de mecanismos de señalización a nivel celular que involucra la producción de óxido nítrico (NO) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) que actúan en la reducción de la presión arterial (Ried y Fakler, 2014).

Tabla 1

Evaluación de la presencia de contenido de sodio y contenido de NaCl, presente en los cuatro sazónadores analizados

Sazónadores	Sodio (mg/100g)	Cloruro de sodio (%)
Sazónador ajo/cebolla	60,67 ± 1,23 ^a	4,7 ± 0,62 ^a
Sazónador comercial 1	136,6 ± 3,48 ^b	54,79 ± 2,48 ^b
Sazónador comercial 2	59 ± 0,81 ^a	33,35 ± 1,56 ^c
Sazónador comercial 3	236,66 ± 5,84 ^c	70 ± 4,73 ^d

Nota. Valores de media ± desviación estándar de 3 réplicas, letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

El análisis de compuestos fenólicos y actividad antioxidantes del sazónador de ajo/cebolla y

los sazónadores comerciales se muestran en la Tabla 2. Encontrándose que la mezcla de ajo/cebolla presentó los mayores resultados o valores significativos en cuanto al contenido de compuestos fenólicos ($24,18 \pm 0,10$ mgEAG/g

B.S) y actividad antioxidante ($76 \pm 0,80 \%$) con respecto a los tres sazónadores comerciales restantes. La presencia de un alto contenido de compuestos fenólicos y su relación con el incremento en la capacidad antioxidante ha sido previamente reportada en ajo y cebolla (Zeb, 2020; Joković *et al.*, 2024). En este estudio, es posible indicar que la relación y cantidad empleada de cascara de ajo/cebolla en nuestro sazónador alternativo podría estar asociadas con los altos niveles de compuestos fenólicos y actividad antioxidante que fue menor en los sazónadores comerciales aquí evaluados.

Contenido de proteínas

En cuanto al valor de proteínas, nuestros resultados mostraron que el sazónador propuesto de ajo/cebolla presentó un contenido de proteína de $7,30 \pm 0,30$ (mg/g B.S), lo cual fue

significativamente superior a los sazónadores comerciales (Tabla 2). Valores altos de proteínas en la cascara de ajo han sido previamente reportados por Kallel *et al.* (2017), quienes observaron valores de proteínas iguales a 8,4 mg/g en biomasa, cuando fueron secadas para ser empleadas en la elaboración de pan. De igual manera, el aporte de proteínas reportado en el polvo de cascara de cebolla también debe ser destacado ya que la cantidad de proteína presente en la cebolla representa alrededor de 2,5 a 3 % (Michalak *et al.*, 2020). De tal forma que, en el presente estudio, se atribuye el alto valor de proteína encontrado en el sazónador alternativo debido a la mayor proporción de cascara de ajo (60 g) empleada en la mezcla, que sumado con la cantidad de proteína presente en la cebolla (2,5 a 3%) influyó en la significancia de su contenido final de proteína (Tabla 2).

Tabla 2

Contenido de proteínas y compuestos bioactivos del sazónador de ajo/cebolla

Sazonadores	Proteínas (mg/g B.S)	Compuestos fenólicos (mgEAG/g B.S.)	% inhibición de DPPH
Sazonador ajo/cebolla	$7,30 \pm 0,30^a$	$24,18 \pm 0,10^a$	$76,00 \pm 0,80^a$
Sazonador comercial 1	$3,0 \pm 0,57^c$	$19,43 \pm 0,30^b$	$26,74 \pm 1,64^a$
Sazonador comercial 2	$2,85 \pm 0,89^c$	$18 \pm 0,76^c$	$28,70 \pm 1,48^a$
Sazonador comercial 3	$2,35 \pm 1,08^c$	$20,41 \pm 1,84^d$	$18,90 \pm 0,83^c$

Nota. B.S. (base seca), ND (no se detectó). Valores de media $\pm$ desviación estándar de 3 réplicas, letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

El empleo de residuos como la cascara de ajo y cebolla como aditivos en la formulación de alimentos ha sido previamente reportado, por ejemplo, en la formulación de panes donde se observó que la adición del 3 % de residuos de ajo, generaron un incremento en los compuestos fenólicos y actividad antioxidante sin afectar sus propiedades reológicas (Huda *et al.*, 2023). Por su parte Kumar *et al.* (2022b) mencionaron que existe un amplio potencial del uso de la cascara de cebolla en la formulación de diversos alimentos como pastas, carne y como clarificadores de jugos. Recientemente,

Bains *et al.* (2023) indicaron la importancia de los residuos de cebolla, destacando la cascara como fuente de compuestos bioactivos con propiedades anticancerígenas, por lo que actualmente se promueven nuevas tecnologías de extracción de estos metabolitos presentes en la cascara de esta hortaliza.

De acuerdo con Delgado y Bernal (2013), los productos procesados como los sazónadores presentan gran cantidad de sodio lo que presume un riesgo al consumidor, quien generalmente

lo usa sin verificar su tabla nutrimental. Pero mucho antes, Andrade *et al.* (2007), también indicaban el potencial de residuos de camarón en la formulación de un sazónador, pero este presentaba niveles altos de NaCl (39 g/100 g) en el producto, valor mucho mayor al nivel presentado por el sazónador propuesto en este estudio igual a 4,7 g/100 de producto. Por lo cual, contar con alternativas como la desarrollada en esta investigación, puede brindar opciones más saludables al consumidor en la ingesta de NaCl. No obstante, es importante recordar el potencial de estos residuos como inductores de alergias en la población en general (Armentia *et al.*, 2020). Por lo cual, el uso del polvo de cebolla/ajo en la formulación de alimentos siempre debe manejarse dentro de los niveles de consumo permisibles, considerando y alertando del posible riesgo de alergias en los consumidores.

Finalmente, futuros estudios son requeridos para evaluar el impacto tanto de la cascara de ajo, como de cebolla en la reducción de enzimas relacionadas con la presión arterial alta, como la angiotensina. Aunque existen estudios sobre el efecto de extractos de la cascara de ajo y cebolla, los mecanismos de inhibición y de cardioprotección no son completamente claros (Brüll *et al.*, 2015), demostrando la necesidad de ahondar en estas temáticas.

Conclusiones

La revalorización de residuos de hortalizas como el ajo y cebolla es una opción viable para la obtención de un producto alternativo con un alto valor de compuestos bioactivos a favor de la salud del consumidor. En la presente investigación se reporta la formulación de un sazónador a base de polvo de cascara de ajo y cebolla deshidratada a 50°C, cuya combinación (60:40) permite tener bajo nivel de sodio con valores importantes de compuestos bioactivos, desarrollado con tecnología accesible a productores.

En comparación con los 3 sazónadores comerciales, nuestra propuesta o sazónador de cebolla/ajo arroja menores porcentajes de sal, cloruro de sodio y mayores niveles de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

La revalorización de los residuos vegetales permite generar alternativas alimenticias sustentables como es el caso de los sazónadores con componentes y características especiales, para coadyuvar en la salud de los consumidores. No obstante, futuros estudios deben encaminarse a identificar el efecto de extractos de esta mezcla en la inhibición de enzimas relacionadas con la presión arterial. Lo cual, contribuiría a la incorporación de este producto en el desarrollo de aditivos con bajo aporte de sodio a la población.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Baja California, por la financiación de este proyecto.

Referencias

- Andrade, P.R.D., Torres, G.R., Montes, M.E.J., Chávez, B.M.M. y Naar, O.V. (2007). Elaboración de un sazónador a base de harina de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus* sp). *Vitae*, 14(2), 109-113.
- Armenta-Gorosave, J.C., Méndez-Trujillo, V., Gonzalez Mendoza, D., González-Valencia, D.G. y Olvera Sandoval, C. (2023). Effect of dehydration of tomato waste on the content of phenolic compounds, carotenoids and antioxidant capacity. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 67-75. <https://doi.org/10.23850/24220582.5780>
- Armentia, A., Martín-Armentia, S., Pineda, F., Martín-Armentia, B., Castro, M., Fernández, S., Moro, A. y Castillo, M. (2020). Allergic hypersensitivity to garlic and onion in children and adults. *Allergol Immunopathol*, 48(3):232-236. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2019.06.005>
- Avila, N. de D., Tirado-Gallegos, J.M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M.O. y Cambero Campos, O.J. (2023). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas

- de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607
- Bains, A., Sridhar, K., Singh, B.N., Kuhad, R.C., Chawla, P. y Sharma, M. (2023). Valorization of onion peel waste: From trash to treasure. *Chemosphere*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140178>
- Brüll, V., Burak, C., Stoffel-Wagner, B., Wolfram, S., Nickenig, G., Müller, C., Langguth, P., Altheld, B., Fimmers, R., Naaf, S., Zimmermann, B. F., Stehle, P., & Egert, S. (2015). Effects of a quercetin-rich onion skin extract on 24 h ambulatory blood pressure and endothelial function in overweight-to-obese patients with (pre-)hypertension: a randomised double-blinded placebo-controlled cross-over trial. *The British journal of nutrition*, 114(8), 1263–1277. <https://doi.org/10.1017/S0007114515002950>
- Campos-Nonato, I., Hernández-Barrera, L., Flores-Coria, A., Gómez-Álvarez, E. y Barquera, S. (2021). Prevalencia, diagnóstico y control de hipertensión arterial en adultos mexicanos en condición de vulnerabilidad. Resultados de la Ensanut 100k. *Salud Publica Mex*, 61(6), 888–897. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342019000600888#:~:text=La%20prevalencia%20de%20hipertensi%C3%B3n%20arterial%20en%20adultos%20mexicanos%20en%20condici%C3%B3n,un%20m%C3%A9dico%20\(cuadro%20I\)](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342019000600888#:~:text=La%20prevalencia%20de%20hipertensi%C3%B3n%20arterial%20en%20adultos%20mexicanos%20en%20condici%C3%B3n,un%20m%C3%A9dico%20(cuadro%20I))
- Carreón-Delgado, D.F., Hernández-Montesinos, I.Y., Rivera-Hernández, K.N., Del Sugeyrol, Villa-Ramírez, M., Ochoa-Velasco, C.E. y Ramírez-López, C. (2023). Evaluation of pretreatments and extraction conditions on the antifungal and antioxidant effects of garlic (*Allium sativum*) peel extracts. *Plants (Basel)*, 3;12(1):217. <https://doi.org/10.3390/plants12010217>
- Chadorshabi, S., Hallaj-Nezhadi, S. y Ghasempour, Z. (2022). Red onion skin active ingredients, extraction and biological properties for functional food applications *Food Chem*, 386, 132737. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132737>
- Chávez-Ramos, K. y Bonilla-Martínez, D. (2014). La formación de precipitados bajo el efecto de la acidez en el método de Mohr. *Educación química*, 25(4), 440–445. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70064-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70064-3)
- Concha, C., González, G., Piñuñuri, R. y Valenzuela, C. (2019). Relación entre tiempos de alimentación, composición nutricional del desayuno y estado nutricional en estudiantes universitarios de Valparaíso, Chile. *Rev. Chil. Nutr.* 46 (4), 400–408. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182019000400400
- Delgado-Peralta, J. y Bernal-Rivas, J. (2013). Prácticas vinculadas al consumo de sal en pacientes con enfermedad renal. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 26(2), 69–72. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522013000200002
- Esquivel Solís, V. y Jiménez Fernández, M. (2010). Aspectos nutricionales en la prevención y tratamiento de la hipertensión arterial. *Rev Costarricense de Salud Pública*, 19 (1), 42–47. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-581707>
- Faiza, A., Ali, I., Fakhar, I., Muhammad, A., Thir, Z., Rbia, A., Saurabh, A., Maha, R., Saim, N., Shazia, A., Ghulam, H., Hafiz, A.R.S., Qasim, A., Momina, B., Fariha, B., Foaya, G., Nosheen, A. y Mohid, A.S. (2023). Valorization of the phytochemical profile, nutritional composition, and therapeutic potentials of garlic peel: a concurrent review. *Int. J. Food Prop*, 26:1, 2642–2655. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2251713>
- Gaitán-Hernández, R. y Silva-Huerta, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista mexicana de micología*, 43, 43–47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88346175007>
- González Mendoza, D., Tzintzun-Camacho, O. y Méndez-Trujillo, V. (2022). Determination of antioxidant activity and phenolic compounds in different Mexican craft beers. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 46–54. <https://doi.org/10.23850/24220582.4713>
- Huda, A.R., Shabir, A., Muhammad, I., Muhammad, A. y Mohd, A.S. (2023). Valorization and structural characterization of onion peel powder for the development of functional bread, *International Journal of Food Properties*, 26:1, 2553–2562. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2250573>
- Joković, N., Matejić, J., Zvezdanović, J., Stojanović-Radić, Z., Stanković, N., Mihajilov-Krstev, T. y Bernstein, N. (2024). Onion peel as a potential source of antioxidants and antimicrobial agents. *Agronomy*, 14, 453. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030453>
- Kallel, F. y Ellouz, C.S. (2017). Perspective of Garlic Processing Wastes as Low-Cost Substrates for Production of High-Added Value Products: A Review. *Environ. Prog. Sustain. Energy*. 36(6), 1765–1777. <https://doi.org/10.1002/ep.12649>
- Kumar, M., Barbhai, M.D. Hasan, M., Dhumal, S., Singh, S., Pandiselvam, R., Rais, N., Natta, S., Senapathy, M., Sinha, N. y Amarowicz, R. (2022). Onion (*Allium cepa* L.) peel: A review on the extraction of bioactive compounds, its antioxidant potential, and its application as a functional food ingredient. *Journal of Food Science*. 87 (10): 4289–4311. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16297>

- Lanzotti, V. (2006). The analysis of onion and garlic. *J Chromatogr A*. 21;1112(1-2): 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.016>
- Michalak-Majewska, M., Teterycz, D., Muszyński, S., Radzki, W. y Sykut-Domańska, E. (2020). Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. *PLoS One*, 15 (1): e0227942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227942>
- Naseri, M.K., Arabian, M., Badavi, M. y Ahangarpour, A. (2008). Vasorelaxant and hypotensive effects of *Allium cepa* peel hydroalcoholic extract in rat. *Pak. J. Biol. Sci.* 11, 1569–1575. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18819643/>
- Norma Mexicana. NMX-F-068-S-1980. (1980). Alimentos. Determinación de Proteínas. Foods. Determination of Proteins. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. NMX-F.
- Ried, K. y Fakler, P. (2014). Potential of garlic (*Allium sativum*) in lowering high blood pressure: Mechanisms of action and clinical relevance. *Integr Blood Press Control*. 7:71–82. <https://doi.org/10.2147/IBPC.S51434>
- Rosa, L., Santos, M., Abreu, J., Balthazar, C., Rocha, R., Silva, H., Esmerino, E., Duarte, M., Pimentel, T., Freitas, M., Silva, M., Cruz, A. y Teodoro, A. (2020). Antiproliferative and apoptotic effects of probiotic whey dairy beverages in human prostate cell lines. *Food Research International*, 137:109450. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109450>
- Sedó-Masís, P. (2001). Alimentos funcionales: análisis general acerca de las características químico - nutricionales, desarrollo industrial y legislación alimentaria. *Rev. Costarric. salud pública* 10 (8),34-39. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-581429>
- Silveira-Rodríguez, M., Monereo, M.S. y Molina, B.B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?. *Rev. Esp. Salud Publica*, 77 (3),317-331. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272003000300003
- Zeb A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *J Food Biochem*. 44(9): e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>

Efecto de la congelación sobre los polifenoles y capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum* (eugenio)

Effect of freezing on polyphenol levels and antioxidant capacity of the fruit pulp of *Syzygium paniculatum* (eugenio)

Beatriz Estella López–Marín^a  beatriz.lopez@udea.edu.co; Diego Fernando Noguera–Córdoba^a  diego.noguera@udea.edu.co;
Julián Camilo Aragón–Rincón^b  julian.arango@udea.edu.co

^aGrupo Impacto de los Componentes Alimentarios en la Salud (ICAS), Universidad de Antioquia. Calle 67 No. 53 – 108 Medellín – Colombia.

^bGrupo Micología Medica y Experimental. Corporación para investigaciones Biológicas y Universidad de Antioquia. Carrera 72A #78b–141 Medellín – Colombia.

Recibido: 01/03/2024 Aceptado: 23/04/2024

Citar, APA: López–Marín, B. A., Noguera–Córdoba, D. F., y Aragón–Rincón, J. M. (2024). Efecto de la congelación sobre los polifenoles y capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum* (eugenio). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 32–41. <https://doi.org/10.23850/24220582.6241>

Resumen *Syzygium paniculatum* o eugenio es un árbol empleado con fines ornamentales. Este produce un fruto comestible y caracterizado por tener polifenoles y alta capacidad antioxidante, sin embargo, es poco conocido en Colombia y muchos de sus frutos se desperdician. Una alternativa para incentivar su consumo es la congelación. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la congelación sobre los niveles de polifenoles y la capacidad antioxidante del fruto de *S. paniculatum*. Los frutos fueron recolectados en Medellín y Granada, Colombia. Posteriormente, se obtuvo la pulpa y fue sometida a congelación -20°C . Se determinó la cantidad de polifenoles usando el método de Folin–Ciocalteu y la capacidad antioxidante con la técnica CARO–H (capacidad de absorción de radicales de oxígeno hidrofílicos), las mediciones se realizaron antes de la congelación (línea base), 15 y 45 días post–congelación. Con respecto al contenido de polifenoles se encontró una línea base con un promedio de $826 \pm 6,95$ mg EAG/100 g muestra ($N = 6$). Después de la congelación se evidenció una disminución en la concentración de polifenoles en los dos tiempos de almacenamiento (15 y 45 días). En cuanto a la capacidad antioxidante el valor inicial CARO–H en la pulpa fresca fue de $935 \pm 7,04$ $\mu\text{mol ET}/100$ g muestra. Durante el tiempo de almacenamiento no hubo cambios significativos en la capacidad antioxidante. Al corroborar que posterior a un proceso de congelación se mantiene una importante capacidad antioxidante, se considera, que el eugenio pudiera ser una alternativa como un alimento con potencial inmunomodulador y de gran importancia en la prevención del cáncer.

Palabras clave: Anti–cancerígeno, CARO–H, compuestos fenólicos, inmunomodulador, Mirtáceas.

Abstract *Syzygium paniculatum*, or eugenio, is a tree used for ornamental purposes. It produces an edible fruit characterized by its polyphenol content and high antioxidant capacity, yet it remains relatively unknown in the community and many of its fruits go to waste. One alternative to encourage its consumption is freezing. This study aimed to evaluate the effect of freezing on the levels of polyphenols and antioxidant capacity of *S. paniculatum* fruit. The fruits were collected in Medellín and Granada, Colombia. Subsequently, the pulp was obtained and subjected to freezing at -20°C . Polyphenol content was assessed using the Folin–Ciocalteu method, and antioxidant capacity was measured using the ORAC–H (Oxygen Radical Absorbance Capacity hydrophilic) technique. Measurements were taken before freezing (baseline), and at 15 and 45 days post–freezing. The measurement of polyphenols revealed a baseline with an average of 826 ± 6.95 mg GAE/100 g sample ($N = 6$). After freezing, a decrease in polyphenol concentration was observed at both 15 and 45 days. Regarding antioxidant capacity, the initial ORAC–H value in the fresh pulp was 935 ± 7.04 $\mu\text{mol TE}/100$ g sample. During storage, there were no significant changes in antioxidant capacity between day 0 and 45. By confirming that a significant antioxidant capacity is maintained even after a freezing process, eugenio can be considered as a food with potential immunomodulatory properties and importance in cancer prevention.

Keywords: Anti–cancer, immunomodulator, Myrtaceae, ORAC–H, phenolic compounds.

Introducción

Colombia es un país con gran diversidad de árboles productores de diferentes frutos comestibles, de los cuales un gran porcentaje son conocidos y utilizados en la industria gastronómica y en la cocina de muchas familias, sin embargo, otro porcentaje es totalmente desconocido. Uno de los menos conocidos por la población colombiana, es el fruto la especie *Syzygium paniculatum* (Gaertn.), la cual pertenece a la familia Myrtaceae y es originaria de Australia (Maldonado *et al.*, 2013).

Comúnmente, *S. paniculatum* es llamado el eugenio, un árbol de tamaño pequeño o mediano que crece en promedio 15 metros, con una corteza escamosa, fibrosa, con hojas opuestas, con floración en tonos blancos en los extremos de sus ramas, la cual se da usualmente entre los meses noviembre y febrero (Canberra, 2024).

Tras varios procesos de investigación, en Colombia y otros países, se ha encontrado que *S. paniculatum* cuenta con un importante contenido de polifenoles y alta capacidad antioxidante, lo cual es prometedor porque puede ser un interesante alimento con propiedades anticancerígenas en humanos (Abdulrahman & Hama, 2023). Así mismo, investigaciones reportan que el fruto de *S. paniculatum* comparado con otras frutas como manzanas, melones y peras presenta un contenido fenólico total más bajo, sin embargo, frente al limón, la manzana, el kiwi y el melocotón presenta un contenido fenólico total más alto (Ishiwata *et al.*, 2007; Vuong *et al.*, 2014). Principalmente, su contenido fenólico total está representado por flavonoides en un 54 % y proantocianidinas en un 30 % (Vuong *et al.*, 2014). Las proantocianidinas tienen efectos sobre el mantenimiento de la función epitelial, disminución de la presión

arterial, capacidad antioxidante y vasodilatación endotelial (Delgadillo & Calani, 2014). Por otra parte, los flavonoides se destacan por su capacidad antioxidante y efectos protectores en diabetes mellitus II, cáncer, cardiopatías, infecciones víricas, úlcera estomacal y duodenal, inflamaciones, efecto antiviral y antialérgico (Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Panche *et al.*, 2016).

El fruto de la planta eugenio puede constituir una fuente de aporte nutricional para la población, en aras de cubrir deficiencias en el consumo de frutas, además, una característica importante del fruto es su fácil adaptabilidad a las condiciones climáticas de gran parte del territorio de Colombia presentando floración recurrente (Maldonado *et al.*, 2013).

Aunque *S. paniculatum* no es una especie originaria de Colombia, actualmente el país tiene entre cuatro y cinco especies representativas de dicha familia, las cuales son plantadas como árboles ornamentales o frutales (Parra-O, 2014). Adicionalmente, en Colombia se han descrito entre 160 y 180 especies pertenecientes a la familia Mirtácea, constituyendo entre el 0,7 y el 0,8 % de las plantas angiospermas en el territorio nacional (Parra-O, 2014).

En Antioquia, *S. paniculatum* se ha subestimado, limitando su uso a la producción ornamental, actuando como cercas vivas y participando en la recuperación de suelos degradados. Esta especie presenta una gran distribución en todo el territorio antioqueño y aunque su fruto es comestible, la población lo considera de poco interés comercial, mientras que en algunas zonas del país lo aprovechan para elaboración de jaleas, mermeladas y jarabes (Camelo, 2016).

Para la conservación de los componentes nutritivos y funcionales de los alimentos, se emplean varios métodos, siendo uno de ellos la congelación, este es un método de conservación muy común y de fácil aplicación, que emplea temperaturas de -18 a -25 °C, haciendo que el agua de los alimentos pase a un estado sólido, disminuyendo su actividad acuosa y limitando la multiplicación de los microorganismos (Noguera *et al.*, 2018). Sin embargo, no es muy empleado en frutas o verduras enteras para posterior consumo, pues las propiedades sensoriales, tienden a perderse, por lo que el alimento debe ser tratado previamente con otro proceso, como convertirlo en pulpa o extracto, trozos más pequeños y jugos entre otros (Noguera *et al.*, 2018), además, con el empleo de estas bajas temperaturas se tiende a disminuir el contenido de algunos componentes saludables y nutritivos propios de los alimentos (Bonat-Celli *et al.*, 2016).

Conociendo las propiedades nutricionales del fruto de eugenio y el poco aprovechamiento de este en la alimentación humana, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de congelación sobre los niveles de polifenoles y la capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum*.

Materiales y métodos

Zona de estudio

Estudio observacional, cuasiexperimental, longitudinal, realizado en los municipios de Granada y Medellín ubicados en el departamento de Antioquia-Colombia. Los dos municipios presentaban una temperatura que oscilaba entre 25 ± 3 °C, factores típicos del clima templado de la zona, más en épocas del fenómeno del niño dichas temperaturas podían oscilar entre 35 ± 3 °C.

Obtención de pulpa ver el comentario adjunto una sugerencia de reestructuración

La recolección del fruto se realizó en la segunda temporada de cosecha (entre los meses mayo a julio) de las tres que se efectúan al año. Se tomaron las muestras en los dos municipios, en apoyo con la organización Tejipaz del municipio de Granada-Antioquia.

El fruto recolectado presentaba madurez y condiciones organolépticas aptas, procediendo a almacenarse en neveras de icopor para conservarlos a una temperatura de 4 °C, para ser procesado en el laboratorio de alimentos de la Universidad de Antioquia en Medellín.

Antes de obtener la pulpa, el fruto fue lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio a 150 ppm durante 20 minutos, con el objetivo de eliminar cualquier microorganismo, posteriormente se le extrajo la semilla interna y la pulpa fue sometida a un proceso de licuado con un equipo semi industrial (Oster®), en una relación sólido líquido de 4/1 (4 g de la fruta sin semilla en 1 mL de agua potable), posteriormente el licuado fue pasada por un cernidor y almacenado en bolsas flexibles de PEBD con cierre hermético para luego ser congeladas a -20 °C en un congelador industrial (Thermo scientific®).

Extracto etanólico

Para la determinación de polifenoles y capacidad antioxidante CARO se preparó un extracto etanólico de la siguiente forma: 200 mg de pulpa fueron pesados en viales de 2 mL, posteriormente, se adicionó etanol al 70 % aforando a un volumen de 2 mL y se sonicó durante 20 minutos en ultrasonido de baño (Hielscher®) a temperatura ambiente. Posteriormente, se centrifugó a 13,000 RMP -4 °C durante 10 minutos (Thermo

scientific®). Finalmente, el sobrenadante se transfirió a un balón volumétrico de 2 mL y se aforó nuevamente con etanol al 70 %.

Determinación de polifenoles

El contenido de los polifenoles se determinó el día cero (antes de congelación) y a los 15 y 45 días posterior al proceso de congelación, mediante un método colorimétrico usando el ensayo Folin-Ciocalteu, el cual fue realizado siguiendo los procedimientos descritos por Bravo *et al.* (2015).

En el procedimiento se emplearon 125 μ L del extracto etanólico de la pulpa de *S. paniculatum*. El método Folin-Ciocalteu emplea ácido fosfotúngstico como oxidante, el cual en un medio alcalino es fácilmente reducido por grupos fenólicos produciendo una coloración azul, con una absorbancia máxima a 765 nm, siendo cuantificada por espectrofotometría empleando una curva de calibración con Ácido Gálico (3,4,5-Trihydroxybenzoic acid) como estándar de referencia, en un rango de concentraciones entre 10 -100 μ g/mL (Fluka Analytica®, Sigma-aldrich®) (Bravo *et al.*, 2015; Singleton *et al.*, 1999).

Determinación de la capacidad antioxidante

Se evaluó la capacidad antioxidante el día cero (antes de congelación) y a los 15 y 45 días posterior al proceso de congelación, empleando la técnica CARO-H o Capacidad de absorción de radicales de oxígeno hidrofílico conocida en inglés como (hydrophilic Oxygen radical absorbance capacity - ORAC-H), este ensayo se adaptó de procedimientos descritos previamente por Bravo *et al.* (2015). En breve, se empleó AAPH (diclorhidrato de 2,2-azobis (2-amidinopropano)) como generador de radicales peroxilo y Trolox como estándar (Rango 25 - 200 μ M), así mismo se usó fluoresceína

como sonda fluorescente. Brevemente, se mezclaron 25 μ L del extracto etanólico o estándar Trolox con 150 μ L de fluoresceína (1 μ M) y se pre incubaron a 37 °C durante 30 min antes de agregar 25 μ L de solución AAPH (200 mM). Luego se evaluó la fluorescencia a una longitud de onda de 520 nm cada dos minutos, durante 120 minutos, utilizando un lector de microplacas multimodo Synergy HT (BioTek Instruments, Inc.; Winooski, EE. UU.). Los valores relativos de CARO se calcularon utilizando las diferencias de áreas bajo las curvas de desintegración y se expresaron como μ mol TE/100 g de muestra.

Análisis de datos

El análisis de los datos fue llevado a cabo con el paquete estadístico Graph Pad Prism V8 (GraphPad Software, Inc, La Jolla, CA, USA). Para todos los datos se aplicó un chequeo de normalidad empleando el test Shapiro Wilk. Además, los datos fueron graficados mostrando la media y la desviación estandar (SD). Finalmente, la comparación entre las diferentes mediciones fue desarrollada empleando el test: "T de Student" y solo se consideraron los valores de $p < 0,05$ estadísticamente significativos.

Resultados y Discusión

Curva de calibración cantidad de polifenoles

El análisis cuantitativo se realizó por el método de Folin-Ciocalteu y para ello se construyó una curva de calibración con diferentes concentraciones ácido gálico. Entre los parámetros de la curva de calibración se obtuvo un valor de r^2 de 0,9996, el cual valida la linealidad de la absorbancia vs concentración. Los datos de la curva de calibración se muestran en la **Figura 1** y en la **Tabla 1**, se representan como absorbancia a 765 nm vs. Concentraciones (μ g/mL) de ácido gálico.

Figura 1

Curva de calibración para la medición de polifenoles

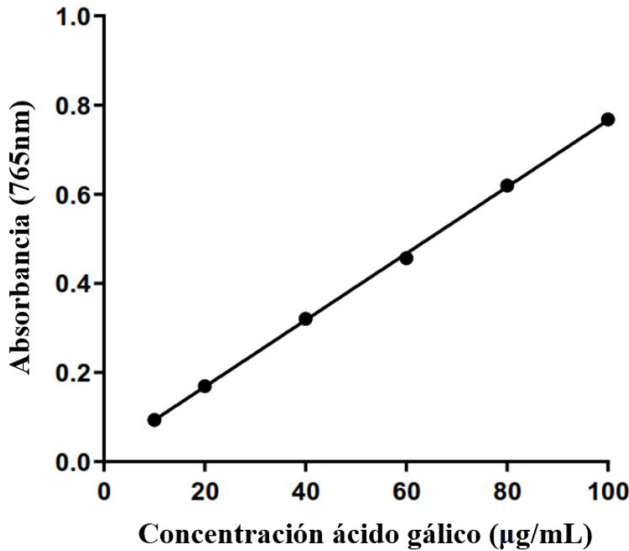


Tabla 1

Regresión lineal obtenida en la curva de calibración del ácido gálico

Parámetros de curva de calibración	
Rango	10 -100,0 µg/mL
Pendiente	0,007473 ± 0,00003934
Y-intercepto	0,01848 ± 0,002387
X-intercepto	-2,473
Bondad de ajuste	
r ²	0,9996
Sy.x	0,005314

Determinación de polifenoles

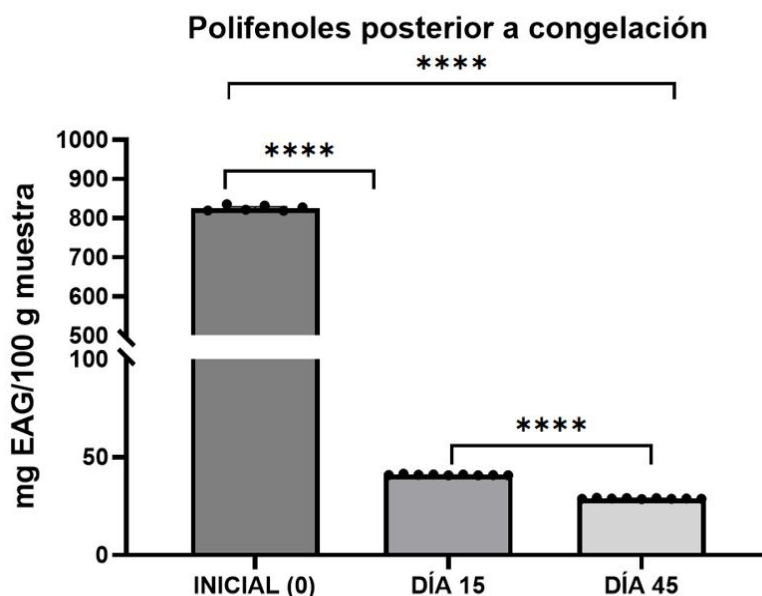
Se encontró una línea base con un promedio de 826 ± 6,95 mg EAG/100 g muestra (N = 6), esto indicó que los frutos de *S. paniculatum*, presentaban un alto contenido de polifenoles, antes de someterlos al proceso de almacenamiento por congelación. Posterior a la congelación se evidenció una disminución en la concentración de polifenoles y se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) entre la línea base (contenido inicial) y los días 15 ($40,7 \pm 0,26$ mg EAG/100 g muestra, N = 9) y 45 ($28,9 \pm 0,22$ mg EAG/100 g muestra,

N = 9) de almacenamiento, asimismo, también se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los días 15 y 45 (Figura 2).

Como se observa en la Figura 2, se encontró un contenido de polifenoles inicial dentro del rango 990 – 730 mg EAG/100 g muestra, lo cual ha sido reportado por Pérez-Mora & Mojica-Gómez (2018) para estadios de maduración 2 y 3 en el fruto de *S. paniculatum*. Valores similares han sido reportados para diferentes cultivos de Uchuva (*Physalis peruviana*) con contenidos entre 614 – 831 mg EAG/100 g muestra fresca (Rop et al., 2012).

Figura 2

Contenido de polifenoles totales en pulpa congelada durante almacenamiento a -20 °C



Nota. ****= $p < 0,0001$

Por otra parte, el contenido inicial de polifenoles encontrados en el fruto eugenio fue superior al reportado para arándanos (*Vaccinium corymbosum*) con 150 - 400 mg EAG/100 g en muestra fresca (Li *et al.*, 2017), pulpa de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) congelada 200 mg EAG/100 g muestra fresca (Franco-Tobón *et al.*, 2016), diferentes cultivos de fresas 8 - 208 mg EAG/100 g muestra fresca (*Fragaria x ananassa* Duch) (Nowicka *et al.*, 2019) y al reportado para otras especies de *Syzygium* como el Jambu air (*Syzygium aqueum* (Burm.f.) Alston.) con valores entre 218 - 452 mg EAG/100 g en muestra fresca (Tehrani *et al.*, 2011). Así mismo se ha documentado que el principal grupo de polifenoles presentes en el fruto eugenio son las antocianinas con un 68 % del total, siendo las malvidinas-diglucósido las de mayor abundancia (Pachulicz *et al.*, 2022).

En este estudio, durante el almacenamiento bajo congelación la pulpa del fruto eugenio presentó una pérdida elevada de los compuestos fenólicos, disminuyendo significativamente más

del 95 % para el día 15 y 45, respecto a su valor inicial, alcanzando un valor de $28,9 \pm 0,21$ mg EAG/100 g muestra para el día 45. Esta pérdida de polifenoles puede deberse a factores como la oxidación y la pérdida de agua. La oxidación durante el proceso de congelación puede alterar los polifenoles y contribuir a su disminución (Zaritzky, 2003). Igualmente, durante el proceso de congelación, el agua presente en las frutas puede formar cristales de hielo y a su vez este proceso puede dañar las estructuras celulares y liberar polifenoles al agua, lo que podría resultar en una pérdida de estos compuestos durante la descongelación y posterior procesamiento (Neri *et al.*, 2020).

Esta alta disminución en el contenido de compuestos fenólicos por congelación también ha sido reportada en otros alimentos como la berenjena, donde la congelación generó una pérdida entre el 77 - 88 % de fenoles (Vallespir *et al.*, 2019) y en cubos de manzana pérdidas del 45 % (Dalmau *et al.*, 2017). En un estudio llevado a cabo con cereza dulce, (var. "Bing") también se

encontró una marcada reducción del contenido total de compuestos fenólicos y antocianinas cuando se almacenó a $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ después de seis meses (Chaovanalikit & Wrolstad, 2004). En otro estudio realizado por Johnson *et al.* (2015), en jugo de fruto de Sauco Americano (*Sambucus nigra* subsp. *canadensis*) estos reportaron una pérdida de hasta el 72 % en los polifenoles respectó al valor inicial. Dichos autores atribuyen una disminución en los polifenoles debido a la pérdida de antocianinas que alcanzó una reducción del 82 % bajo congelación a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En general, la degradación de estos compuestos fenólicos puede atribuirse a varios factores. Por un lado, el elevado contenido del compuesto antocianino cianidina 3-glucósido, que es altamente reactivo, podría jugar un

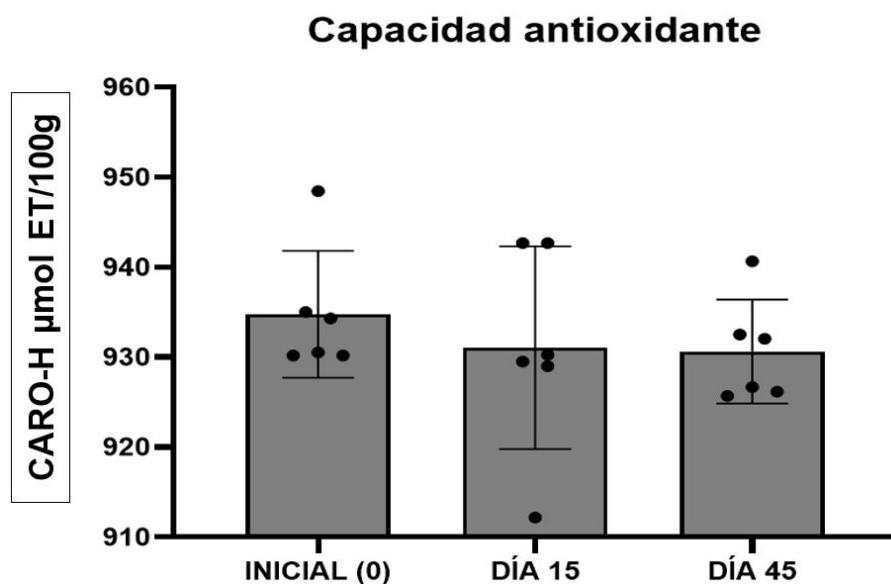
papel importante. Además, la alteración en la estructura celular causada por el proceso de congelación podría provocar la liberación de enzimas oxidorreductasas, al descongelarse la pulpa (Sablani, 2015). Por otro lado, la alta humedad también podría haber favorecido la degradación al solubilizar el oxígeno y facilitar la oxidación de los compuestos fenólicos (Franco *et al.*, 2016).

Capacidad antioxidante posterior a congelación

Se observó que la capacidad antioxidante no cambió significativamente entre el contenido inicial (línea base) y los días 15 y 45. Los valores obtenidos en $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ muestra corresponden a $935 \pm 7,0$; $931,1 \pm 11,3$ y $930,6 \pm 5,8$ respectivamente. Figura 3.

Figura 3

Variación de la capacidad antioxidante CARO-H en pulpa congelada a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$



Nota. Los puntos indican las repeticiones en cada medición.

Existen diferentes metodologías para evaluar la capacidad antioxidante de un alimento, entre ellas se encuentra la capacidad de absorción de los radicales de oxígeno (llamada en inglés ORAC), este método analiza

la capacidad de los compuestos antioxidantes (fenólicos y no fenólicos) para atrapar al radical peroxilo ($\text{ROO}\cdot$), responsable de la oxidación de los lípidos en los alimentos (Benítez-Estrada *et al.*, 2020).

Como se observa en la **Figura 3**, el valor inicial para CARO-H en la pulpa fresca fue de $935 \pm 7,04$ $\mu\text{mol ET}/100$ g muestra. Durante el tiempo de almacenamiento no hubo cambios significativos en la capacidad antioxidante entre el día 0 y 45 ($p > 0,05$). Un comportamiento similar fue reportado para puré de mora almacenado a -20 °C hasta el mes seis, tiempo en el cual se presentó un leve aumento de la capacidad antioxidante, los autores atribuyen este comportamiento a la formación de compuesto poliméricos con una mayor capacidad antioxidante (Hager *et al.*, 2008). En contraste, en un estudio realizado por Franco *et al.* (2016) usando pulpa de mortiño (*Vaccinium Meridionale* Swartz) congelada a -10 °C, encontraron una disminución significativa de la capacidad antioxidante el día 60 de almacenamiento, medida por el método FRAP.

En relación a esta variable es posible considerar que gran parte de la capacidad antioxidante de la pulpa del eugenio podría deberse a la presencia en su composición de sustancias como vitamina C y compuestos fenólicos de diferentes especies las cuales tienen la capacidad de donar electrones a otras moléculas, lo que le permite neutralizar a los radicales libres (Pachulicz *et al.*, 2022). Por otra parte, ya que no se presentó una pérdida significativa de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento de la pulpa de eugenio y a que el contenido de polifenoles disminuye drásticamente, se podría plantear la hipótesis de que los productos de degradación de los polifenoles retienen su capacidad antioxidante. Este comportamiento ha sido reportado por otros autores en cerezas dulces almacenadas a -23 y -70 °C durante 6 meses (Chaovanalikit & Wrolstad, 2004).

Conclusiones

Este trabajo evaluó el contenido polifenólico y capacidad antioxidante de la pulpa del fruto de *S. paniculatum* o eugenio antes y después de un proceso de congelación a -20 °C. A pesar

de evidenciarse una notable disminución de la cantidad de polifenoles los días 15 y 45 posteriores a la congelación, se corroboró que el fruto del eugenio mantiene su capacidad antioxidante. Este hallazgo sugiere la posibilidad de usar el fruto de esta especie vegetal como un alimento con potencial inmunomodulador que además pudiera ayudar a la prevención de diferentes tipos de cáncer. Finalmente, estos resultados subrayan la relevancia de investigar el potencial nutricional del fruto del eugenio y fomentar su cultivo en granjas o fincas locales. Asimismo, sugieren la posibilidad de un aumento en el consumo de este fruto en un futuro cercano, tanto en áreas urbanas medianas como en grandes ciudades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, específicamente a la Vicerrectoría de Extensión (Fondo Buppe) por la financiación de este proyecto, así como a la Comunidad del Municipio de Granada y a la organización Tejipaz por su ayuda en la recolección del fruto.

Referencias

- Abdulrahman, M. D., & Hama, H. A. (2023). Anticancer of genus *Syzygium*: a systematic review. *Exploration of Targeted Anti-tumor Therapy*, 4(2), 273. <https://doi.org/10.37349/ETAT.2023.00134>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V.E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(0), 1-9. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.244>
- Bonat-Celli, G., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280-304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>
- Bravo, K., Sepulveda-Ortega, S., Lara-Guzman, O., Navas-Arboleda, A., & Osorio, E. (2015). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape

- gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *J. Sci. Food Agric.* 95, 1562–1569, <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6866>.
- Camelo, M. (2016). *Contribución al estudio fitoquímico de frutos de Syzygium paniculatum* (G.) y evaluación de su actividad antioxidante. [Tesis pregrado Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Repositorio institucional Universidad distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3477/CameloMunevarDi?sequence=6>
- Canberra, Department of the Environment. (2024). *Syzygium paniculatum* in Species Profile and Threats Database, Department of the Environment, Canberra. Available from: <https://www.environment.gov.au/sprat>.
- Chaovanalikit, A., & Wrolstad, R. E. (2004). Total Anthocyanins and Total Phenolics of Fresh and Processed Cherries and Their Antioxidant Properties. *Journal of Food Science*, 69(1), FCT67–FCT72. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2004.TB17858.X>
- Dalmau, M. E., Bornhorst, G. M., Eim, V., Rosselló, C., & Simal, S. (2017). Effects of freezing, freeze drying and convective drying on in vitro gastric digestion of apples. *Food chemistry*, 215, 7–16. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.07.134>
- Delgadillo, J. E., & Calani, L. A. (2014). Nutraceuticos. *Act Clin Med* [onl. 2014, 42(1), 2190–2194. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682014000300002&lng=en&nrm=iso
- Franco, N., Tobon, Y., Rojano, B., Arbelaez, F., Flores, E., Barrios, D., & Maldonado, M. (2016). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre propiedades físicoquímicas y antioxidantes de productos derivados del fruto agraz (*Vaccinium meridionale swartz*). *Vitae*, 23(3), 184–193. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a04>
- Hager, T. J., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blackberry products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(3), 689–695. <https://doi.org/10.1021/JF071994G>
- Ishiwata, K., Yamaguchi, T., Takamura, H., & Matoba, T. (2007). DPPH Radical-Scavenging Activity and Polyphenol Content in Dried Fruits. *Food Science and Technology Research*, 10(2), 152–156. <https://doi.org/10.3136/FSTR.10.152>
- Johnson, M. C., Thomas, A. L., & Greenlief, C. M. (2015). Impact of Frozen Storage on the Anthocyanin and Polyphenol Contents of American Elderberry Fruit Juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(23), 5653–5659. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.5B01702>
- Li, D., Li, B., Ma, Y., Sun, X., Lin, Y., & Meng, X. (2017). Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2017.03.006>
- Maldonado, G. R., Pacheco, D., Martín, L., Sánchez, A., Quirós, M., Ortega, J., Colmenares, C., & Bracho, B. (2013). Flavonoides presentes en especies de Psidium (MYRTACEAE) de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 30(2), 26–28. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27124>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., Tuñón, M. J., & Jesús Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes Correspondencia. *Nutr. Hosp*, 6, 271–278.
- Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant Activity in Frozen Plant Foods: Effect of Cryoprotectants, Freezing Process and Frozen Storage. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/foods9121886>
- Nowicka, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., & Fecka, I. (2019). Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria × ananassa* Duch. *Food Chemistry*, 270, 32–46. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.015>
- Noguera, F., Gigante, S., Peña, N., Aude, I., Montero, D., & Menoni, C. (2018). Principios de la preparación de alimentos. Montevideo: Comisión Sectorial de Enseñanza, 2018. 127 p. <https://www.cse.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/2018/12/Principios-de-la-preparacio%CC%81n-de-alimentos-Noguera-2018.pdf>
- Pachulicz, R. J., Yu, L., Jovcevski, B., Bulone, V., & Pukala, T. L. (2022). Polyphenol characterisation and diverse bioactivities of native Australian lilly pilli (*Syzygium paniculatum*) extract. *Food & Function*, 13(16), 8585–8592. <https://doi.org/10.1039/D2FO01305C>
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.1017/JNS.2016.41>
- Parra-O, C. (2014). Sinopsis de la familia Myrtaceae y clave para la identificación de los géneros nativos e introducidos en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 261–277. <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.128>
- Pérez-Mora, W. H., & Mojica Gómez, J. (2018). Análisis físicoquímico de frutos de *Syzygium paniculatum* en diferentes estados de maduración. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(24), 124–129. <https://doi.org/10.31908/19098367.3822>

- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., & Valsikova, M. (2012). Bioactive content and antioxidant capacity of Cape gooseberry fruit. *Central European Journal of Biology*, 7(4), 672-679. <https://doi.org/10.2478/S11535-012-0063-Y>
- Sablani, S. S. (2015). Freezing of Fruits and Impact on Anthocyanins. *Processing and Impact on Active Components in Food*, 147-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00018-4>
- 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, in Stockbrige, R.B., *Methods in Enzymology*. (vol. 299, pp 152-178). Lester P. Academic Press.
- Tehrani, M., Chandran, S., M Sharif Hossain, A. B., & Nasrulhaq-Boyce, A. (2011). Postharvest physico-chemical and mechanical changes in jambu air (*Syzygium aqueum* Alston) fruits. *AJCS*, 5(1), 32-38.
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Eim, V. S., Rosselló, C., & Simal, S. (2019). Effects of freezing treatments before convective drying on quality parameters: Vegetables with different microstructures. *Journal of Food Engineering*, 249, 15-24. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2019.01.006>
- Vuong, Q. V., Hirun, S., Chuen, T. L. K., Goldsmith, C. D., Bowyer, M. C., Chalmers, A. C., Phillips, P. A., & Scarlett, C. J. (2014). Physicochemical composition, antioxidant and anti-proliferative capacity of a lilly pilly (*Syzygium paniculatum*) extract. *Journal of Herbal Medicine*, 4(3), 134-140. <https://doi.org/10.1016/J.HERMED.2014.04.003>
- Zaritzky, N. E. (2003). Factors affecting the stability of frozen Foods, Managing Frozen Foods. In Kennedy, C. J. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*. pp.111-135. Woodhead Publishing.

Taxonomic report of filamentous fungi presents in sewage waste sludge with biotechnological potential

Reporte taxonómico de hongos filamentosos presentes en lodo residual de depuradora con potencial biotecnológico

Brenda Irais Gutiérrez–Anzueto^a  brenda.anzueto@hotmail.com; Sandra Grisell Mora–Ravelo^{b*}  sgmora@docentes.uat.edu.mx;
Daniel González–Mendoza^{c*}  danielg@uabc.edu.mx; Francisco Reyes–Zepeda^d  freyes@docentes.uat.edu.mx;
Madai Rosas–Mejía^d  marosas@docentes.uat.edu.mx

^aTecnológico Nacional de México–Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas.

^bFacultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, C.P. 87000 Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

^cUniversidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC, Nuevo León, 21705 Nuevo León, B.C.

^dFacultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, “Norberto Treviño.” Universidad Autónoma de Tamaulipas. Km. 5 Carretera Cd. Victoria – Cd. Mante. Ej Santa Librada, 87274, Cd. Victoria, Tamaulipas.

*Corresponding author: sgmora@docentes.uat.edu.mx; danielg@uabc.edu.mx

Received: 26/01/2024 Accepted: 25/04/2024

Citing, APA: Gutiérrez–Anzueto B. I., Mora–Ravelo, S. G., González–Mendoza, D., Reyes–Zepeda, F., & Rojas–Mejía, M. (2024). Taxonomic report of filamentous fungi presents in sewage sludge with biotechnological potential. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 42–56. <https://doi.org/10.23850/24220582.6217>

Abstract There is few information regarding the identification of filamentous fungi present in sewage sludge, the importance of these microorganisms lies in the potential use they have in the food, pharmaceutical and agri–environmental industries as they are beneficial in the remediation of water, sludge and soil contaminated by Heavy metals and hydrocarbons also contribute to the adsorption of nutrients by crops. The use of residual sludge once decontaminated by these microorganisms can be used in agriculture as soil structure improvers, organic fertilizers and as an amendment to prevent soil erosion. The objective of this research was to characterize and identify fast and medium–growing filamentous fungi from sewage sludge. The residual sludge was collected directly from the thickness of the municipal water treatment plant of Cd. Victoria, Tamaulipas, Mexico. Subsequently, the fungi were isolated on agar plates and identified using morphological characters of the colonies and by PCR and diana sequences. The species identified were: *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus terreus*, *Tylophilus porphyrosporus* and *Aspergillus fumigatus*. Being the first report for Mexico of fungal species that grow in residual sludge from water treatment plants. The molecular characterization of the species of filamentous fungi found in sewage sludge will allow progress in research focused on knowing the advantages and biological and chemical mechanisms of these microorganisms for the development of biotechnological processes and products, with high agricultural potential and environmental.

Keywords: Genus, molecular identification, morphology, species.

Resumen Existe poca información respecto a la identificación de hongos filamentosos presentes en lodos de depuradora, la importancia de estos microorganismos radica en el uso potencial que tienen en la industria alimentaria, farmacéuticas y agroambiental al ser benéficos en la remediación de agua, lodos y suelo contaminados por metales pesados e hidrocarburos, además, de contribuir en la adsorción de nutrientes por los cultivos. El uso de lodos residuales una vez descontaminados por estos microorganismos puede ser utilizados en la agricultura como mejoradores de la estructura del suelo, abonos orgánicos y como enmienda para evitar la erosión del suelo. El objetivo de esta investigación fue caracterizar e identificar los hongos filamentosos de rápido y mediano crecimiento a partir de lodos de depuradora. El lodo residual se recolectó directamente del espesor de la planta potabilizadora municipal de Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Posteriormente se realizó el aislamiento de los hongos en placas de agar y se identificaron empleando caracteres morfológicos de las colonias y mediante PCR y secuencias diana. Las especies identificadas fueron *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus terreus*, *Tylophilus porphyrosporus* y *Aspergillus fumigatus*. Siendo este el primer reporte para México de especies fúngicas que crecen en lodos residuales de plantas potabilizadoras. La caracterización molecular de las especies de los hongos filamentosos encontradas en los lodos de depuradora permitirá avanzar en investigaciones enfocados en conocer las ventajas y mecanismos biológicos, químicos de estos microorganismos para el desarrollo de procesos y productos biotecnológicos, con alto potencial agrícola y ambiental.

Palabras clave: Especie, género, identificación molecular, morfología.

Introduction

Filamentous fungi (Ff) have a wide distribution in the world, they are eukaryotic organisms, with filamentous structures, called hyphae, they lack chlorophyll, they can be aerobic or facultative anaerobes and have sexual and asexual reproduction. Are used in the field of environmental and industrial biotechnology due to their ability to produce various compounds such as: antibiotics, meat products and for the removal of potentially toxic elements (PTEs), which are useful in the pharmaceutical, food and environmental fields, respectively (Chu *et al.*, 2021; Suárez-Contreras & Peñaranda-Figueroa, 2022).

Currently, there is few information within bioremediation where the fungal mass of waste sludge from municipal plants is used as a potentially efficient and PTEs tolerant raw material for removal (Bonito *et al.*, 2010).

Filamentous fungi contribute to the degradation and mineralization of organic matter through physiological and biochemical mechanisms (Oshiquiri *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2020; Manna *et al.*, 2020). In addition, they absorb PTEs and essential components that can be used in biotechnological procedures for agricultural and environmental purposes. Having the ability to adsorb PTEs through mycelium, several species of filamentous fungi such as: genres *Trichoderma* and *Aspergillus*, have been described and characterized revealing their potential to be employed as PTEs biosorbents (Cadavid-Velásquez *et al.*, 2019), considering the degree of tolerance, which is different for each species and for PTEs (Vallejo *et al.*, 2021).

In this sense, the generation of knowledge on the characterization and identification of Ff, both at the microscopic, macroscopic, and molecular level, is decisive to differentiate species and select the most favorable ones

in remediation processes of contaminated sites. It should be noted that characterizing filamentous fungi is vital since apart from their environmental use, their potential has also been reported, as biological controllers, they participate in the degradation of complex organic matter, converting it to simple chemical forms that become part of the soil to that can be absorbed by plants, contributing to soil fertility (Chu *et al.*, 2021).

Studies on the characterization of Ff genera and species during the composting process of municipal waste sludge (MRL) have not been fully developed in Mexico as a biotechnological potential, mainly to the little importance given to the use of the residual sludge once decontaminated as improvers and organic fertilizers in agricultural soils.

Due to the use of these microorganisms and their reported high biotechnological potential, it is necessary to search for improvements in their isolation and identification processes through different techniques, such as molecular techniques, which are important due to their reliability and practicality to amplify DNA segments assisted by internal transcribed spacers (ITS), a fragment of interest for taxonomic studies (Suárez-Contreras & Peñaranda-Figueroa, 2022). Therefore, the aim of this work was to isolate, characterise and molecularly identify those filamentous fungi present in sludge from wastewater treatment.

Materials and methods

A protocol is proposed to identify filamentous fungi from samples taken from waste sludge.

Sampling site

The residual sludge was collected directly from the thickness of the sludge at the Cd. Victoria, Tamaulipas wastewater treatment plant. The analysis of the residual sludge was carried out

in the Microbial Biotechnology laboratory of the Institute of Applied Chemistry (IQA-UV) of the University Veracruzana in Xalapa, Veracruz and in the Applied Ecology laboratory of the Autonomous University of Tamaulipas (IEA-UAT), in Mexico.

Isolation of fungi from residual sludge from the treatment plant

The isolation of microorganisms, specifically fungus, was carried out from a plate count to isolate the colonies and differentiate the yeast-like and filamentous development of each Colony Forming Unit (CFU). Subsequently, the morphological and molecular characterization of the isolated fungi was carried out. For the isolation of the fungus, six samples were taken from the sludge digester, each sample (10 g) was placed in glass flasks with 90 mL of sterile distilled water (10 – 1 dilution). From this dilution, subsequent dilutions were made up to 10 – 5, of which 0.1 mL aliquots were taken and inoculated in Petri dishes with potato dextrose agar (PDA, BIOXON and DIBICO, Mexico). The incubation time was 5 to 10 days at a temperature of 30 °C. Subsequent to the dilutions where the filamentous fungi developed, the colonies were taken and replanted for purification again in PDA medium, and with this, microcultures were carried out.

Morphological characterization of the strains

The identification of the isolated fungi was based on morphological characteristics of the colonies (color, hyaline or pigmented appearance, consistency, observation of the front and back of the colony, and presence or absence of pigments and exudates), and on microscopic observation (microscope). Binocular 2500x Quasar Qm 18 with Unico brand Usb eyepiece) of microcultures of the fungal structures (presence or not of septa, pigmentation or not of the hyphae, and observation of asexual reproduction structures) to characterize the isolated genera of the

compendium of soil fungi the Domsch *et al.* (2007); Abarca (2000); Arenas (2011); Stephen *et al.* (1997); Valencia & Castro (2004).

Molecular identification of fungal strains isolated from residual sludge

The extraction of the nine strains was done in duplicate. For the extraction, the REDEXtract-N-Amp Plant kit (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) was used. For this, 1mm² of mycelium was placed in 20 µL of ES solution, then processed in the thermocycler with the following program: 65 °C for 10 min, followed by 10 min at 95 °C, and 4 °C to finish. Finally, the samples were diluted in 20 µL of DS solution and allowed to incubate for 30 min at room temperature and then stored at 4 °C (Irinzi *et al.*, 2015).

The PCR reaction was performed with the primers ITS1F and ITS4 (Gardes & Bruns, 1993) for the 9 samples and their replicates according to the protocol of Garibay-Orijel *et al.* (2013). The MyTaq™ DNA Polymerase PCR kit (Bioline) was used for the reaction. Thermocycler Program: 95 °C for 1 min, followed by 35 cycles at 95 °C, 51 °C and 72 °C for 1 min. Each temperature, and a final extension of 72 °C for 8 min. PCR products were reviewed on a 1 % agarose gel in TBE buffer at 90 volts for 50 min.

Analysis of DNA

Sequences from both directions of each strain were edited in Geneious 7 (Biomatters). The edited sequences were assembled to 100 % genetic similarity generating consensus sequences. The sequences of all the strains were compared with each other by assembling at 100 % nucleotide similarity "Contigs" with the strains of each species. The consensus sequences of all the Contigs (species) were compared against the GenBank database, by means of BLAST analysis. Additionally, the sequences corresponding to the genera *Aspergillus* and *Trichoderma* were compared against the "ISHAM ITS DATABASE"

database of the "International Society for Human and Animal Mycology ITS Database" (Köljalg *et al.*, 2005). The sequence that corresponded to *Tylopilus* was also compared against the "UNITE" database.

Phylogenetic representation

The taxonomic identification of the strains was carried out through phylogenetic analysis. For this, they downloaded from Genbank and ISHAM the sequences related to those of the strains. The alignments were performed in Muscle, to perform Bayesian analyzes with the GTR substitution model with four Monte Carlo chains over 1.000.000 generations, sampling every 400 generations with a temperature value of 0.2, discarding the first 10 % of the generated trees. The support of the branches was calculated by means of their posterior probability (Bpp). In the case of *Trichoderma*, the analysis was carried out specifically for the Longibrachiatum section using *T. viride* and *T. lixi* as external groups (Mata *et al.*, 2016).

Results and discussion

Nine strains of filamentous fungi were isolated, from which four species were identified:

Aspergillus terreus

Macroscopic characteristics: *A. terreus* colonies cultivated in PDA grew from 7 to 10 days, reaching 3 to 3.5 cm in diameter, presenting a white coloration; on the back of the box, a change in the culture medium was observed, from transparent to yellow (Figure 1a). At 20 days, the white colonies presented a brown-brown coloration (Figure 1b).

Microscopic features: The conidial heads are compact biseriate columns, the conidiophores are smooth and hyaline. The vesicles had a variable, columnar shape (subglobose or ellipsoidal, Figure 1c and spherical (Figure 1d).

The macroscopic and microscopic characteristics were similar to those reported by Abarca (2000), who points out that the colonies appear brown with beveled conidia and subglobose vesicles and of the compendium of soil fungi the Domsch *et al.* (2007). *A. terreus* was identified in the IQA - UV, radial growth was lower at a relative humidity between 60 – 70 %, and at a temperature of 21.7 – 25.5 °C, while at a temperature of 30 °C and a relative humidity close to 80 %, a greater radial growth was obtained with greater aerial mycelium in the IEA - UAT.

Aspergillus fumigatus

Macroscopic characteristics: *A. fumigatus* colonies grown on PDA agar grew from 7 days to 10 days at a controlled temperature of 30 °C. Reaching a diameter of 5 to 8 cm presenting a grayish coloration with a white aerial mycelium, no change in the culture medium was observed on the back of the box. After 10 days, the mycelium appeared darker (aging of the colony).

Microscopic characteristics: The uniseriate and predominantly columnar conidial heads were distinguished, with hyaline and smooth stems; clearly pyriform or spoon-shaped vesicle. The phialides occupied half or two thirds of the gallbladder. Globose to ovoid conidia, where its unicellular and columnar conidial head was recognized. These characteristics had already been reported from the compendium of soil fungi by Domsch *et al.* (2007).

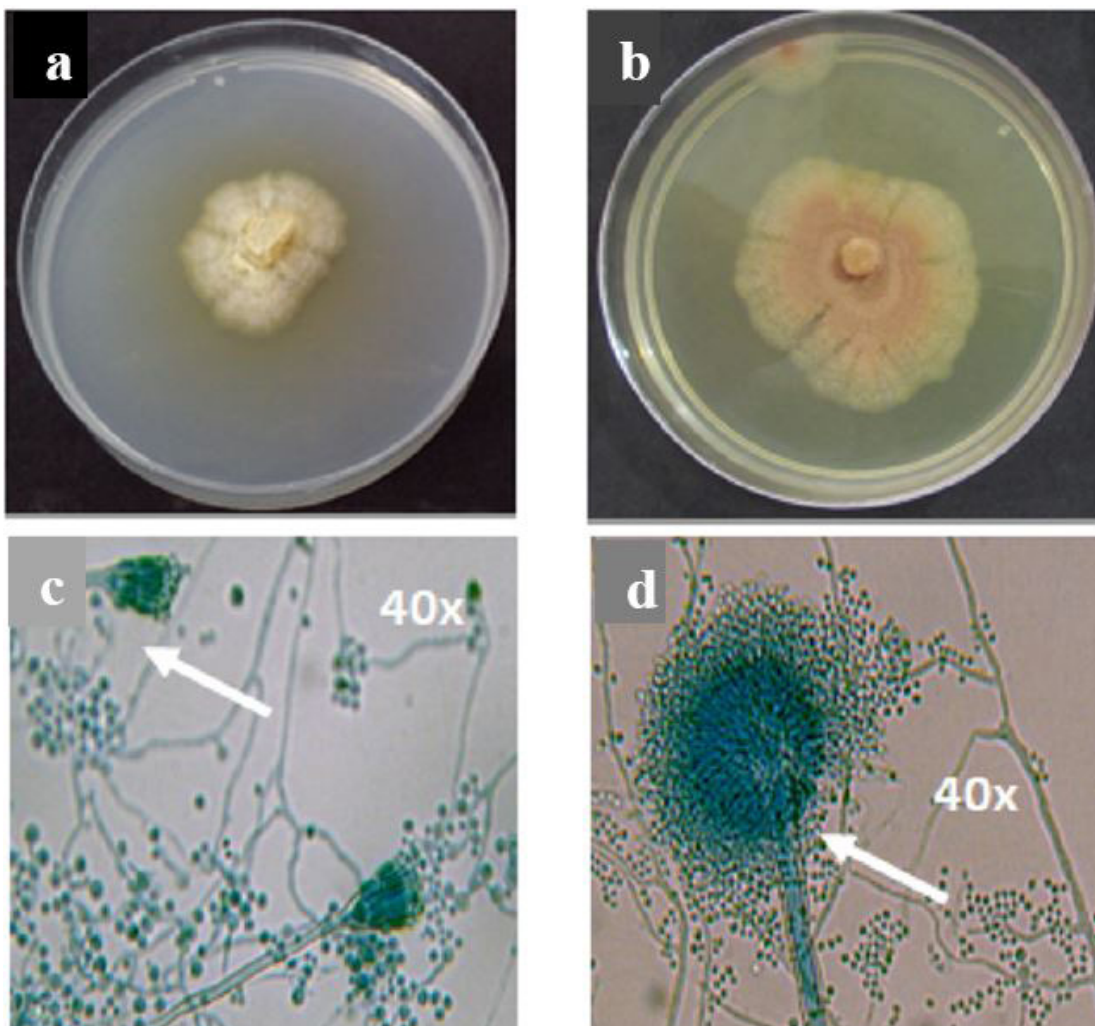
The genus *Aspergillus* was isolated and identified in both laboratories, however, two different species were found, *A. fumigatus* and *A. terreus*. Macroscopically, these two species presented a very different morphology, both in pigmentation and in the growth rate of the colonies, but in microscopic morphology they have a similarity in their conidial heads; however, one is biseriate and with a spherical vesicle (*A. terreus*), and the other is uniseriate

with pear-shaped vesicle (*A. fumigatus*), this morphology allowed to identify its genus, the PCR corroborated genus and species. The reported characteristics are identical to those described by Abarca (2000), who reviewed the

taxonomy of the genus *Aspergillus* and described the characteristics of the species, as did Arenas (2011), Piontelli (2008), and Salazar & Rua (2012) who also report *Aspergillus* morphology like those described in this study.

Figure 1

Macroscopic characteristics *A. terreus* in PDA medium at 7 days and 20 days. **1a** and **b** microscopic characteristics at 40x. *A. terreus* Columnar vesicle (subglobose or ellipsoidal), **c** and **d** (globose vesicle)



Trichoderma longibrachiatum

Macroscopic characteristics: *T. longibrachiatum* colonies grown on PDA agar grew from 5 days to 10 days at 25 – 28 °C. Reaching a diameter of 3 to 5 cm, presenting a white and cottony coloration, on the back of the box a change in the culture

medium was observed, from transparent to opaque yellow.

Microscopic features: Septate hyphae and branching conidiophores of varying length, some short and long-length conidiophores

extending from the hyphae. The conidia are hyaline and are produced singly at the apex of the conidiophore or directly on the hyphae. Conidia are unicellular, round to pyriform (teardrop-shaped), both conidiophores and hyphae are hyaline.

The factors that determined the diametrical growth of *T. longibrachiatum* in both laboratories (IEA-IQA) were temperature and humidity, as indicated by Guigón-López *et al.* (2010) who found that the growth temperature of *Trichoderma* spp., oscillates between 27 and 30 °C, simultaneously also carried out a study with microcalorimetric techniques where they determined that the optimum temperature for this genus is 30 °C, although they have the ability to grow at 35 °C. While Guillén-Navarro *et al.* (1998) and Martínez *et al.* (2013), mention that the simultaneity between the temperature and the growth of *Trichoderma* depends on the species and the isolation itself.

Trichoderma longibrachiatum was isolated in the two laboratories (IQA-UV and IEA-UAT), however, it presented very different macroscopic characteristics. This is due to the cultivation conditions regarding humidity, light and temperature that were not controlled in the IQA-UV, having a relative humidity of 60 – 70 %, with a temperature of 21.7 – 25.5 °C and approximately 4–5 h light daily. A white mycelium was observed, together with its unicellular and round conidia, which according to the literature indicated belonging to the genus *Absidia*; however, PCR determination identified it as *T. longibrachiatum*. While, in the IEA, the growth of *T. longibrachiatum* was carried out under controlled conditions at 30 °C with a relative humidity of 10 % and exposures of 7 h light, sporulation with greenish tones was observed, giving the appearance of rings in concentric shape.

The results obtained in the IEA-UAT laboratory show a higher diametrical growth

rate at temperatures of 30 °C, which agrees with the results of Valencia & Castro (2004), who isolated *Trichoderma* strains with a higher average diametrical growth rate. At temperatures of 26 and 30 °C. Which has a proportional correspondence with the lower diametral growth at temperatures below 30 °C as it was in the IQA-UV strain (21.7 °C). Another factor that influenced was the relative humidity, since at a lower humidity, greater growth was observed. Michel-Aceves *et al.* (2001), reported that the number of colony-forming units of *T. longibrachiatum* are higher in places where the relative humidity is lower.

Another morphological difference that was observed in *T. longibrachiatum* was the color of the mycelium, caused by the light intensity. In IQA-UV the light was very limited giving a white and cottony color, while in the IEA-UAT the light was very abundant, and the color Druzhinina of the mycelium was uniform green, both shades of *T. longibrachiatum* coincide with what was reported by Martínez *et al.* (2013). Authors such as Chávez-García *et al.* (2008) and Windham *et al.* (1986) mention that *Trichoderma* spp. is photosensitive, and that it behaves better in daylight conditions; where there is high production of conidia (conidiogenesis) when incubating strains at 25 °C and exposed to light.

Druzhinina *et al.* (2005), point out that the genus *Trichoderma* has a variability among its morphological characteristics, which makes its classification difficult, therefore, molecular techniques are of great relevance. Some species of the genus *Trichoderma* have been reported by Pérez-Sánchez *et al.* (2014) in biosolids from wastewater treatment plants in Puerto Rico. In Mexico, the Ministry of Environment and Natural Resources has reported the presence of filamentous fungi of the genus *Trichoderma* in NOM-004-SEMARNAT-2002. In this study, the first report of *T. longibrachiatum* is made, found in residual sludge from wastewater treatment plants.

Tylopilus porphyrosporus

Gross features: No definite colony was observed; however, at 3 days, the color of the agar changed from transparent to opaque white. At 10 days the colony presented a small dark pigmentation in the center of the box.

Microscopic characteristics: Unsegmented hyphae were observed, and the presence of spores was not detected in the 10 days of culture, only hyaline hyphae were observed.

Molecular identification of fungal strains isolated from sewage sludge

When performing the first PCR in samples of mycelium, it was possible to amplify the band corresponding to the general PCR amplified in a 1:1 concentration. Of the nine strains, 88 % amplified, while strains 2 and 8 did not amplify, these two strains were tested with dilutions of the DNA extraction, 1:10, 1:100 and 1:1000 with 2 µL of DNA per reaction and 40 cycles of PCR. The assembly of the nine strains shows that four fungal genotypes (*A. fumigatus*, *A. terreus*, *T. longibrachiatum* and *T. porphyrosporus*) were detected at 100 % nucleotide similarity: Contig 1 made up of the strains: TAM5, TAM6, TAM1, TAM4 belong to *T. longibrachiatum*; while Contig 2: TAM3, TAM7 corresponds to *A. fumigatus* TAM2 to *A. terreus*; and TAM9 to *T. porphyrosporus*.

All consensus sequences from these assemblies (Contigs) are greater than 96 % base quality (HQ %). Blast analyzes of the consensus sequence of Contig 1 (overlapping DNA segments) against GenBank and ISHAM suggest that this TAM5, TAM6, TAM1, TAM4 genotype corresponds to the species *T. longibrachiatum*. Blast analyzes of the consensus sequence of Contig 2 against GenBank and ISHAM suggest that this TAM3, TAM7 genotype corresponds to the species *A. fumigatus*. Blast analyzes of the consensus sequence of strain TAM2 against Gen

GenBank and ISHAM suggest that this genotype corresponds to the species *A. terreus*.

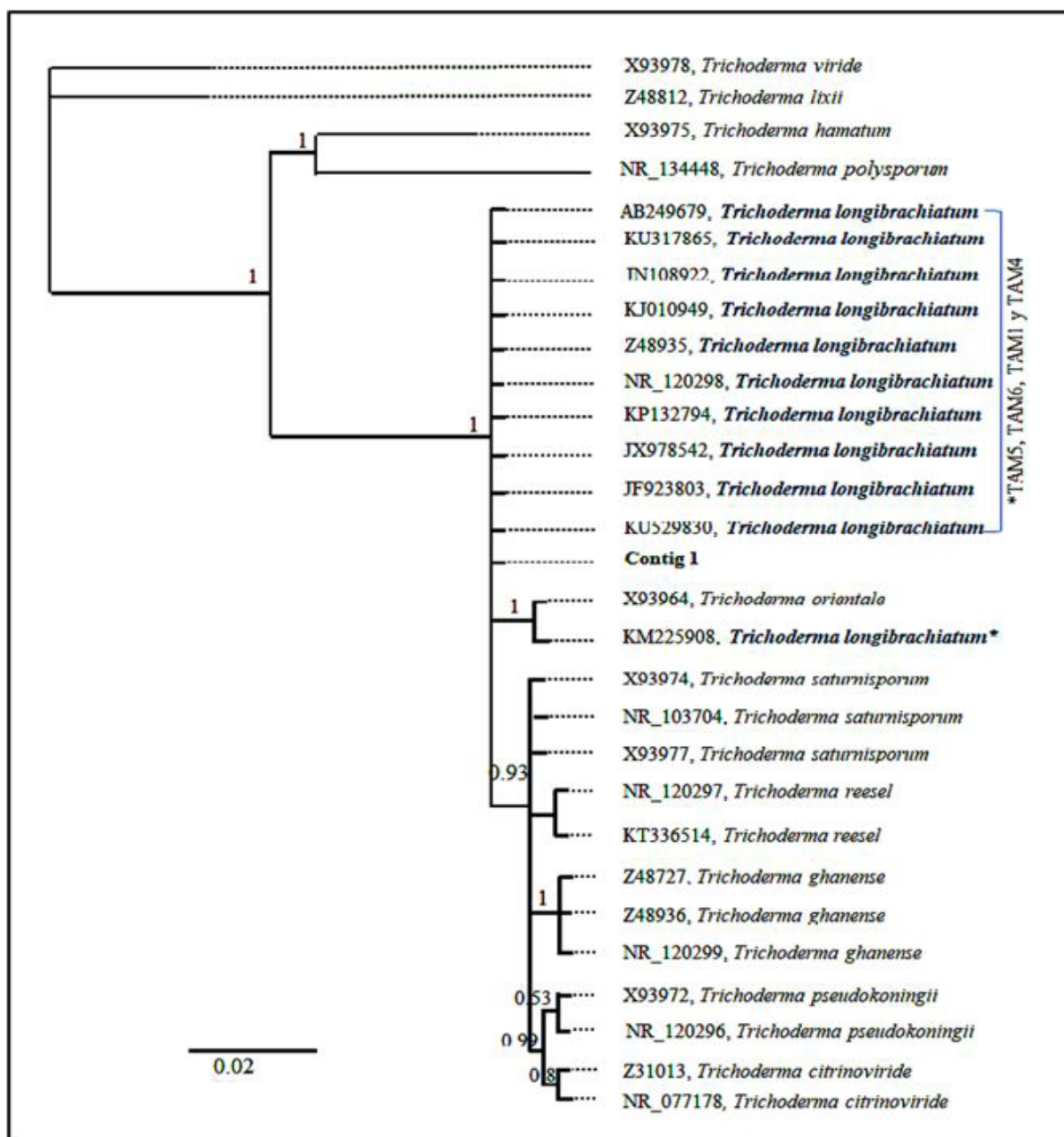
Blast analyzes of the consensus sequence of strain TAM9 against GenBank and UNITE suggest that this genotype corresponds to the species *T. porphyrosporus*. The identification of the *Trichoderma* genus was corroborated by phylogenetic analysis (Figure 2), which demonstrated that the Contig 1 genotype indeed belongs to the section *Longibrachiatum* with the highest level of support (Bpp = 1).

Within this section, Contig 1 is indeed found in the *T. longibrachiatum* clade with the highest level of support (Bpp = 1). Within this clade is the sequence of the type of strain (*T. longibrachiatum*) of this species with which Contig 1 has 100 % nucleotide similarity. Likewise, *Trichoderma* can produce enzymes and plant growth promoting compounds of biotechnological interest in agriculture. In the case of the *Aspergillus* genus, the phylogenetic analysis corroborates that Contig 2 indeed belongs to the *A. fumigatus* clade (Figure 3), with a high support value (Bpp = 0.89) and that the TAM2 strain indeed belongs to the *A. complex* clade. *A. terreus* (Figure 4), with a high support value (Bpp = 0.81)

Kuhls *et al.* (1998), Guigón-López *et al.* (2010), Arrúa-Alvarenga *et al.* (2012) and Suárez-Contreras (2022), point out that for the identification of the genera of *Aspergillus* and *Trichoderma* at the species level, the ITS1 and ITS2 regions of the rDNA can be specifically used, in addition to the ITS4 region as was done in this study. However, although the identity levels are significant and the ITS region is considered a barcode for the taxonomic identification of fungi, the standard use of these ITS during PCR can generate biases, incurring error in the sequence, generating a trend in the classification of species within the divisions of the ascomycetes as noted by Menolli (2020).

Figure 2

Cladogram of *T. longibrachiatum* with the highest level of support (Bpp = 1)



Note. Within this clade is the sequence of the type of strain (NR_120298) of this species with which Contig 1 has a 100 % nucleotide similarity.

Regarding the phylogenetic analysis that was carried out according to the Index Fungorum repository (<http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp>), the strains identified in this study correspond to the phylum Ascomycota,

representing the subphylums Pezizomycotina and Saccharomycotina, cloistered in the classes Eurotiomycetes associated with the orders Hypocreales and Eurotiales.

Figure 3

Cladograms of *Aspergillus fumigatus* with the highest level of support (Bpp = 1)

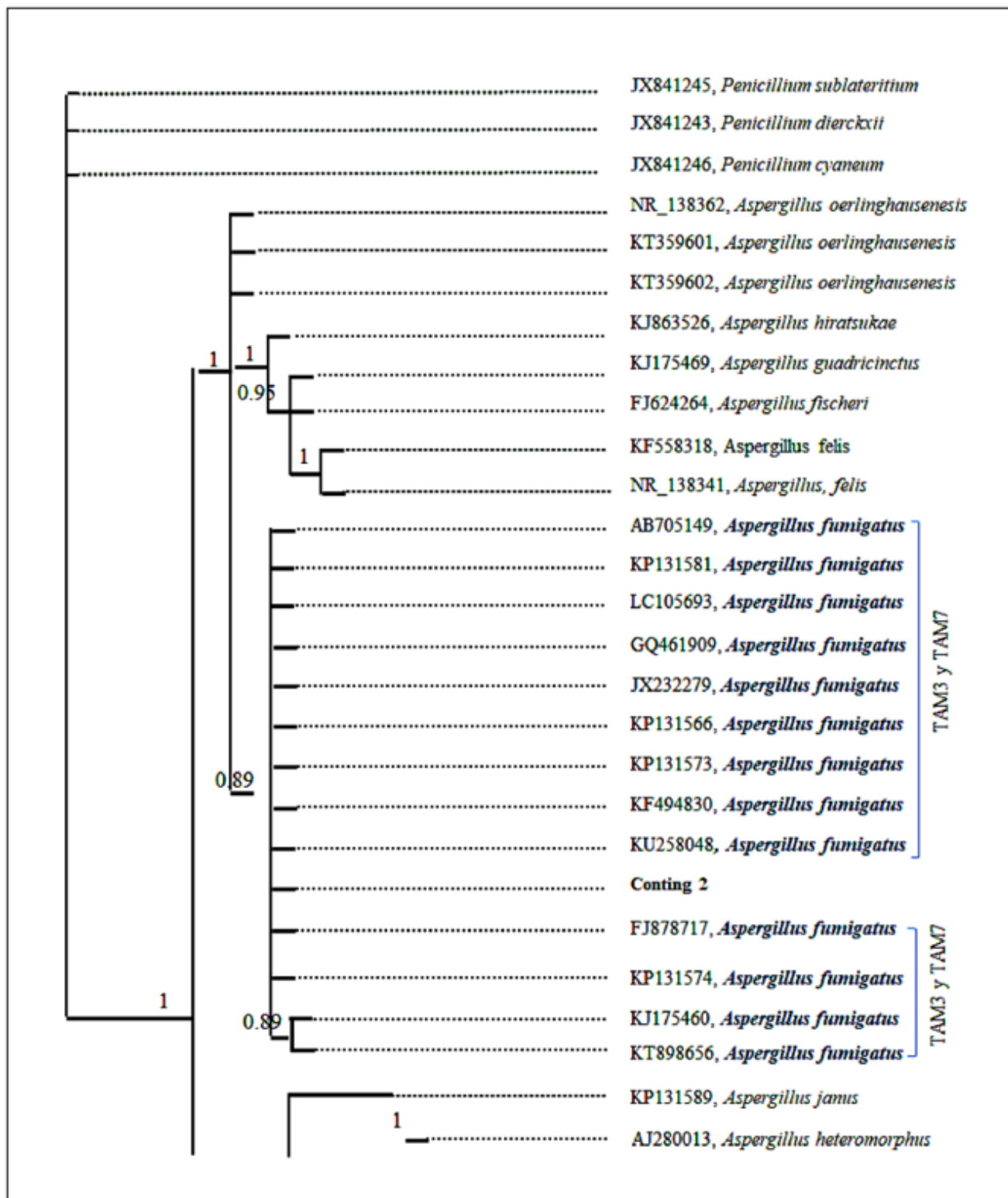
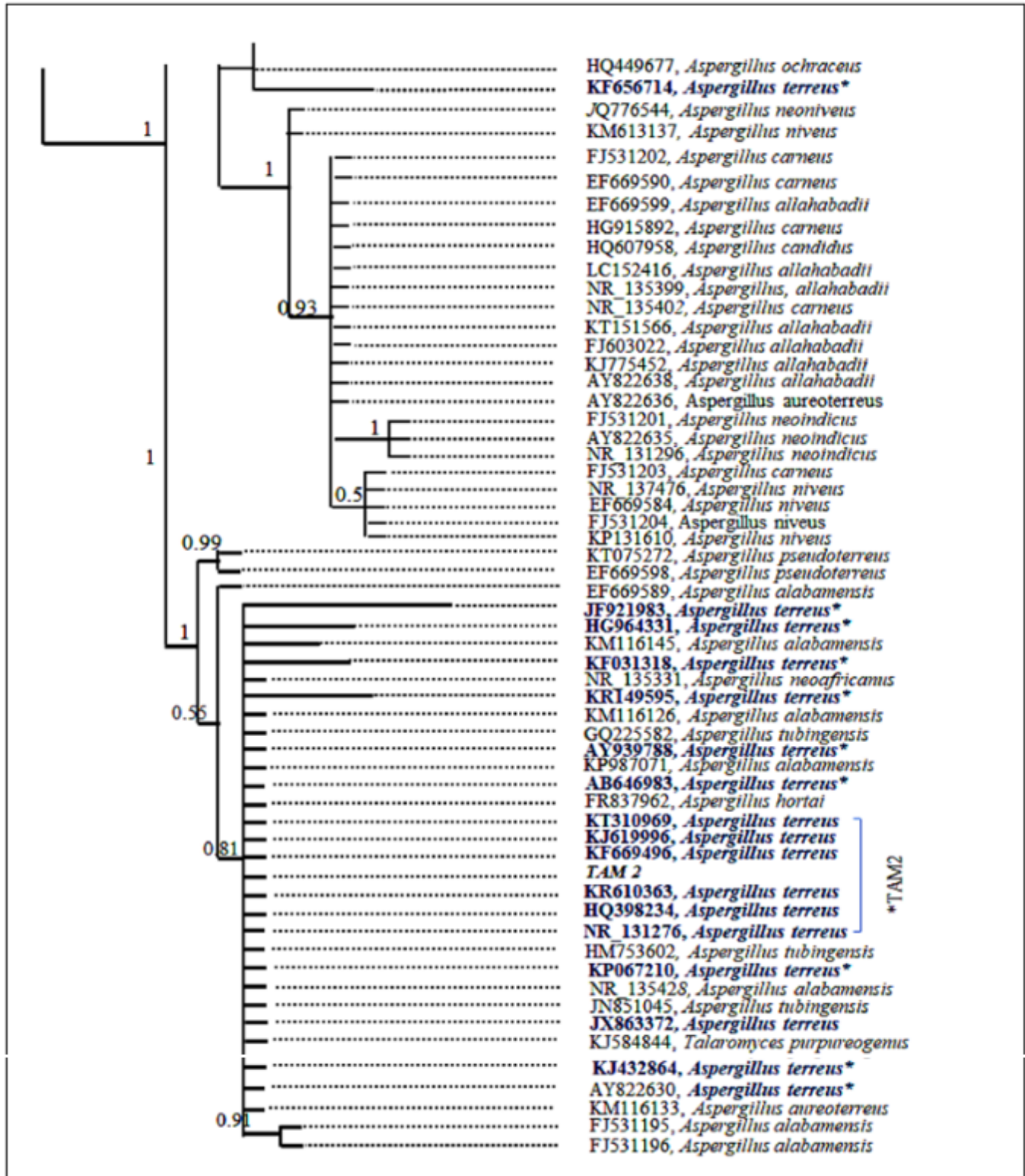


Figure 4

Cladogram of *Aspergillus terreus*. with the highest level of support (Bpp = 1)



In Table 1, only the TAM 9 strain was identified through nucleotide similarity because there are few sequences in the databases of this group, so phylogenetic analyzes cannot be performed. Among the similar sequences in Genbank are nine sequences that can be considered conspecific (nucleotide similarity

greater than 98.8 %) under the names *Tylopilus porphyrosporus*, *T. pseudoscaber*, *Porphyrellus pseudoscaber* and *P. porphyrosporus*. However, all of these are synonyms and the valid name according to Mycobank and the Index fungorum is *T. porphyrosporus*.

Table 1

Significant alignment sequence

Access number Genbank	Species	Longitud	Bits	Valor
JN021085	<i>Tylopilus porphyrosporus</i> (como <i>Porphyrellus</i>)	612	978	0.0
JF899578	<i>Tylopilus pseudoscaber</i>	813	978	0.0
EU685112	<i>Tylopilus porphyrosporus</i> (as <i>Porphyrellus</i> pse)	729	928	0.0
UDB024875	<i>Tylopilus pseudoscaber</i> Canada	992	978	0.0
KC797154	<i>Tylopilus pseudoscaber</i>	659	964	0.0
UDB001485	<i>Tylopilus porphyrosporus</i> (como <i>Porphyrellus</i>)	685	964	0.0
KC152268	<i>Tylopilus porphyrosporus</i>	669	962	0.0
DQ534563	<i>Tylopilus porphyrosporus</i> (como <i>Porphyrellus</i>)	716	960	0.0
JF908788	<i>Tylopilus porphyrosporus</i>	484	843	0.0
KJ775786	<i>Tylopilus</i>	471	711	0.0
KJ775785	<i>Tylopilus pseudoscaber</i>	421	711	0.0
EU819450	<i>Tylopilus sordidus</i>	730	690	0.0
HE820600	Fungi	609	684	0.0
EU597078	<i>Tylopilus</i>	669	679	0.0
AB923009	Fungi	609	666	0.0
JQ991909	Boletaceae	Sin referencia	663	0.0
AB218092	Fungi	Sin referencia	657	0.0
KJ775787	<i>Tylopilus</i>	Sin referencia	646	0.0
UDB011971	<i>Tylopilus umbrosus</i> Colombia	Sin referencia	637	0.0
UDB013038	Boletaceae Papua New Guinea	Sin referencia	625	1,00E-177
AY970201	Basidiomycota	Sin referencia	609	8,00E-173
UDB013220	Boletaceae Papua New Guinea	Sin referencia	609	8,00E-173
JF273512	Boletaceae	Sin referencia	598	1,00E-169
KM595001	Fungi	Sin referencia	544	3,00E-153
KM594960	Fungi	Sin referencia	544	3,00E-153
KM594937	Fungi	Sin referencia	544	3,00E-153
KM594899	Fungi	Sin referencia	544	3,00E-153
AB509640	Xerocomus	Sin referencia	461	3,00E-128
AB509756	Boletales	Sin referencia	459	9,00E-128
AB509993	Boletaceae	Sin referencia	452	1,00E-125
JN563923	Boletus	Sin referencia	385	2,00E-105
DQ679803	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	378	2,00E-103
DQ131628	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	378	2,00E-103
DQ131627	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	378	2,00E-103
AY680973	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	378	2,00E-103
AY680972	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	378	2,00E-103
KC422606	<i>Boletus pinophilus</i>	Sin referencia	374	3,00E-102

Biotechnological potential of the identified fungi

The potential of the fungi identified in this study is not only limited to their importance at the industrial level, but also to their value from the sanitary point of view, since many of them are direct and indirect pathogens that cause diseases in humans. Therefore, biotechnology plays an important role in the search for the transformation of these pathogenic fungi into fungi with industrial potential, such as *A. fumigatus*, *A. terreus* and *T. longibrachiatum*, so it is necessary to continue deepening the study of the identification and characterization of filamentous fungi, taking the studies to experimental phases. This way Qayyum *et al.* (2016) indicated that *A. terreus* is tolerant to concentrations of 50 mg of Cr present in sewage sludge. Murugaian *et al.* (2023), indicate that *A. terreus* has a greater tolerance and accumulation capacity for Cu. Medina *et al.* (2014), reported that *A. terreus* and *T. longibrachiatum* are capable of growing and degrading HTPs, observing a removal of over 85.00 % of these contaminants in *A. terreus*.

On the other hand, other authors have reported that *A. terreus* produces itaconic acid, an organic metabolite that is a material currently with high added value due to the presence of important properties that should replace different compounds that can be used in the manufacture of detergents, water treatments, dispersants, and adhesives (Li *et al.*, 2012).

Aspergillus fumigatus has biotechnological applications in the pharmaceutical industry (Mondal *et al.*, 2020). In addition to producing hydrolytic enzymes that have demonstrated biotechnological potential in the agricultural or agro-industrial sector. On the other hand, *T. longibrachiatum* produces enzymes that degrade lignocellulosic substrates; therefore, they are useful in the textile industry, which is why several authors have carried out their immobilization

for use in water treatment due to the discharge of dyes from this industry (Bagewadi *et al.*, 2017). This species has been observed to induce systemic resistance and expression of defense genes to prevent infection of pathogenic fungi such as *Botrytis cinerea* through activation of the synthesis of jasmonic acid, salicylic acid and ethylene (Yuan *et al.*, 2019) and inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides*. In addition to its use in bioindustry (Andrade-Hoyosa *et al.*, 2023).

The *Trichoderma* genus is important in the environmental sector for its ability to bioremediate heavy metals in the sludge generated from wastewater treatment plants. This decontaminated sludge can be used as quality improvers and nutrient supplies in agricultural soils, in addition to produce enzymes and plant growth promoting compounds of biotechnological interest in agriculture (Hernández *et al.*, 2019). Finally, this study confirms the need to isolate and identify filamentous fungi from sewage sludge from wastewater treatment plants.

Conclusions

Knowledge of the characteristics and mechanisms of filamentous fungi, in addition to their molecular and morphological characterization, will contribute to the application of biotechnological packages in the agricultural and environmental sectors. Future research should be carried out which should focus on evaluating the bioremediation potential of the species found in the residual sludge of the wastewater treatment plant, as well as determining which species is the most efficient in the removal of EPT in various contaminated sites. *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus terreus*, and *Aspergillus fumigatus* are the first report of species found in residual sludge from wastewater treatment plants in Mexico. *Tylopus porphyrosporus* has not been reported in sewage or sewage sludge worldwide.

References

- Abarca, M. L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Rev. Iberoam. Micol.* 17(3), S79–S84. <http://www.reviberoammicol.com/2000-17/S79S84.pdf>
- Andrade-Hoyosa, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H.V., Martínez-Salgado, S.J., & Romero-Arenas, O. (2023). Ecological and biological benefits of the cosmopolitan fungus *Trichoderma* spp. in agriculture: A perspective in the Mexican countryside. *Rev. Argentina de Microbiología*, 55, 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Arenas, R. (2011). *Micología Médica Ilustrada*. Cuarta edición. McGraw-Hill, México, D.F. p. 269–278.
- Arrúa-Alvarenga, A. A., Moreno, M. E., Quezada, V. M. Y., Moreno, L. J., Vázquez, B. M. E. & Flores, O.A. (2012). *Aspergillus aflatoxigénicos*: enfoque taxonómico actual. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 3(4), 1047–1052.
- Bagewadi, Z. K., Mulla, S. I., & Ninnekar, H. Z. (2017). Purification and immobilization of laccase from *Trichoderma harzianum* strain HZN10 and its application in dye decolorization. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 15:139–150. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.01.007>.
- Bonito, G., Isikhuemhen, O. S., & Vilgalys, R. (2010). Identification of fungi associated with municipal compost using DNA-based techniques. *Bioresour. Technol.* 101(3), 1021–27. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.109>
- Cadavid-Velásquez, E. D. J., Pérez-Vásquez, N. D. S., & Marrugo-Negrete, J. (2019). Contaminación por metales pesados en la bahía Cispatá en Córdoba-Colombia y su bioacumulación en macromicetos. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 43–53. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76380>
- Chávez-García, M., Quevedo-Hidalgo, B., Martínez-Salgado, M. M., Mercado-Reyes, M., Rodríguez-Bocanegra, M. X., & Montaña-Lara, J. S. (2008). Efecto del sustrato y la exposición a la luz en la producción de una cepa de *Trichoderma* sp. *Univ. Sci.* 3(3), 245–51.
- Chu, R., Li, S., Zhu, L., Yin, Z., Hu, D., Liu, C., & Mo, F. (2021). A review on co-cultivation of microalgae with filamentous fungi: Efficient harvesting, wastewater treatment and biofuel production. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 13, 110689. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110689>
- Domsch, H. K., Gams, W., & Anderson, T. H. (2007). *Compendium of soil fungi*. Sec. Ed. IHW-Verlang, Eching. pp. 6–672.
- Druzhinina, I.S., Kopchinskiy, A.G., Komoń, M., Bissett, J., Szakacs, G., & Kubicek, C.P. (2005). An oligonucleotide barcode for species identification in *Trichoderma* and *Hypocrea*. *Fungal Genet Biol.* 42(10), 813–28. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2005.06.007>
- Gardes, M., & Bruns, D. T. (1993). ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes—application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.* 2(1), 113–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.1993.tb00005.x>
- Garibay-Orijel, R., Morales-Marañón, E., & Flores-García, A. (2013). Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas en un bioensayo entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de propágulos resistentes en la Faja Volcánica Transmexicana. *Rev Mex Biodivers.* 84(1):153–69. <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- Guigón-López, C., Guerrero-Prieto, V., Vargas-Albores, F., Carvajal-Millán, E., Ávila-Quezada, G. D., Bravo-Luna, L., Lorito, M. (2010). Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. su tasa de crecimiento in vitro y antagonismo contra hongos fitopatógenos. *Rev Mex Fitopatol.* 28(2), 87–96.
- Guillén-Navarro, G.K., Márquez-Rocha, F.J., Sanchez-Vázquez, J.E. (1998). Producción de biomasa y enzimas ligninolíticas por *Pleurotus ostreatus* en cultivo sumergido. *Rev. Iberoam. Micol.* 15(1), 302–06.
- Hernández-Melchor, D., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural Animal Science*, 35(1), 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.03.002>
- Irinvi, L., Serena, C., Garcia-Hermoso, D., Arabatzis, M., Desnos-Ollivier, M., Duong Vu., Cardinali, G., Arthur, I., Normand, A. C., Giraldo, A., Cassia da Cunha, K., Sandoval-Denis, M., Hendrickx, M., Nishikaku, A. S., Salles de Azevedo, M. A., Bellinghausen, M. K., Aziza, K., Alves, P. R. J., Sampaio, P., ... & Meyer, W. (2015). International Society of Human and Animal Mycology (ISHAM)—ITS reference DNA barcoding database—the quality controlled standard tool for routine identification of human and animal pathogenic fungi. *Med. Mycol.* 53, 313–37. <https://doi.org/10.1093/mmy/myv008>
- Köljal, U., Larsson, K.H., Abarenkov, K., Nilsson, R.H., Alexander, I.J., Eberhardt, U., Erland, S., Hoiland, K., Kjöller, R., Larsson, E., Sen, R., Taylor, A. F. S., Tedersoo, U., Ursing, B.M., & Pennanen, T. (2005). UNITE: a database providing web-based methods for the molecular identification of ectomycorrhizal fungi. *New Phytol.* 166 (1), 1063–68. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01376.x>
- Kuhls, K. M., Lieckfeldt, E., Samuels, G.J., Meyer, W., Kubicek C.P., & T. Börner. (1998). Revision of *Trichoderma* sect. *Longibrachiatum* Including

- related teleomorphs based on analysis of ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences. *Mycologia*. 89(1), 442-60. <https://doi.org/10.1080/00275514.1997.12026803>.
- Li, A., Pfelzer, N., Zuijderwijk, R., & Punt, P. (2012). Enhanced itaconic acid production in *Aspergillus niger* using genetic modification and medium optimization. *BMC, Biotechnology*, 1-9. <https://doi.org/10.1186/1472-6750-12-57>.
- Manna, M.C., Sahu, A., De, N., Thakur, J.K., Mandal, A., Bhattacharjya, S., Ghosh, A., Mahmudur, R.M., Naidu, R., Bhan, S.U., Dakhli, R., Sharma, M.P., & Misra, R. (2020). Novel bio-filtration method for the removal of heavy metals from municipal solid waste. *Environmental Technology and Innovation*, 17.
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*. 28(1), 1-11.
- Mata, G., R. Medel, P., Callac, C., Billette, R., & Garibay-Orijel, R. (2016). Primer registro de *Agaricus bisporus* (Agaricaceae) silvestre en Tlaxcala y Veracruz. *Rev Mex Biodivers*. 87 (1),10-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.019>.
- Medina, J., García, F., & Paricaguán, B. (2014). Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcón. *Ingeniería UC*, 21(1), 62-69.
- Menolli, N., & Sánchez-García, M. (2020). Brazilian fungal diversity represented by DNA markers generated over 20 years *Brazilian Journal of Microbiology*, 51,729-749. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00206-y>
- Michel-Aceves, A. C., Rebollo-Domínguez, O., Lezama-Gutiérrez, R., Ochoa-Moreno, M. E., Mesina-Escamilla, J.C., & Samuels, G. (2001). Especies de *Trichoderma* en suelos cultivados con mango afectados por *Escoba de bruja* y su potencial inhibitorio sobre *Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19(2), 154-60.
- Mondal, S., Soren, J., Mondal, J., Rakshit, S., Kumar-Halder, S., & Chandra-Mondal, K. (2020). Contemporaneous synthesis of multiple carbohydrate debranching enzymes from newly isolated *Aspergillus fumigatus* SKF-2 under solid state fermentation: A unique enzyme mixture for proficient saccharification of plant bioresources. *Industria Crops and Products*, 150, 112409. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112409>.
- Murugaian, P. T., Pracejus, B., & Novo, L. A. B. (2023). Bioremediation of copper using indigenous fungi *Aspergillus* species isolated from an abandoned copperminesoil. *Chemosphere*, 314,137688. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137688>
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. (2002). Protección ambiental: Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Oshiquiri, L.H., Dos Santos, K.R.A., Ferreira Junior, S.A., Steindorff, A.S., Barbosa Filho, J.R., Marcolino, M.T., José, U.C., & Castro, G.R. (2020). *Trichoderma harzianum* transcriptome in response to cadmium exposure. *Fungal Genetics and Biology*, 134, 103281. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2019.103281>
- Pérez-Sánchez, G.E., Librán-Salas, M.D.C., Rivera-Vargas, L.I., & Alameda-Lozada, M. (2014). Identificación de hongos presentes en el biosólido municipal compostado y la turba. *J. Agric. Univ. P.R.* 98(2), 179-93.
- Piontelli, E. (2008). Aportes morfotaxonómicos en el género *Aspergillus* Link: claves para las especies ambientales y clínicas más comunes. *Bol. Micol.* 23(1), 49-66.
- Qayyum, S., Khan, I., Maqboo, F., Zhao, Y., Gu, Q., & Peng, C. (2016). Isolation and characterization of heavy metal resistant fungal isolates from industrial soil in China. *Pakistan journal of zoology*, 48(5),1241-1247.
- Salazar, C. L., & Rua, Á. L. (2012). Características morfológicas microscópicas de especies de *Aspergillus* asociadas a infecciones en humanos. *Hechos Microbiológicos*. 3(2), 93-6.
- Stephen, F., Altschul, T. L., Shaffer, M., A. A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., Lipman, D. J. (1997). Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res.* 25, 3389-402.
- Suárez-Contreras, L.Y., & Peñaranda-Figueroa, F. A. (2022). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *Rev. Bio. Agro.* 20(1), 194-206. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1914>.
- Sun, J., Karuppiiah, V., & Chen, J. (2020). The mechanism of heavy metal absorption and biodegradation of organophosphorus pesticides by *Trichoderma*. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819453-9.00014-3>.
- Valencia, J.C., & Castro, B. L. (2004). Aspectos biológicos de aislamientos de *Trichoderma* sp antagonicos a *Rosellinia bunodes*. *Cinecafé*. 55(1), 16-28.
- Vallejo, M., Marín, M., Ramos, M., Silva, S., Ibarra, D., & Tamaris, J. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 275-289. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2687>.

Yuan, M., Huang, Y., Ge, W., Jia, Z., Song, S., Zhang, L., & Huang, Y. (2019). Involvement of jasmonic acid, ethylene and salicylic acid signaling pathways behind the systemic resistance induced by *Trichoderma longibrachiatum* H9 in cucumber. *BMC Genom.*, 20, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5513-8>.

Windham, M. T., Elad, Y., & Baker, R. (1986). A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 76(5), 518–21.

Diseño de alimentos: de la reflexión al proceso de formulación

Food Design: from reflection to formulation process

Juan Sebastián Ramírez-Navas^a  juan.ramireznavas@javerianacali.edu.co; Patricia López-Ramírez^a  patricia.lopez@javerianacali.edu.co;

Leidy Marcela Montoya-Devia^a  leidy.montoya@javerianacali.edu.co;

Sandra Patricia Betancourt-Botero^a  sandra.betancourt@javerianacali.edu.co

^aGrupo de Investigación en Ciencias Básicas y Clínicas de la Salud. Departamento de Alimentación y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud. Pontificia Universidad Javeriana Cali. Calle. 18 #118 – 250, Barrio Pance, Cali, Valle del Cauca, Colombia.

Recibido: 01/02/2024 Aceptado: 30/04/2024

Citar, APA: Ramírez-Navas, J. S., Betancourt-Botero, S. P., Montoya-Devia, L. M. y López-Ramírez, P. (2024). Diseño de alimentos: de la reflexión al proceso de formulación. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 57–79. <https://doi.org/10.23850/24220582.6221>

Resumen En este artículo se presenta un ejercicio de reflexión, que parte del análisis del trabajo realizado durante varios años por el equipo de investigadores de la línea de Ciencia y Tecnología de Alimentos y desemboca en la estructuración de un protocolo educativo innovador enfocado en el diseño de alimentos mediante el aprendizaje basado en retos (ABR), el aprendizaje basado en proyectos (ABP) y el *design thinking* (DT). Se detalla cada una de las partes del protocolo y su fundamentación en la literatura científica. Se destaca la importancia de la adecuada estructuración de un equipo de trabajo diverso y cohesionado, la selección cuidadosa del mercado objetivo, y la formulación y prototipado basados en necesidades reales de los consumidores. Esta metodología pedagógica no solo busca innovar en el ámbito alimentario, sino también preparar a los estudiantes para enfrentar desafíos reales, promoviendo competencias como el liderazgo, pensamiento crítico y habilidades prácticas, integrando conocimientos técnicos y prácticos, buscando futuros profesionales que contribuyan de manera significativa a la industria alimentaria y a la mejora de la salud pública.

Palabras clave: Aprendizaje basado en proyectos, desarrollo de productos alimenticios, educación multidisciplinaria, innovación en alimentos, pensamiento de diseño.

Abstract In this paper, a reflection exercise is presented, which stems from the analysis of the work carried out over several years by the team of researchers in the Food Science and Technology field, leading to the structuring of an innovative educational protocol focused on food design through Challenge-Based Learning (CBL), Project-Based Learning (PBL), and *Design Thinking* (DT). Each part of the protocol is detailed along with its grounding in scientific literature. The importance of properly structuring a diverse and cohesive team, carefully selecting the target market, and formulating and prototyping based on real consumer needs was highlighted. This pedagogical methodology not only aims to innovate in the food industry but also prepares students to face real challenges, promoting competencies such as leadership, critical thinking, and practical skills, integrating technical and practical knowledge, seeking future professionals who contribute significantly to the food industry and public health improvement.

Keywords: Design thinking, food innovation, food product development, multidisciplinary education, project-based learning.

Introducción

La alimentación, como pilar fundamental de la salud humana, constituye un campo de estudio esencial que abarca múltiples disciplinas, incluyendo diversas ingenierías, la nutrición, la gastronomía, la química, entre otras. Los alimentos no solo son fuente de energía y nutrientes esenciales para el buen funcionamiento del organismo, sino también elementos clave en la educación alimentaria y en el desarrollo de hábitos alimenticios saludables (Codex, 1997).

Lograr productos alimenticios procesados, para una adecuada alimentación, requiere del diseño de alimentos, campo que abarca la modificación, mejora y optimización de las interacciones alimentarias, siendo un área compleja e interdisciplinaria que requiere un profundo conocimiento de los productos alimenticios, la tecnología y el comportamiento del consumidor (Schifferstein, 2023). Sin embargo, actualmente se requiere que los profesionales involucrados en el diseño de alimentos consideren, además de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas, el impacto nutricional y funcional de sus creaciones. También es importante la evaluación de las tendencias culturales y sociales en el diseño alimentario, con un enfoque en las prácticas sostenibles y los beneficios para la salud del consumidor (Klimenko y Lychagina, 2020; Schifferstein *et al.*, 2020).

En la actualidad, la humanidad enfrenta grandes retos en materia de salud pública, como la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles, incluyendo la obesidad, la diabetes, la hipertensión arterial y el cáncer (Hamid y Abbasi, 2020). Ante este escenario, resulta primordial que los departamentos dedicados a la Investigación, Desarrollo e

Innovación (I&D+i), tanto del sector alimentario como en el del académico, asuman un enfoque holístico en el diseño de alimentos (Bordewijk y Schifferstein, 2020). En este contexto, diversos estudios han examinado el carácter interdisciplinario del diseño de alimentos. Por ejemplo, investigaciones realizadas por Liu *et al.* (2022) y McClements (2020), resaltan la importancia de estos componentes (impacto nutricional y funcional) en el desarrollo de productos alimenticios buscando que no solo sean más saludables sino también sostenibles.

La meta será crear productos que no solo sean agradables al paladar y viables desde el punto de vista comercial, sino que también presenten un perfil nutricional equilibrado (Batista *et al.*, 2022; Trejo-Osti *et al.*, 2021). Este equilibrio nutricional es clave para contribuir efectivamente a mejorar el bienestar general de la población. Por otro lado, Comber *et al.* (2012) señalan que, para diseñar interacciones significativas y positivas, entre la naturaleza omnipresente de los alimentos, las diferencias socioculturales en las prácticas alimentarias y un panorama alimentario global en constante cambio, es esencial identificar las prácticas alimentarias diarias y las oportunidades para el diseño de tecnología que apoye dichas prácticas. No obstante, se reconoce la necesidad de ampliar la investigación en este campo, tal como señalan Lewis y Burton-Freeman (2010) y Latino *et al.* (2019).

Los docentes de las disciplinas relacionadas con la alimentación deben enfrentar el reto de impartir a los estudiantes un conocimiento amplio y profundo integrando diversas áreas del conocimiento. Debido a la necesidad de los estudiantes por conocer los avances realizados en el área de los alimentos, es recomendable que se incorporen en los planes de estudio universitarios las investigaciones y avances más recientes en nutrición, tecnología de los alimentos y salud pública para fomentar una

perspectiva completa en el diseño de alimentos. Este enfoque preparará a los estudiantes para afrontar y solucionar los retos contemporáneos del sector alimenticio, impulsando la elaboración de productos que sean tanto seguros y nutricionales como accesibles para la población. Esto demanda un compromiso firme con la innovación responsable enmarcada en un trabajo multidisciplinar, que tenga en cuenta los efectos de los productos alimenticios en la salud a largo plazo. Es así que, desde el punto de vista docente, la aplicación de la metodología educativa propuesta propende, no solo por enriquecer la formación de los futuros especialistas del ámbito nutricional, sino que también puede influir de manera significativa en la sociedad al promover patrones de consumo saludables y reducir la incidencia de enfermedades derivadas de la alimentación.

En este artículo se presenta un ejercicio de reflexión, que nace del análisis del trabajo realizado en el diseño de alimentos durante varios años por el equipo de investigadores de la línea de Ciencia y Tecnología de Alimentos y culmina en la consolidación de un protocolo educativo innovador enfocado en el diseño de alimentos, que integra metodologías como el aprendizaje basado en proyectos (ABP), el aprendizaje basado en retos (ABR) y el *design thinking* (DT). Se tomaron en consideración estas metodologías de aprendizaje, debido a que fomentan el pensamiento creativo, el respeto por las opiniones ajenas, la autogestión, el trabajo colaborativo, el aprendizaje activo, el pensamiento crítico y acerca a los estudiantes a contextos reales (Tsybulsky y Muchnik-Rozanov, 2023), fortaleciendo de ese modo, sus competencias tanto técnicas como transversales.

Asimismo, en el presente artículo se expone el proceso seguido por los estudiantes/investigadores (EI) a lo largo del semestre académico en la puesta en marcha de dicho protocolo, que va desde la conceptualización hasta la presentación final de productos

alimenticios saludables. Este recorrido pedagógico demuestra la aplicabilidad de los conocimientos teóricos en escenarios reales y resalta la importancia de la educación práctica y el aprendizaje activo en la formación de profesionales capaces de contribuir significativamente al campo de la alimentación y nutrición. Este esfuerzo colectivo refleja el compromiso de la academia con la promoción de una alimentación saludable y sostenible, proponiendo una hoja de ruta clara para futuras innovaciones en el diseño de alimentos.

Fundamentos teóricos

Aprendizaje basado en proyectos (ABP) y aprendizaje basado en retos (ABR)

Son enfoques educativos que se basan en la presentación de desafíos reales y significativos a los estudiantes como punto central del proceso de aprendizaje. En estas metodologías, los estudiantes se involucran activamente en la resolución de problemas y situaciones auténticas que reflejan escenarios del mundo real. Estos retos estimulan el pensamiento crítico, la creatividad y la colaboración, alentando a los estudiantes a aplicar conocimientos y habilidades adquiridas para encontrar soluciones innovadoras.

El ABR promueve la adquisición de competencias prácticas y valiosas para la vida, lo que impulsa el desarrollo integral de los estudiantes y su capacidad para enfrentar situaciones complejas y variadas en su futuro profesional, fortaleciendo las competencias en liderazgo, trabajo en equipo y pensamiento crítico (Tsybulsky y Muchnik-Rozanov, 2023), y potenciando el aprendizaje profundo no solo desde lo técnico, sino desde la interrelación (Ceh-Varela *et al.*, 2023).

Design thinking (DT)

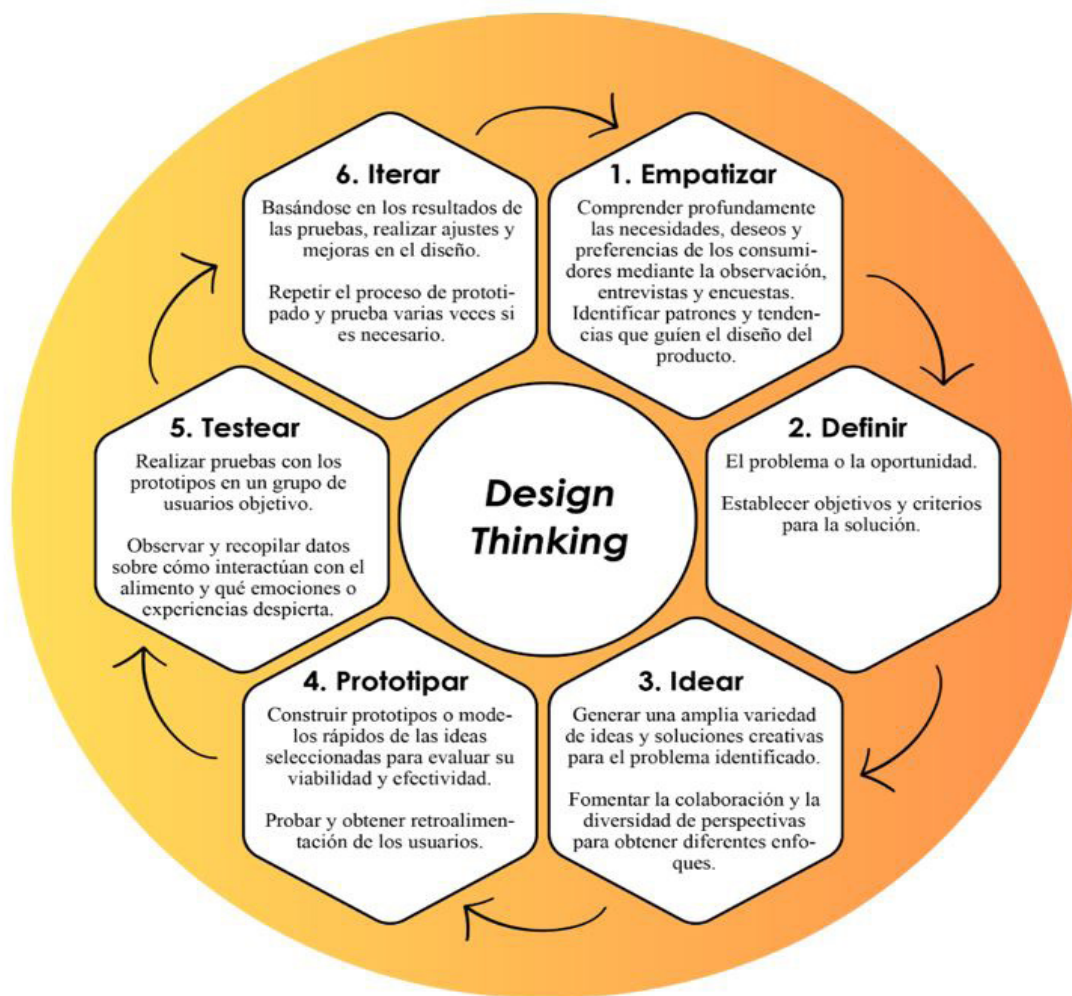
De forma general, se define como un enfoque metodológico que busca resolver problemas y generar soluciones innovadoras a través de un

proceso centrado en el usuario y la empatía. Se basa en la creatividad, el pensamiento iterativo y la colaboración entre equipos multidisciplinarios (Batat, 2021). En lugar de centrarse únicamente en la tecnología o la viabilidad económica, el DT pone el énfasis en las necesidades y deseos reales de las personas para quienes se está

diseñando un producto o servicio. En el diseño de alimentos, el DT se utiliza para desarrollar productos alimenticios que satisfagan las necesidades y preferencias de los consumidores de manera innovadora. El proceso de aplicación del DT, para la formulación de un alimento, se resume en los siguientes pasos (Figura 1):

Figura 1

Proceso de aplicación del Design Thinking



Objetivos del ejercicio académico

La Pontificia Universidad Javeriana Cali se posiciona en la vanguardia de este esfuerzo educativo al implementar un protocolo para

la formulación de alimentos en sus cursos de Tecnologías de los alimentos (TA) y Fundamentos de diseño de nuevos productos alimenticios (FDNPA). Mediante la aplicación de metodologías activas como el ABR y ABP,

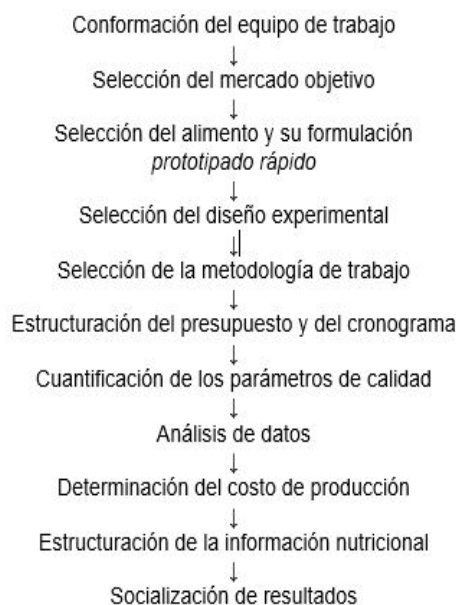
complementadas con el enfoque de DT, se busca equipar a los estudiantes con las herramientas necesarias para el diseño innovador y consciente de alimentos. En los cursos se propone, en el protocolo, como objetivo general del ejercicio: “Desarrollar habilidades y competencias metodológicas, conceptuales y prácticas en los estudiantes del Programa de Nutrición y Dietética para innovar en el diseño de productos alimenticios que satisfagan las necesidades y expectativas de la población objetivo”. Y como objetivos específicos: 1) aplicar los principios del *Design Thinking* (DT); 2) desarrollar habilidades de prototipado y pruebas de concepto; y, 3) fomentar la creatividad y el trabajo colaborativo. Este ejercicio se hace tomando como base el ABR o ABP según el caso.

Protocolo educativo para diseñar alimentos

A continuación, se presenta un protocolo dirigido a los **Estudiantes/Investigadores (EI)** para diseñar un producto alimenticio. Además, se aportan ejemplos y se recomienda literatura científica que permite ampliar las temáticas relacionadas en la **Figura 2**.

Figura 2

Actividades propuestas en el protocolo para formular un alimento



Conformación del equipo de trabajo

En la primera semana de trabajo, los EI deben conformar un equipo de trabajo. Esta conformación es de suma importancia en cualquier proyecto o actividad, ya que un equipo cohesionado y diverso puede potenciar la eficiencia, creatividad y productividad en la resolución del problema planteado. Un equipo bien conformado puede combinar una variedad de habilidades, conocimientos y experiencias que se complementan entre sí, lo que permite abordar los desafíos desde diferentes perspectivas y generar soluciones más completas y robustas. Además, lograr un buen equipo fomenta la colaboración, la comunicación efectiva y la motivación entre sus miembros, lo que contribuye al logro de metas comunes de manera más efectiva y eficiente (Sánchez-Pérez y Otálora, 2006).

La conformación de un equipo de trabajo debe realizarse de manera cuidadosa y estratégica. Para ello, se pueden seguir los siguientes pasos:

1) Definir los objetivos y tareas del proyecto, esto permitirá identificar las habilidades y conocimientos necesarios en los miembros del equipo.

2) Identificar las competencias requeridas: evaluar las habilidades, conocimientos y experiencia necesarios para llevar a cabo las tareas del proyecto de manera exitosa.

3) Fomentar la diversidad: buscar la inclusión de miembros con diferentes experiencias, antecedentes culturales y habilidades, ya que esto enriquecerá la perspectiva y creatividad del equipo.

4) Definir roles y responsabilidades claras a cada miembro del equipo con base en sus habilidades y competencias.

5) Establecer una comunicación efectiva: promover la comunicación abierta y clara entre los miembros del equipo para asegurar una buena coordinación y flujo de información.

6) Fomentar el trabajo en equipo: promover el espíritu de colaboración, confianza y respeto entre los miembros del equipo para garantizar una dinámica positiva y productiva.

7) Evaluar el progreso y resultados: realizar seguimientos para identificar oportunidades de mejora y retroalimentación constructiva.

Selección

Una vez que los EI han definido cuál es su equipo de trabajo, el siguiente paso será seleccionar 1) el mercado objetivo, 2) el producto alimenticio con el que trabajarán, 3) la formulación base. 4) el diseño experimental (DoE) que mejor se ajusta a su requerimiento, 5) la metodología de trabajo. A continuación, se describen brevemente cada uno de estos puntos.

Selección del mercado objetivo

En la fase preliminar del desarrollo de productos, se debe abordar la identificación de una necesidad específica en el mercado o un requerimiento nutricional puntual de cierto segmento poblacional. La meta consiste en definir claramente el grupo objetivo del producto y la razón de su importancia para dicho grupo. Es crucial recurrir a fuentes fidedignas que proporcionen datos estadísticos sólidos sobre salud, tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS, www.who.int), la Encuesta Nacional de Situación Nutricional (ENSIN 2005, 2010 y 2015) (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2024), así como organizaciones enfocadas en enfermedades no transmisibles específicas, entre otras.

El EI debe recopilar datos generales sobre el estado nutricional de la población, seleccionando aquellos pertinentes a su proyecto. Por ejemplo, para la creación de una barra de cereales rica en hierro destinada a las loncheras escolares, es necesario investigar estadísticas que evidencien carencias de este micronutriente (Covino *et*

al., 2015; Nathiya y Vigasini, 2012). Además, es importante analizar las tendencias de mercado y de consumo que guarden relación con el producto, incluyendo características valoradas por los consumidores. Hay múltiples tendencias asociadas al consumidor que están relacionadas con algunas de estos tres grupos, salud, placer o conveniencia (Dornblaser, 2017).

Si el objetivo es desarrollar una barra de cereales que, además de aportar hierro, sea libre de conservantes y azúcares añadidos, dado que se ha identificado que las madres valoran estos aspectos al elegir productos para sus hijos, el análisis debe incluir datos que respalden la inclinación de los consumidores hacia alimentos sin azúcar añadido, con reducido contenido de azúcar, sin conservantes, sin colorantes o sin saborizantes artificiales (Principal *et al.*, 2022; Wandeka *et al.*, 2022).

Algunas de las herramientas usadas para establecer estadísticas relacionadas con el mercado y el consumidor corresponden a aquellas brindadas por Mintel, conocida en español como la agencia de inteligencia de mercado líder a nivel mundial (MINTEL, 2024) y por Euromonitor International o también llamado proveedor mundial de inteligencia empresarial, análisis de mercado y perspectivas del consumidor (Euromonitor International, 2024).

Selección del alimento

La elección del alimento a diseñar, así como la selección de las materias primas e ingredientes utilizados en su formulación, es un proceso complejo y multifacético (Jonkman *et al.*, 2017; Schifferstein, 2016), influenciado por una intrincada combinación de factores, entre los que incluyen aspectos nutricionales (Prosekov *et al.*, 2022), económicos (Lee *et al.*, 2020), culturales (Klimenko y Lychagina, 2020), tecnológicos, geográficos (Jarma-

Arroyo *et al.*, 2020), ambientales (Vermeir *et al.*, 2020), conductuales y psicológicos (Spence *et al.*, 2020). Adicionalmente, en su elaboración se deben considerar aspectos como la densidad nutricional de los ingredientes, las pérdidas nutricionales durante el proceso y las características de manejo y almacenamiento.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que existen factores que dictan las elecciones de los consumidores en la vida diaria, tales como el costo, la conveniencia, las preferencias culturales, las influencias sociales, entre otras. Sin embargo, lo importante es lograr un equilibrio entre satisfacer las expectativas del consumidor y adaptarse a consideraciones prácticas como la calidad del producto (físicoquímica, microbiológica, nutricional, sensorial, etc.).

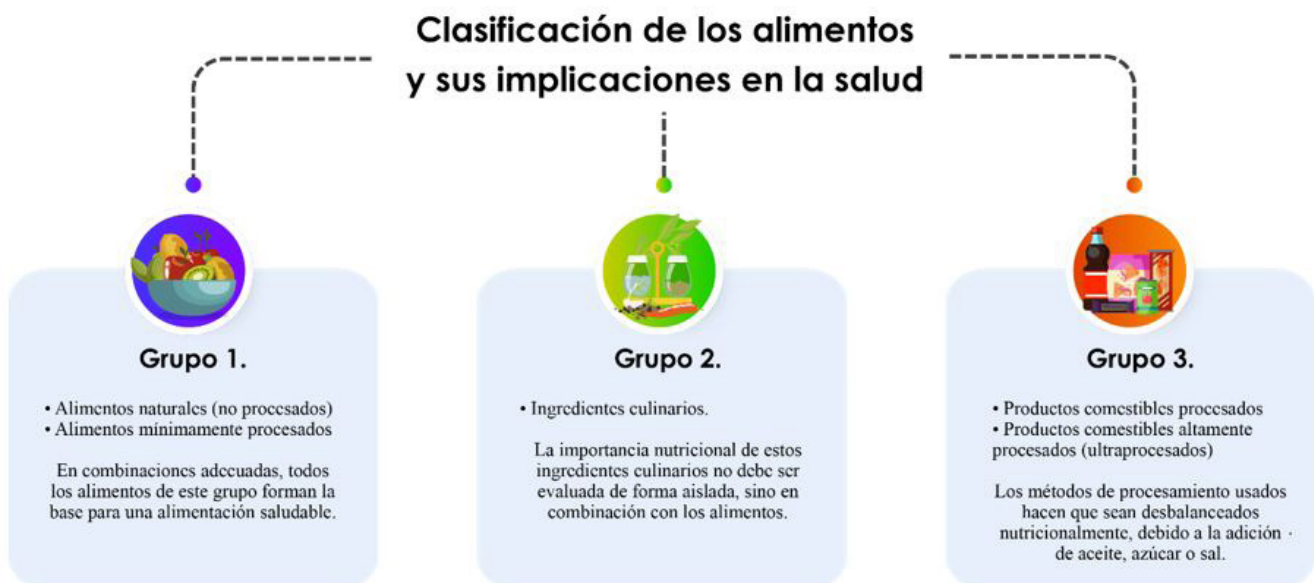
Lo anterior, llevará a los EI a focalizar su decisión en la elección del alimento a diseñar

en los tipos de productos enmarcados en el concepto de generación de impacto en la salud de los consumidores (**Figura 3**), (Organización Panamericana para la Salud [OPS], 2024). Posteriormente, se realizará el proceso de ideación a través de una lluvia de ideas y, por medio de procesos de investigación de antecedentes, discusión y trabajo en equipo, generando así la definición de los productos a desarrollar. Una vez definidos los productos, se realiza una consulta de la toda normativa vigente relacionada con el producto seleccionado y se evalúa su comportamiento en el mercado, las tendencias de consumo, venta y marcas líderes de productos en la misma línea.

Finalmente, con base en la información recopilada, se deberá precisar el producto, sus características principales, nicho de mercado y su promesa de valor, definiendo el concepto del producto a desarrollar.

Figura 3

Clasificación de los alimentos y sus implicaciones en la salud



Formulación básica y exploración de materias primas

En esta etapa del proceso, se deberá generar un prototipado rápido que permite a los EI realizar un acercamiento a las diferentes materias primas y productos desarrollados para el mercado de alimentos. De este modo, se conoce de manera dinámica el comportamiento del producto, dirección de los ajustes y respuesta inicial de los posibles consumidores, presentando un acercamiento rápido al producto que planean desarrollar y que posteriormente tendrá una formulación optimizada a través de la realización del diseño experimental (Olsen, 2015).

Selección del diseño experimental

El diseño de experimentos (DoE) es una metodología estadística que se utiliza para planificar, conducir y analizar experimentos con el fin de obtener información precisa y relevante sobre el efecto de diferentes variables en un proceso o sistema (Gutiérrez-Pulido y de la Vara Salazar, 2012). El DoE permite identificar las variables clave que afectan el resultado del experimento y optimizar los factores de interés para lograr el mejor resultado posible con el menor número de pruebas.

En el diseño de productos alimenticios, el DoE se aplica para mejorar la calidad del producto, optimizar las formulaciones y procesos de fabricación, y desarrollar alimentos más competitivos en el mercado (Miranda-Ackerman y García-Lechuga, 2020). La aplicación del DoE en el diseño de productos alimenticios permite una toma de decisiones basada en datos, mejora la eficiencia en el desarrollo de nuevos productos y ayuda a optimizar los procesos de fabricación para obtener alimentos de alta calidad y con características deseables para los consumidores (Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024; Hidalgo-Piamba *et al.*, 2018).

El DoE en el diseño de alimentos es un proceso complejo y multifacético, con una variedad de metodologías y estrategias adaptadas a

diferentes aspectos del desarrollo de productos alimenticios.

La elección de un DoE se lleva a cabo considerando diversos factores, entre ellos el propósito específico de la investigación, la complejidad del sistema de alimentos bajo estudio, el número de variables y sus distintos niveles a analizar, así como los recursos a disposición tales como tiempo, presupuesto y equipamiento. Además, la precisión que se busca alcanzar en los resultados influye significativamente en esta elección. Un diseño factorial completo se selecciona para realizar un análisis exhaustivo que contemple todas las posibles interacciones entre las variables implicadas.

Sin embargo, cuando se busca minimizar el número de pruebas manteniendo un nivel aceptable de información vital, se opta por diseños factoriales fraccionados o diseños de bloques. Este último enfoque permite una simplificación de los experimentos sin comprometer en exceso la calidad y el valor de los resultados obtenidos. Esta decisión estratégica requiere de un cuidadoso equilibrio entre la amplitud y profundidad del análisis deseado y la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles, buscando siempre maximizar los beneficios de la investigación dentro de las limitaciones existentes (Gutiérrez-Pulido y de la Vara Salazar, 2012).

Considerando estos antecedentes, para este ejercicio, los pasos para aplicar el DoE en el diseño de productos alimenticios son los siguientes:

- 1) Establecer claramente el objetivo del experimento, como mejorar la textura, sabor, vida útil, valor nutricional u otros atributos del producto.

- 2) Identificar las variables o factores que pueden influir en el atributo que se desea mejorar, como los ingredientes, proporciones, tiempos y temperaturas de procesamiento.

3) Utilizar técnicas de DoE para planificar las pruebas de manera eficiente. Esto implica seleccionar un diseño apropiado, como el diseño factorial o el diseño de superficie de respuesta, que permita evaluar múltiples variables simultáneamente.

4) Llevar a cabo las pruebas según el diseño planificado, controlando cuidadosamente las variables y registrando los resultados de cada ensayo.

5) Aplicar métodos estadísticos para analizar los datos obtenidos y determinar qué variables tienen un impacto significativo en el atributo del producto.

6) Utilizar los resultados del análisis estadístico para identificar las mejores combinaciones de variables que conduzcan al mejor resultado deseado.

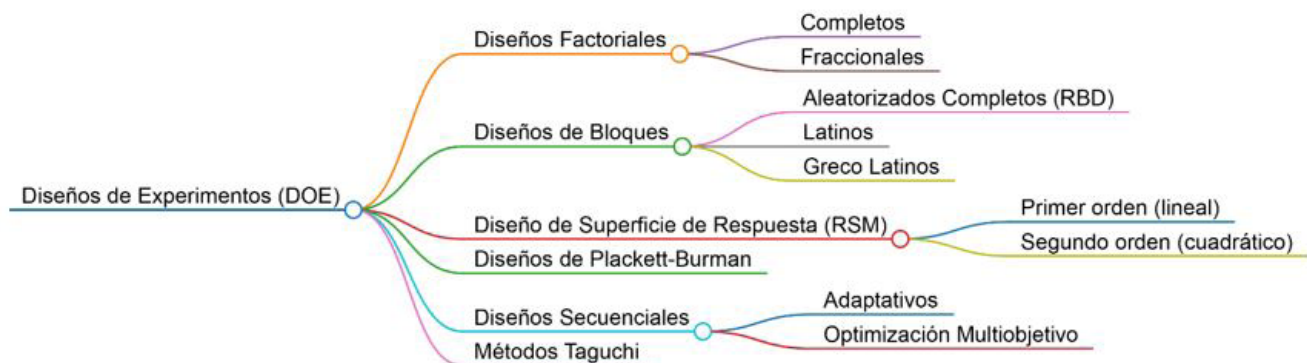
7) Verificar los resultados obtenidos y validar que las optimizaciones realizadas en el diseño

del producto conducen a mejoras significativas en la calidad del producto alimenticio (Bower, 2013; Gutiérrez-Pulido y de la Vara Salazar, 2012; Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024).

En el diseño de productos alimenticios, existen varios que se aplican para investigar y optimizar diferentes aspectos del proceso de fabricación y las características del producto. La elección del DoE dependerá de los objetivos específicos del estudio, las variables a investigar y la complejidad del proceso de fabricación del alimento. Cada uno de estos DoE proporciona una estructura estadística sólida para obtener conclusiones precisas y respaldar la toma de decisiones informadas en el diseño y optimización de productos alimenticios. Algunos de los comúnmente utilizados en la industria alimentaria se observan en la **Figura 4**.

Figura 4

Tipos de diseños de experimento



● **Diseño Factorial:** Es uno de los diseños más utilizados en el diseño de alimentos. Permite estudiar el efecto e interacción de dos o más variables independientes (factores) de manera simultánea (Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024). Por ejemplo, en la formulación de un nuevo producto alimenticio, se pueden estudiar cómo

la concentración de diferentes ingredientes, el tiempo de cocción y la temperatura afectan la textura, el sabor y el color del producto final. Al analizar varios factores simultáneamente, se puede ahorrar tiempo y recursos, obteniendo una comprensión más completa de la influencia de cada variable en el producto.

● **Diseño Factorial Fraccionado:** Este diseño examina simultáneamente el impacto de varios factores, reduciendo la cantidad de pruebas a realizar. Esta estrategia resulta ventajosa cuando existen restricciones de tiempo, recursos o capacidad para experimentar (Gutiérrez-Pulido y de la Vara Salazar, 2012). A diferencia de los diseños completos que exigen ejecutar todas las posibles combinaciones de niveles de factores, los diseños fraccionados escogen solo una parte de estas combinaciones. Por ejemplo, frente a tres factores con dos niveles cada uno, en lugar de efectuar ocho experimentos, se podrían llevar a cabo únicamente cuatro, escogiendo aquellos que eficazmente cubran el espacio de estudio. Esto se fundamenta en que no todas las interacciones entre factores tienen la misma relevancia, lo que permite simplificar el estudio sin sacrificar datos esenciales (Gutiérrez-Pulido y de la Vara Salazar, 2012).

● **Diseño de Superficie de Respuesta:** Este diseño se utiliza para optimizar las condiciones de procesamiento y encontrar el punto óptimo donde se maximiza o minimiza una respuesta específica para obtener el mejor resultado posible (Yolmeh y Jafari, 2017). Por ejemplo, en la formulación de una cocada, se evalúan diversas variables de proceso y su relación con parámetros de calidad. Aplicando este tipo de diseño, se generan modelos matemáticos que representan la relación entre las variables y la respuesta, permitiendo identificar las condiciones ideales para el producto (Morelo *et al.*, 2024).

● **Diseño Central Compuesto:** Este diseño es una extensión del Diseño Factorial que incluye puntos centrales adicionales para estudiar la curvatura de la respuesta en el espacio de las variables. Esto significa que además de explorar los efectos de los factores, también se evalúan las interacciones entre ellos. Es especialmente útil cuando no se conocen las relaciones lineales exactas entre las variables y la respuesta, lo que

permite obtener un panorama más completo del comportamiento del producto (Yolmeh y Jafari, 2017).

● **Diseño de Mezclas:** Es relevante en el caso de productos alimenticios que se formulan mediante la combinación de diferentes ingredientes, como en la elaboración de bebidas o alimentos procesados. Se busca determinar la proporción óptima de cada ingrediente para obtener la mejor combinación de características del producto, como el contenido de grasa, proteínas, azúcares, y otros componentes (Campo-Quintero *et al.*, 2022; Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024).

● **Diseño Aleatorio:** Es aplicable cuando existen factores que pueden afectar el experimento de manera no controlable o aleatoria, como variaciones ambientales. Se utiliza para estudiar el efecto de estos factores y comprender cómo pueden afectar el resultado final del producto. Esto permite identificar fuentes de variabilidad y mejorar la consistencia y calidad del producto (Ortiz-Álvarez *et al.*, 2017).

● **Diseño en Bloques:** En algunos casos, ciertos factores pueden afectar el experimento de manera diferente en distintas condiciones. El diseño en bloques divide los factores en bloques homogéneos para estudiar su efecto dentro de cada bloque por separado (Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024). Por ejemplo, en un estudio sobre diferentes lotes de un ingrediente, cada lote se consideraría un bloque, y se evaluaría cómo influyen en la calidad del producto las diferentes fuentes de variabilidad.

● **Diseños vecinos (neighbor designs):** Se utilizan para analizar el impacto de pequeños cambios en las variables sobre los resultados de

un proceso. Este método asume que variaciones mínimas en los parámetros pueden provocar diferencias significativas o despreciables en los resultados (Mulla *et al.*, 1990). Se aplican principalmente para perfeccionar procesos y productos, buscando las condiciones óptimas que mejoren la eficiencia, la calidad o cualquier otra variable relevante. Son especialmente valiosos para ajustar aspectos críticos como la eficacia productiva, las características sensoriales de los alimentos o la accesibilidad de nutrientes.

Se han propuesto una variedad de DoE para el diseño de alimentos, con un enfoque en la optimización y la eficiencia. A manera de ejemplo, Draper y Pukelsheim (1996) y Steinberg y Hunter (1984) ofrecen una visión integral del DoE, enfatizando el papel de los diseños de superficie de respuesta (*response surface designs*), los diseños por bloques (*block designs*) y los diseños vecinos (*neighbor designs*). Estos diseños son particularmente relevantes en el contexto de la innovación alimentaria, donde factores como la evaluación sensorial, las preferencias del consumidor y el análisis nutricional influyen a la hora de elegir y consumir un producto.

La integración de consideraciones de sostenibilidad y medio ambiente en el DOE es una tendencia en crecimiento. Roosen y Marette (2011) y Squeo *et al.* (2021) destacan el potencial del uso de DoE para la reducción de residuos, la eficiencia de recursos y soluciones de envases sostenibles. Lewis y Tuck (1985) y Arteaga *et al.* (1994) enfatizan en el uso de diseños factoriales balanceados y diseños experimentales sistemáticos, respectivamente, para reducir el tiempo y los recursos en la investigación de la fabricación de alimentos. Mertens *et al.* (2012) y Hanrahan y Lu (2006) compararon y examinaron críticamente diferentes DoE. Por su parte, Mertens *et al.* (2012) sugirió el uso de diseños factoriales completos y diseños de cuadrado latino aplicados a la microbiología predictiva de alimentos.

En cuanto a la discusión de la aplicación de alimentos, Fearn (2017) se centra en diseños factoriales 2k y Ruohonen y Kettunen (2004) proponen el uso de la metodología de superficie de respuesta para optimizar alimentos para peces. Noguera *et al.* (2020) proponen el diseño 2k para analizar los factores en la tasa de crecimiento de los buñuelos durante la fritura. Campo-Quintero *et al.* (2022) emplean el diseño de mezclas para evaluar la influencia de los ingredientes del estabilizante utilizando en la formulación de un helado con licor. Por último, Antony (2003) y Antony (2014) resaltan el uso de diseños factoriales fraccionales para estudiar características críticas de calidad y parámetros del proceso en el diseño de alimentos.

En los ejercicios previos realizados por los EI, generalmente se ha optado por el Diseño Factorial y el Diseño Aleatorio. Aunque también se han detectado casos en los que se aplicó satisfactoriamente el Diseño de Mezclas.

Metodología de trabajo

Una vez se tiene claro el producto alimenticio con el que se trabajará, su formulación base, las modificaciones o innovaciones a realizar y el DoE adecuado, los EI deben establecer la parte logística de su trabajo respondiendo a las siguientes preguntas:

- 1) ¿cuál será el lugar de trabajo?,
- 2) ¿dónde se adquirirán las materias primas?,
- 3) ¿qué cantidades se deben comprar?,
- 4) ¿qué equipos y materiales se requieren?,
- 5) ¿cuál es el proceso de elaboración? (diagrama de flujo, detalle de las variables de proceso, etc.).
- 6) ¿qué ensayos se realizará al alimento con el fin de evaluar las características esperadas? (químicos, fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales, etc.) Es importante redactar la respuesta a cada una de estas preguntas, porque servirá para la construcción del informe final.

Actividades administrativas

Posteriormente a la realización de las actividades anteriores, es importante estructurar el presupuesto y construir el cronograma de trabajo.

Presupuesto

Los EI deben elaborar un presupuesto, estimando detallada y organizadamente los recursos financieros necesarios para llevar a cabo el proyecto de manera exitosa. Esta es una herramienta esencial en la gestión de proyectos, ya que proporciona una visión clara de los costos y permite planificar y controlar el uso adecuado de los recursos durante todas las etapas del proyecto. Elaborar un presupuesto tiene como objetivo estimar los ingresos y gastos del proyecto para un periodo futuro específico, correspondiente al periodo de ejecución.

El presupuesto debe estar bien documentado y basarse en estimaciones realistas. Los componentes del presupuesto se pueden resumir así:

1) Gastos estimados, que representan los costos de producción, costos operativos, gastos de administración, marketing, y otros gastos.

2) Ingresos estimados, que no es más que la proyección del dinero que se requiere para la ejecución del proyecto. Es importante revisarlo y ajustarlo periódicamente durante la ejecución del proyecto para mantener el control sobre los costos y garantizar que los recursos se utilicen de manera eficiente y efectiva para lograr los objetivos del proyecto (Hernández-Romero *et al.*, 2011).

En la estructuración de un presupuesto se suele incluir los siguientes elementos:

1) Costos de personal: incluye los salarios y beneficios de todos los miembros del equipo del

proyecto, así como los honorarios de consultores o contratistas externos involucrados en el proyecto.

2) Costos de materiales: comprende los gastos relacionados con la adquisición de materiales, suministros y equipos necesarios para la ejecución del proyecto.

3) Costos de servicios: incluye los gastos de servicios externos contratados para llevar a cabo actividades específicas, como servicios de consultoría, análisis de laboratorio, servicios técnicos, entre otros.

4) Costos de viaje y viáticos: contempla los gastos de transporte, alojamiento y alimentación asociados a desplazamientos necesarios para el desarrollo del proyecto.

5) Costos indirectos: son gastos generales que no se pueden atribuir directamente a una actividad específica del proyecto, como el alquiler de instalaciones, servicios públicos, entre otros.

6) Contingencias: un margen de reserva para imprevistos o riesgos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto.

7) Gastos administrativos: comprende los costos asociados con la gestión y administración del proyecto, como el personal administrativo y los gastos de oficina.

8) Financiamiento y recursos propios: si el proyecto cuenta con fuentes de financiamiento externas, se debe incluir en el presupuesto. También se pueden incluir los recursos propios que aporta la organización para llevar a cabo el proyecto (Hernández-Romero *et al.*, 2011). A manera de ejemplo se presentan una tabla resumen que puede emplearse para estructurar un presupuesto (**Tabla 1**), cada rubro deberá ser detallado en otra tabla adicional.

Tabla 1*Ejemplo de presupuesto global del proyecto*

Rubros	Recursos (\$)			Total (\$)
	IES		Contrapartida	
	Efectivo	Especie ^[1]		
Personal				
Equipos y software				
Materiales bibliográficos, publicaciones, insumos y servicios técnicos				
Salidas de campo				
Viajes				
Total				

Nota. [1] Se refiere a valores cancelados por la Instituciones de Educación Superior (IES), como son: salarios de docentes y/o empleados que participan en el proyecto, equipos, servicios públicos, consumo de Internet.

Cronograma

Los EI deben elaborar un diagrama de Gantt. Esta es una herramienta gráfica utilizada en la gestión de proyectos para planificar, programar y controlar las tareas y actividades a lo largo del tiempo. Es una representación visual de las diferentes actividades del proyecto dispuestas en el eje vertical, mientras que en el eje horizontal se muestra el tiempo, dividido en unidades de días, semanas o meses, dependiendo de la duración del proyecto (Gantt y Clark, 2015).

Para elaborar un diagrama de Gantt, se deben seguir los pasos detallados a continuación:

1) determinar el alcance global del proyecto y listar todas las actividades requeridas;

2) organizar estas actividades en un orden secuencial y estimar la duración de cada una;

3) identificar las relaciones de dependencia entre las diferentes tareas para asegurar una secuenciación lógica;

4) asignar los recursos necesarios para cada tarea;

5) para la creación del diagrama, se puede emplear un software especializado en gestión de proyectos o utilizar una plantilla prediseñada de Excel®, disponiendo las actividades en el eje vertical y el marco temporal en el eje horizontal (Tabla 2). Es necesario revisar y ajustar el diagrama de Gantt conforme avanza el proyecto, para asegurar que refleje con precisión el estado actual y los ajustes en la planificación (Gerald et al., 2012).

Tabla 2*Ejemplo de Diagrama de Gantt*

Actividad	Inicio	Duración	Porcentaje de cumplimiento	Periodos														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Act. 01	1	5	25%	■	■	■	■	■										
Act. 02	1	6	100%	■	■	■	■	■	■									
Act. 03	2	4	35%		■	■	■	■	■									
Act. 04	4	8	10%				■	■	■	■	■	■	■	■				
Act. 05	4	2	85%				■	■	■	■	■	■	■	■				
Act. 06	5	11	40%					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Cada actividad se representa mediante una barra horizontal en el diagrama (Tabla 2), cuya longitud indicará la duración estimada de la tarea. Las barras pueden estar interconectadas para mostrar relaciones de dependencia entre las actividades, como precedencias o restricciones temporales. Esto permite visualizar de manera clara y concisa la secuencia de actividades, su duración y la superposición de tareas en el tiempo. Lo cual, facilitará la planificación y asignación de recursos, la identificación de posibles cuellos de botella o retrasos en el proyecto, y el seguimiento del avance a medida que se completan las tareas.

Este tipo de diagrama es muy útil para comunicar el plan del proyecto a los miembros del equipo y a los interesados, ya que proporciona una visión general del cronograma y las fechas clave de manera fácilmente comprensible. Asimismo, cualquier modificación o ajuste necesario puede reflejarse rápidamente en el diagrama, lo que permite mantener el proyecto actualizado y gestionar de manera efectiva los cambios que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto (Pons, 2015).

Análisis de datos

Finalizado el proceso de elaboración de prototipos y cuantificación de parámetros de calidad de éstos, se obtiene una considerable cantidad de información (datos) que deben ser analizados de manera correcta, ahí es donde entra la estadística como una herramienta fundamental para la investigación. La estadística es una disciplina matemática que se enfoca en recopilar, organizar, analizar, interpretar y presentar datos numéricos (Rees, 2018). Su objetivo principal es extraer información útil y significativa a partir de los datos para tomar decisiones informadas y realizar inferencias sobre una población o muestra en particular (Rees, 1987). Desempeña un papel fundamental en el diseño y desarrollo de productos alimenticios al permitir la toma de

decisiones basadas en datos objetivos y precisos, asegurando la calidad, seguridad y aceptabilidad del producto final (Alkarkhi y Alqaraghuli, 2019; Rossi y Mirtchev, 2016).

La estadística juega un papel crucial en varias etapas del proceso de diseño de productos alimenticios, participando por ejemplo en:

1) El muestreo y recopilación de datos: para diseñar un nuevo producto o mejorar uno existente, es necesario realizar estudios de muestreo para obtener datos representativos de la población (Barreto-Varón y Ramirez-Navas, 2015, 2016; Gherezghier *et al.*, 2017). Estos datos pueden incluir propiedades físicas y químicas del alimento, características sensoriales, preferencias del consumidor y datos relacionados con la calidad y seguridad del producto.

2) Análisis sensorial: la estadística permite evaluar y analizar los resultados de pruebas sensoriales determinando las preferencias de los consumidores en términos de sabor, textura, aroma y apariencia (Spence *et al.*, 2020). En el análisis de las pruebas orientadas al consumidor, las pruebas estadísticas de Friedman y de Wilcoxon se emplean comúnmente para evaluar el grado de preferencia y aceptación (Ramirez-Navas *et al.*, 2021). En las pruebas orientadas al producto, se utilizan el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiple para identificar diferencias significativas entre las muestras evaluadas (Ramirez-Navas, 2012; Ramirez-Navas *et al.*, 2021).

3) Control de calidad: en la producción de alimentos, la Estadística se aplica para monitorear y controlar la calidad del producto en diferentes etapas del proceso. El control estadístico de procesos (SPC) se utiliza para detectar desviaciones y variaciones no deseadas, permitiendo realizar ajustes y correcciones en tiempo real para garantizar la uniformidad y consistencia del producto final (Lim y Antony, 2019).

4) Diseño de experimentos (DoE): la estadística experimental se emplea para optimizar la formulación y procesos de producción de alimentos. A través de diseños de experimentos adecuados, se pueden identificar los factores más influyentes en la calidad del producto y encontrar las condiciones óptimas para lograr los resultados deseados (Hidalgo-Piamba *et al.*, 2024).

5) Análisis de vida útil: la estadística se utiliza para evaluar la vida útil y estabilidad de los productos alimenticios, determinando el tiempo en el cual el producto mantiene sus características y calidad adecuadas para su consumo (Si *et al.*, 2011).

6) Investigación de mercado: en el desarrollo de nuevos productos, la estadística se emplea para realizar análisis de mercado y obtener información sobre las preferencias y hábitos de consumo de los consumidores, lo que ayuda a diseñar productos que satisfagan las necesidades del mercado (Sarstedt y Mooi, 2019).

Asesorías y componente interdisciplinario

Para el caso de estudio, el profesor titular (asesor) de la asignatura realiza el seguimiento y acompañamiento del grupo de EI en el desarrollo de su producto durante el transcurso del tiempo asignado para dicha tarea. Adicionalmente, los EI tienen a su disposición asesorías constantes con expertos de diferentes áreas:

1) Ingenieros expertos en procesamiento de alimentos y desarrollo de nuevos productos.

2) Nutricionistas clínicos para el apoyo de interacciones que puedan suceder en la matriz alimentaria propuesta durante su consumo.

3) Nutricionistas expertos en etiquetado nutricional para validar la normatividad vigente en el desarrollo de sus proyectos.

4) Gastrónomos que facilitan conocimientos relacionados con las preparaciones gastronómicas asociadas al producto.

5) Diseñadores gráficos y estudiantes de Diseño de Comunicación Visual que dan a los productos una imagen llamativa y un etiquetado dinámico, además de dar cumplimiento a la normatividad vigente.

Estructuración de la información nutricional

Dado que el reto que se planteó al inicio del ejercicio es la formulación de un producto alimenticio saludable, los EI deben construir, con base en la legislación vigente, la tabla nutricional, así como la información nutricional que deberá llevar el etiquetado de su producto. Por lo cual, se deberán usar bases de datos nacionales que albergan las tablas de composición nutricional de instituciones como el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2018) o internacionales como las tablas de composición de la *U.S. Department of Agriculture*, USDA, (Haytowitz *et al.*, 2019).

Los cálculos de las tablas nutricionales son teóricos. Se realizan las declaraciones nutricionales y los sellos frontales de advertencia teniendo en cuenta la normatividad vigente que para este caso incluyen: la Resolución 810 de 2021 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021), la Resolución 2492 de 2022 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022) y la Resolución 254 de 2023 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).

Determinación del costo de producción del alimento

Para el cálculo de los costos de producción es necesario definir los costos fijos y variables. Dentro de los costos fijos se encuentran, por ejemplo, los costos de nómina, consumo

energético, consumo de agua, alquiler, costos de comunicación, como el teléfono o el servicio de internet, entre otros. Dentro de los costos variables se pueden mencionar los costos de materias primas e insumos para la elaboración del producto. Cuando se hayan definido los costos, se podrá aplicar la fórmula de Milton Friedman (Friedman, 2011), representada en la **Ecuación 1:**

Ec 1.

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costos fijos totales} + \text{costos variables totales}}{\text{Producción total estimada}}$$

Finalmente, para obtener el costo por unidad producida es necesario determinar el porcentaje de utilidad que se espera obtener y sumar este porcentaje al valor obtenido en la ecuación de Friedman.

Construcción del informe

Para el caso de estudio, una vez finalizado el trabajo, el equipo deberá estructurar el informe final, presentando los resultados de su proyecto. La estructura más recomendada es la llamada: IMRD (Introducción, Metodología, Resultados y Discusión) la cual incluye:

- 1) un título (español e inglés).
- 2) un resumen que debe contar con introducción, materiales y métodos, resultados, conclusiones y palabras clave (entre tres a cinco, en español e inglés).
- 3) Introducción: documentar la justificación del porqué se elaborará ese producto teniendo en cuenta el estado nutricional de la población y las tendencias del mercado y consumidor, evidenciando el grado de innovación de este producto.
- 4) Metodología: a) Encuesta de evaluación de concepto: describir la metodología usada en la elaboración de la encuesta de evaluación del concepto de producto (número de personas evaluadas, si fue presencial o virtual), incluir

como anexo la encuesta elaborada. b) Materia prima: describir las materias primas utilizadas y la justificación de los ingredientes escogidos. Indicar donde se adquirieron los ingredientes y, si es posible, incluir las fichas técnicas de los proveedores. c) Elaboración del producto: realizar una descripción de las formulaciones elaboradas, incluyendo fotografías y los porcentajes (%) de cada ingrediente. Colocar la formulación final estandarizada del producto (ingredientes y %). Incluir el diagrama de flujo y la descripción de cada etapa de elaboración del producto, con fotografías de las etapas de elaboración. d) Mediciones y normatividad: indicar qué metodologías se utilizaron para medir las características sensoriales (grupos focales, consumidores, número de personas, etc.) y la normatividad usada para el etiquetado y para el desarrollo del producto. Si realizaron mediciones fisicoquímicas del producto (actividad de agua, pH, sólidos solubles, etc.) describir la metodología empleada en la cuantificación.

5) Resultados: a) Evaluación del concepto: elaborar tablas y figuras que permitan consolidar los resultados y explicarlos. b) Rotulado general del producto: colocar las imágenes de la etiqueta general y nutricional del producto con todos los requerimientos solicitados de acuerdo con la normatividad vigente. c) Consideraciones nutricionales y de salud: explicar las declaraciones nutricionales y de salud que tiene el producto, así como la importancia de su desarrollo. d) Resultados sensoriales: si se realizó un análisis sensorial, presentar y explicar los resultados. e) Resultados fisicoquímicos: si se realizaron mediciones fisicoquímicas, presentar y explicar los resultados. La discusión debe incluir la comparación del producto formulado con otros productos existentes en el mercado o con información expuesta en literatura científica de productos similares.

6) Conclusiones y recomendaciones: las conclusiones deben basarse en los objetivos establecidos. En el caso de presentar recomendaciones es importante incluirlas en el documento.

7) Referencias bibliográficas: presentarlas siguiendo el estilo Vancouver (Ramírez-Navas, 2013, 2021). Un ejemplo de informe de trabajo se presenta en Camacho-Franco *et al.* (2023).

Socialización de resultados

Para la socialización de resultados, el equipo de trabajo puede construir un póster (Young *et al.*, 2019) o realizar una ponencia oral (Seals, 2022). Generalmente la ponencia oral tiene una duración 20 minutos y se realiza en un auditorio donde han sido convocados todos los asesores y EI de todos los cursos de la tecnología de alimentos (TA) y Fundamentos de diseño de nuevos productos alimenticios (FDNPA). Por su parte, el póster tiene medidas de 90 cm de ancho por 110 cm de alto y se presenta de forma vertical durante una sesión especial de pósteres, acompañado de una muestra comercial.

Ponencia

Una ponencia oral es una presentación donde investigadores comparten resultados y metodologías de sus estudios ante una audiencia (Flamez *et al.*, 2017). Pedagógicamente, las ponencias fomentan el aprendizaje colaborativo, el desarrollo de habilidades comunicativas y la actualización de conocimientos de los EI. El contenido de la ponencia debe seguir el orden del informe que los EI presentaron (usando la IMRD). Como recomendaciones generales, los EI deben:

1) Centrarse en la claridad y precisión del contenido, asegurándose de que cada diapositiva y sección del discurso aporte valor al tema tratado y sea fácilmente comprensible para el público.

2) Practicar la presentación varias veces para garantizar un flujo coherente y la correcta duración del discurso, ajustándose al tiempo asignado.

3) Utilizar recursos visuales efectivos, como gráficos y tablas, que complementen y clarifiquen la información verbal, evitando sobrecargar las diapositivas con texto excesivo.

4) Numerar todas las diapositivas.

5) De ser necesario, incluir en cada diapositiva las referencias bibliográficas pertinentes de forma condensada, máximo tres referencias por diapositiva.

6) Prepararse para responder preguntas del público, revisando posibles interrogantes y teniendo un dominio profundo del tema para manejar discusiones y retroalimentaciones.

Póster

Esta herramienta de divulgación debe contener:

1) Título.

2) Integrantes.

3) Filiación.

4) Introducción: Justificación del desarrollo de producto de acuerdo con el estado nutricional de la población y tendencias del mercado. Aquí se incluye la población objetivo a la que está dirigido el producto.

5) Metodología: Se elabora un párrafo o tabla que resuma los ensayos elaborados (con fotografías). Se coloca la formulación final (%), ingredientes y su importancia, diagrama de flujo del proceso de elaboración (fotografías), explicación de los cálculos que se realizaron, normatividad utilizada, metodología de las encuestas realizadas.

6) Resultados: se incluye el etiquetado general y nutricional, vida útil estimada del producto, declaraciones nutricionales y de salud, resultados de encuestas realizadas y, en algunos casos, la ficha técnica del producto.

7) Conclusiones y recomendaciones.

8) Referencias. Además del póster, los EI presentan el producto elaborado con su respectiva etiqueta (muestra comercial). Para facilitar el trabajo a los EI se les provee una plantilla de póster.

Muestra comercial

A través de la muestra comercial, los EI tienen la oportunidad de presentar sus productos ante propios y visitantes, con el fin de brindar información más profunda sobre las virtudes y beneficios de sus productos, recibiendo retroalimentación de manera directa de los consumidores. Para esta muestra comercial, se realizan actividades en articulación con estudiantes del programa de Diseño de Comunicación Visual, quienes brindan a cada equipo una identidad de marca, estrategias de marketing, diseño de etiquetado y tipos de empaque apropiados para el producto.

De este modo, se logra generar un impacto visual a los consumidores y se acerca a los estudiantes a una experiencia real de diseño de nuevos productos, al presentarse la necesidad de comunicar de manera clara y específica los requerimientos legales desde la nutrición a estudiantes de diseño para, de este modo, lograr etiquetas en concordancia con la normatividad vigente, mostrando de manera agradable y diferencial el producto desarrollado por cada grupo de trabajo.

Perspectivas finales

En el contexto académico y profesional del diseño de alimentos, la adopción de metodologías como el DT, el ABR y el ABP es fundamental, dado que estas estrategias potencian la creatividad e innovación, el pensamiento crítico y la resolución de problemas reales, habilidades que se requieren para la formulación de alimentos, sobre todo cuando se espera responder no solo a necesidades nutricionales sino también a expectativas sensoriales y de sostenibilidad desde la responsabilidad social que impacta la salud y la calidad de vida de las personas a través de la alimentación y la nutrición.

La implementación de estas metodologías fomenta una formación académica que

trasciende el conocimiento teórico y busca enfrentar a los estudiantes a situaciones que los lleven a rescatar, comprender y aplicar aquello que aprenden como una herramienta para resolver problemas o proponer mejoras en los espacios en donde se desenvuelven e interactúa el nutricionista en formación, articulados en procesos creativos y de toma de decisiones, preparándolos para enfrentar y liderar los desafíos del sector alimenticio en un entorno global, en contexto con la cultura alimentaria y gastronómica.

Esto se refleja en la capacidad de integrar conocimientos de diversas áreas, como la microbiología, la química, la farmacología, la toxicología, la ingeniería de procesos, la clínica nutricional, la salud pública, entre otras, para desarrollar propuestas innovadoras de alimentos o experiencias destinadas a atender necesidades y crear oportunidades en el campo de la alimentación y la nutrición con una mirada desde lo local a lo global, destacando la relevancia de una visión integral que considera los determinantes sociales de la salud.

Por otro lado, la estructuración de este protocolo para el diseño de alimentos, como se describe en el documento, no solo sistematiza el proceso educativo, sino que también garantiza la reproducibilidad y la eficacia en la innovación alimentaria. Al aplicar este protocolo, los estudiantes experimentan un aprendizaje significativo que simula desafíos profesionales auténticos, como la selección de materias primas o la optimización de procesos a través del diseño experimental. Esto permitirá a los futuros profesionales contribuir eficazmente al sector, enfocándose en la producción de alimentos seguros, nutritivos y accesibles.

De igual manera, la aplicación de este protocolo revela un incremento notable en la comprensión y aplicación de conceptos complejos, evidenciando la utilidad del DT, ABP y ABR para la formación integral y la habilidad

para abordar problemas de manera estratégica en la futura vida profesional de los estudiantes. De tal manera, que al finalizar el ejercicio planteado a través de los cursos de la línea de ciencia y tecnología de alimentos se evidencia que en los estudiantes se ha forjado una postura crítica ante la defensa de una alimentación adecuada y responsablemente pensada.

Conclusiones

En este documento, se reflexionó sobre el proceso de diseño de alimento y se presentó un protocolo educativo, como metodología para la creación de alimentos innovadores mediante un enfoque centrado en el aprendizaje basado en retos (ABR), aprendizaje basado en proyectos (ABP) y el *Design Thinking* (DT), aplicado en los cursos de Tecnologías de los Alimentos y Diseño de Nuevos Productos Alimenticios.

El empleo de metodologías prácticas en la enseñanza facilita que los EI interactúen con escenarios diseñados para replicar condiciones reales. El enfoque educativo propuesto en el protocolo robustece competencias técnicas, administrativas y comerciales, permitiendo a los EI aplicar de manera integrada los conocimientos adquiridos de diversas disciplinas, lo que aumenta su capacidad de innovación y colaboración. Tal aprendizaje interdisciplinario no solo mejora habilidades individuales, sino que también equipa a los EI para afrontar los retos del entorno laboral actual, incrementando su competencia y versatilidad para futuros roles profesionales.

Además, esta metodología enfatiza en la importancia de la creatividad, el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y la construcción de conocimiento a partir de los procesos prácticos, de reflexión y autocritica durante el desarrollo de un alimento a fin de cumplir con las expectativas y necesidades nutricionales de la población objetivo. Implementar este

modelo pedagógico no solo brinda a los EI las competencias para enfrentar desafíos prácticos en el sector alimentario, sino que también fomenta el desarrollo de alternativas alimentarias que sean sostenibles y saludables, en línea con los objetivos globales de salud pública.

Referencias

- Alkarkhi, A. F. M., y Alqaraghuli, W. A. A. (2019). *Easy Statistics for Food Science with R*. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2017-0-01357-5>
- Antony, J. (2003). Fractional Factorial Designs. En J. Antony (Ed.), *Design of Experiments for Engineers and Scientists* (1 ed., pp. 73-92). Elsevier Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/b978-075064709-0/50008-9>
- Antony, J. (2014). Fractional Factorial Designs. En J. Antony (Ed.), *Design of Experiments for Engineers and Scientists* (2 ed., pp. 87-112). Elsevier Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/b978-0-08-099417-8.00007-9>
- Arteaga, G. E., Li-Chan, E., Vazquez-Arteaga, M. C., y Nakai, S. (1994). Systematic experimental designs for product formula optimization. *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), 243-254. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90017-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90017-5)
- Barreto-Varón, M. A., y Ramirez-Navas, J. S. (2015). Inspección y muestreo de las materias primas y los materiales de envase y empaque (Parte 1). *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 89(1), 48-53.
- Barreto-Varón, M. A., y Ramirez-Navas, J. S. (2016). Inspección y muestreo de las materias primas y los materiales de envase y empaque (Parte 2). *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 90(1), 56-61.
- Batat, W. (2021). *Design Thinking for Food Well-Being*. Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-54296-2>
- Batista, M. F., de Carvalho-Ferreira, J. P., Thimoteo da Cunha, D., y De Rosso, V. V. (2022). Front-of-package nutrition labeling as a driver for healthier food choices: Lessons learned and future perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 535-586. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.13085>
- Bordewijk, M., y Schifferstein, H. N. J. (2020). The specifics of food design: Insights from professional design practice. *International Journal of Food Design*, 4(2), 101-138. https://doi.org/https://doi.org/10.1386/ijfd_00001_1

- Bower, J. A. (2013). Experimental Design. En *Statistical Methods for Food Science* (pp. 155–178). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118541593.ch7>
- Camacho-Franco, M. A., Ariza-Piedrahita, J. A., Castaño-Rivas, M. d. M., Londoño-Gómez, I., Velásquez-Lozano, L. M., Jiménez, I., Osorio-Londoño, M., Celis-Rozo, E. E., Vargas-Rojas, N. A., y Ramírez-Navas, J. S. (2023). Diseño de un alimento cárnico con inclusión de harina de quinua y ajonjolí de alto valor nutricional. *Salutem Scientia Spiritus*, 9(4), 15–22. <https://revistas.javerianacali.edu.co/index.php/salutemscientiaspiritus/article/view/1346>
- Campo-Quintero, V., Rojas-Gaitán, J. J., y Ramírez-Navas, J. S. (2022). Efecto de la adición de carragenina, goma guar y metilcelulosa en los parámetros de calidad de un helado con licor. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2209
- Ceh-Varela, E., Canto-Bonilla, C., y Duni, D. (2023). Application of Project-Based Learning to a Software Engineering course in a hybrid class environment. *Information and Software Technology*, 158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.infsof.2023.107189>
- Codex. (1997). *Manual de procedimiento*. Comisión del Codex Alimentarius. <https://www.fao.org/3/w5975s/w5975s00.htm#Contents>
- Comber, R., Ganglbauer, E., Choi, J. H.-j., Hoonhout, J., Rogers, Y., O'Hara, K., y Maitland, J. (2012). *Food and interaction design CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*
- Covino, R., Monteiro, A. R. G., Scapim, M. R. S., Marques, D. R., Benossi, L., y Monteiro, C. C. F. (2015). Manufacturing cereal bars with high nutritional value through experimental design. *Acta Scientiarum. Technology*, 37(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.20732>
- Dornblaser, L. (2017). Why Understanding Trends Is Important to Product Success. En *Accelerating New Food Product Design and Development* (pp. 29–46). John Wiley & Sons Ltd & the Institute of Food Technologists <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/9781119149330.ch3>
- Draper, N. R., y Pukelsheim, F. (1996). An overview of design of experiments. *Statistical Papers*, 37(1), 1–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/bf02926157>
- Euromonitor International. (2024). *2024 Consumer Trends*. Euromonitor International. <https://lp.euromonitor.com/white-paper/2024-global-consumer-trends/overview>
- Fearn, T. (2017). Design of Experiments 3: 2k Factorial Designs. *NIR news*, 18(4), 18–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1255/nirn.1026>
- Flamez, B., Lenz, A. S., Balkin, R. S., y Smith, R. L. (2017). *A Counselor's Guide to the Dissertation Process Where to Start & How to Finish*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/9781119375500>
- Friedman, M. (2011). *Price Theory*. Aldine Transaction.
- Gantt, H. L., y Clark, W. (2015). *The Gantt Chart, a Working Tool of Management*. Creative Media Partners, LLC.
- Geraldi, J., Söderland, J., y Lechter, T. (2012). Gantt charts revisited. *International Journal of Managing Projects in Business*, 5(4), 578–594. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/17538371211268889>
- Gherezghier, G., Mahmud, A., Samuel, M., y Tsighe, N. (2017). Methods and application of statistical analysis in food technology. *Journal of Academia and Industrial Research*, 6(5), 78–84.
- Gutiérrez-Pulido, H., y de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.
- Hamid, F., y Abbasi, M. U. (2020). Competitive Advantage through New Product Development Capabilities. *Archives of Business Research*, 8(3), 202–209. <https://doi.org/https://doi.org/10.14738/abr.83.7933>
- Hanrahan, G., y Lu, K. (2006). Application of Factorial and Response Surface Methodology in Modern Experimental Design and Optimization. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 36(3–4), 141–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408340600969478>
- Haytowitz, D. B., Ahuja, J. K. C., Wu, X., Somanchi, M., Nickle, M., Nguyen, Q. A., Roseland, J. M., Williams, J. R., Patterson, K. Y., Li, Y., y Pehrsson, P. R. (2019). *USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Legacy Release*. Nutrient Data Laboratory, Beltsville Human Nutrition Research Center, ARS, USDA. Dataset. . <https://doi.org/https://doi.org/10.15482/USDA.ADC/1529216>
- Hernández-Romero, J. S., Almirall-Hernández, P. J., y Gravalosa-Cruz, A. J. (2011). Caracterización del presupuesto para los proyectos de investigación. *Revista cubana de salud y trabajo*, 12(2), 56–62.
- Hidalgo-Piamba, J. A., Motato-Guerra, J. S., Latorre-Castaño, D., y Ramírez-Navas, J. S. (2024). Experimental designs applied in research and development of dulces de leche. En J. S. Ramírez-Navas (Ed.), *Sweetened Concentrated Milk Products* (pp. 209–220). Woodhead Publishing, ELSEVIER. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-823373-3.00009-7>

- Hidalgo-Piamba, J. A., Motato-Guerra, J. S., y Ramírez-Navas, J. S. (2018). Diseños experimentales aplicados en Investigación y Desarrollo de dulces de leche. En J. S. Ramírez-Navas (Ed.), *Leches concentradas azucaradas: de la tradición a la ciencia* (pp. 273-292). Editorial Universidad Santiago de Cali. <https://doi.org/10.35985/9789585522466.10>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos*. ICBF. <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/tabla-alimentos>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2024). *ENSIN: Encuesta Nacional de Situación Nutricional*. ICBF. <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>
- Jarma-Arroyo, S. E., Hogan, V., Ahrent-Wisdom, D., Moldenhauer, K. A. K., y Seo, H.-S. (2020). Effect of Geographical Indication Information on Consumer Acceptability of Cooked Aromatic Rice. *Foods*, 9(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9121843>
- Jonkman, J., Bloemhof, J. M., van der Vorst, J. G. A. J., y van der Padt, A. (2017). Selecting food process designs from a supply chain perspective. *Journal of Food Engineering*, 195, 52-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.015>
- Klimenko, V., y Lychagina, A. (2020). Movements and trends in modern food design. *Technical Aesthetics and Design Research*, 1(3), 30-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.34031/2687-0878-2019-1-3-30-36>
- Latino, M. E., Menegoli, M., y Corallo, A. (2019). Food label design – exploring the literature. *British Food Journal*, 122(3), 766-778. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/bfj-06-2019-0452>
- Lee, Y., Breuer, C., y Schifferstein, H. N. (2020). Supporting Food Design Processes: Development of Food Design Cards. *International Journal of Design*, 14(2). <https://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/3467/909>
- Lewis, K. D., y Burton-Freeman, B. M. (2010). The Role of Innovation and Technology in Meeting Individual Nutritional Needs. *The Journal of Nutrition*, 140(2), 426S-436S. <https://doi.org/https://doi.org/10.3945/jn.109.114710>
- Lewis, S. M., y Tuck, M. G. (1985). Paired Comparison Designs for Factorial Experiments. *Applied Statistics*, 34(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2347467>
- Lim, S. A. H., y Antony, J. (2019). *Statistical process control for the food industry: a guide for practitioners and managers*. Wiley.
- Liu, F., Li, M., Wang, Q., Yan, J., Han, S., Ma, C., Ma, P., Liu, X., y McClements, D. J. (2022). Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6423-6444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033683>
- McClements, D. J. (2020). Future foods: a manifesto for research priorities in structural design of foods. *Food & Function*, 11(3), 1933-1945. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/c9fo02076d>
- Mertens, L., Van Derlinden, E., y Van Impe, J. F. (2012). Comparing experimental design schemes in predictive food microbiology: Optimal parameter estimation of secondary models. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 119-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.018>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (16 de Junio de 2021). Resolución 810. *Reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20810de%202021.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social. (13 de Diciembre de 2022). Resolución 2492. *Modificación de los artículos 2, 3, 16, 25, 32, 37 y 40 de la Resolución 810 de 2021*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%202492de%202022.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social. (21 de Febrero de 2023). Resolución 254. *Corrección de un yerro en la Resolución 2492 de 2022, modificatoria de la Resolución 810 de 2021*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20254%20de%202023.pdf
- MINTEL. (2024). *Tendencias globales del consumidor 2024*. Mintel Group Ltd. <https://es.mintel.com/tendencias-globales-del-consumidor>
- Miranda-Ackerman, M. A., y García-Lechuga, A. (2020). An Overview of the Design of Experiment Workflow. En *Design of Experiments for Chemical, Pharmaceutical, Food, and Industrial Applications* (pp. 204-217). <https://doi.org/https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1518-1.ch009>
- Morelo, K. J. G., Castillo, P. M. M., Correa, D. A., y Ramírez-Navas, J. S. (2024). Cocadas and coconut sweets. En *Sweetened Concentrated Milk Products* (pp. 133-142). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-823373-3.00003-6>
- Mulla, D. J., Bhatti, A. U., y Kunkel, R. (1990). Methods for Removing Spatial Variability from Field Research Trials. En *Soil Restoration* (pp. 201-213). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4613-8982-8_10

- Nathiya, M., y Vigasini, N. (2012). Formulation of Cereal Based Nutricookies Prepared Incorporating Garden Cress Seeds (*Lepidium Sativum*) – A Protein And Iron Rich Snack. *International Journal of Scientific Research*, 3(2), 225–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.15373/22778179/feb2014/74>
- Noguera, J., Jiménez-Cabas, J., Álvarez, B., Caicedo-Ortiz, J., y Ruiz-Ariza, J. (2020). Analysis of Buñuelos Growth Rate Using 2k Factorial Design. *Procedia Computer Science*, 177, 267–275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.037>
- Olsen, N. V. (2015). *Design Thinking and food innovation*. *Trends in Food Science & Technology*, 41(2), 182–187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.10.001>
- OPS. (2024). *Clasificación de los alimentos y sus implicaciones en la salud*. Organización Panamericana de la Salud. <https://www3.paho.org/ecu/1135-clasificacion-alimentos-sus-implicaciones-salud.html>
- Ortiz-Álvarez, J. R., Cortés-Jiménez, A., y Ramírez-Navas, J. S. (2017). Estandarización de una formulación de panelitas de leche: estudio preliminar. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 60–69. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.48>
- Pons, D. (2015). Project Management for the Development of New Products. En C. Schwindt y J. Zimmermann (Eds.), *Handbook on Project Management and Scheduling* (Vol. 2, pp. 983–1046). Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-05915-0_15
- Principal, A., Ottombrino, A., Picariello, A., Oliviero, A., y Rossi, M. (2022). Formulation of a Sugar-Free Cereal-Based Bar with Improved Nutritional Value: Biological and Sensory Analysis. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology*, 78(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst.2021.0018>
- Prosekov, A. Y., Vesnina, A. D., y Kozlova, O. V. (2022). The methodology of food design. Part 2. Digital nutritiology in personal food. *Theory and practice of meat processing*, 6(4), 328–334. <https://doi.org/https://doi.org/10.21323/2414-438x-2021-6-4-328-334>
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista RECITEIA*, 12(1), 83–102. <http://revistareciteia.es.tl/10203.htm>
- Ramírez-Navas, J. S. (2013). *Guía para desarrollar un Anteproyecto de Trabajo de Grado* (1ed.). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3607.4322>
- Ramírez-Navas, J. S. (2021). *Mini guía para hacer informes* (1 ed.). Documento de trabajo. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12147.04647>
- Ramírez-Navas, J. S., Aristizabal-Ferreira, V. A., Aguirre-Londoño, J., y Castro-Narváez, S. (2021). Correlation between sensory and instrumental measurements of saltiness in Queso Molido Narinense. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 99, 44–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200580>
- Rees, D. G. (1987). *Foundations of statistics*. Chapman and Hall.
- Rees, D. G. (2018). *Essential Statistics*. CRC Press.
- Roosen, J., y Marette, S. (2011). Making the 'right' choice based on experiments: regulatory decisions for food and health. *European Review of Agricultural Economics*, 38(3), 361–381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/erae/jbr026>
- Rossi, F., y Mirtchev, V. (2016). *Statistics for food scientists : making sense of the numbers*. Academic Press, Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-00261-7>
- Ruohonen, K., y Kettunen, J. (2004). Effective experimental designs for optimizing fish feeds. *Aquaculture Nutrition*, 10(3), 145–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00277.x>
- Sánchez-Pérez, J., y Otálora, J. (2006). *Fundamentos de trabajo en equipo para equipos de trabajo*. McGraw-Hill.
- Sarstedt, M., y Mooi, E. (2019). *A Concise Guide to Market Research*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-56707-4>
- Schifferstein, H. N. J. (2016). What design can bring to the food industry. *International Journal of Food Design*, 1(2), 103–134. https://doi.org/https://doi.org/10.1386/ijfd.1.2.103_1
- Schifferstein, H. N. J. (2023). Supporting food design with consumer research: from inspiration and validation to participation and integration. *Current Opinion in Food Science*, 51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101020>
- Schifferstein, H. N. J., Kudrowitz, B. M., y Breuer, C. (2020). Food Perception and Aesthetics – Linking Sensory Science to Culinary Practice. *Journal of Culinary Science & Technology*, 20(4), 293–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15428052.2020.1824833>
- Seals, D. R. (2022). Talking the talk: tips for effective oral presentations in biomedical research.

- American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 323(4), R496-R511. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajpregu.00179.2022>
- Si, X.-S., Wang, W., Hu, C.-H., y Zhou, D.-H. (2011). Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.018>
- Spence, C., Youssef, J., y Kuhn, G. (2020). Magic on the Menu: Where Are All the Magical Food and Beverage Experiences? *Foods*, 9(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9030257>
- Squeo, G., De Angelis, D., Leardi, R., Summo, C., y Caponio, F. (2021). Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector. *Foods*, 10(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods10051128>
- Steinberg, D. M., y Hunter, W. G. (1984). Experimental Design: Review and Comment. *Technometrics*, 26(2), 71-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00401706.1984.10487928>
- Trejo-Osti, L. E., Ramírez-Moreno, E., y Ruvalcaba-Ledezma, J. C. (2021). Efecto del etiquetado frontal de advertencia de alimentos y bebidas. La experiencia de otros países de América Latina. *Journal of Negative & No Positive Results*, 6(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.19230/jonnpr.4176>
- Tsybulsky, D., y Muchnik-Rozanov, Y. (2023). The contribution of a project-based learning course, designed as a pedagogy of practice, to the development of preservice teachers' professional identity. *Teaching and Teacher Education*, 124, 104020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104020>
- Vermeir, I., Weijters, B., De Houwer, J., Geuens, M., Slabbinck, H., Spruyt, A., Van Kerckhove, A., Van Lippevelde, W., De Steur, H., y Verbeke, W. (2020). Environmentally Sustainable Food Consumption: A Review and Research Agenda From a Goal-Directed Perspective. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01603>
- Wandeka, C. M., Kigozi, J., Mugabi, R., y Ainebyona, P. (2022). Optimization of Raw Materials for Production of a Nutritious Snack Bar for Children Aged Between 5 To 13 Years. *International Journal Of Scientific Advances*, 3(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.51542/ijscia.v3i4.40>
- Yolmeh, M., y Jafari, S. M. (2017). Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(3), 413-433. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11947-016-1855-2>
- Young, J., Bridgeman, M. B., y Hermes-DeSantis, E. R. (2019). Presentation of scientific poster information: Lessons learned from evaluating the impact of content arrangement and use of infographics. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 11(2), 204-210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.11.011>

Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and potential source of fructooligosaccharides

Pulpa y cáscara liofilizada de pitahaya (*Selenicereus undatus*): propiedades fisicoquímicas y fuente potencial de fructooligosacáridos

Diana Villafán-González^a  dianvillfn@hotmail.com; David Abram Betancur-Ancona^a  bancona@correo.uady.mx;

Santiago Moisés Gallegos-Tintoré^a  santiago.gallegos@correo.uady.mx

^aCuerpo Académico de Desarrollo Alimentario-Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Nte. Km. 33,5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn, 97203. Mérida, Yucatán, México.

Received: 23/02/2024 Accepted: 19/06/2024

Citing, APA: LóVillafán-González, D., Betancur-Ancona, D. A., y Gallegos-Tintoré, S. M. (2024). Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and potential source of fructooligosaccharides. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 80–94. <https://doi.org/10.23850/24220582.6231>

Abstract The pitahaya *Selenicereus undatus* is a fruit widely consumed in the Yucatan Peninsula in Mexico, and its cultivation is promising due to its adaptability to adverse climatic conditions, its nutritional quality, and its bioactive compounds. The objective of this work was to determine the physical parameters of the fresh fruit (weights and diameters) and chemical parameters of the pulp (stored at -18 °C) of pitahaya grown in two locations in the state of Yucatán, as well as to estimate the yield of fructooligosaccharides (FOS) present in freeze-dried pulp and peel flour, using the solid/liquid extraction method. Six physicochemical and six proximal descriptors (in freeze-dried pulp and peel), which were statistically compared using the t-student test, were quantified. The fruits had an average weight of 534.81 and 520.36 g for the pitahaya grown in Kinchil and Yobain, respectively. The peel weight of the fruit from Kinchil was significantly ($p < 0.05$) higher. The pulp represented between 67 – 72 % of the weight of the fruits. The physicochemical analysis of the fruit pulp indicated that the average total soluble solids/titratable acidity (TSS/TA) ratio was 20.5, and the pH was 3.29. The proximal analysis expressed on a dry basis (% d.b.) showed average values for the pulp of 4.80 % ash, 0.47 % crude fat, 10.42 % crude fiber, and 6.92 % protein; while for the peel 14.20 % ash, 1.39 % crude fat, 22.22 % crude fiber, and 5.31 % protein. The values of crude fiber and total carbohydrates in the peel, as well as the crude fat content in the pulp, were different ($p < 0.05$) between the locations. The estimated extraction yield of FOS with water was 86.49 g/kg for the freeze-dried pulp and 17.64 g/kg for the freeze-dried peel flour. This fruit exhibited good nutritional properties, and the freeze-dried flour from its peel could be used as supplement rich in dietary fiber and, together with the freeze-dried pulp, could be added to products such as juices, yogurt, and jams, among others, with a potential prebiotic effect due to its fructooligosaccharides content.

Keywords:: Aqueous extraction, chemical composition, dragon fruit, pitahaya, functional food, oligosaccharides, physical characteristics.

Resumen La pitahaya *Selenicereus undatus* es una fruta muy consumida en la península de Yucatán, México, y su cultivo es promisorio debido a su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, su calidad nutricional y sus compuestos bioactivos. El objetivo de este trabajo consistió en determinar parámetros físicos del fruto fresco (pesos y diámetros) y químicos de la pulpa (almacenada a -18 °C) de pitahaya cultivada en dos localidades del estado de Yucatán, así como estimar el rendimiento de fructooligosacáridos (FOS) presentes en pulpa y la harina de la cáscara liofilizadas utilizando el método de extracción sólido/líquido. Se cuantificaron seis descriptores fisicoquímicos y seis proximales que fueron comparados estadísticamente mediante la prueba t-student. Los frutos frescos tuvieron un peso promedio de 534,81 y 520,36 g para la pitahaya cultivada en la localidad de Kinchil y Yobaín, respectivamente. Siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor el peso de la cáscara del fruto proveniente de Kinchil. La pulpa representó entre el 67 – 72 % del peso de los frutos. El análisis fisicoquímico de la pulpa de la fruta indicó que la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (SST/AT) promedio fue de 20,5 y el pH 3,29. El análisis proximal expresado en base seca (% b. s.), arrojó valores promedio para la pulpa de 4,80 % cenizas, 0,47 % grasa cruda, 10,42 % fibra cruda y 6,92 % proteína; mientras que para la cáscara 14,20 % cenizas, 1,39 % de grasa cruda, 22,22 % fibra cruda y 5,31 % proteína. Los valores de fibra cruda y carbohidratos totales en la cáscara, así como el contenido de grasas cruda en la pulpa fueron diferentes ($p < 0,05$) entre las localidades. El rendimiento estimado de extracción de FOS con agua fue 86,49 g/kg para la pulpa liofilizada y 17,64 g/kg para la harina de la cáscara liofilizada. Este fruto exhibió buenas propiedades nutricionales, pudiendo emplearse harina liofilizada de su cáscara como suplemento rico en fibra dietética y en adición con la pulpa liofilizada podrían ser añadidos en productos como jugos, yogurt, y mermeladas etc., con potencial efecto prebiótico por su contenido de fructooligosacáridos.

Palabras clave: Alimentos funcionales, características físicas, composición química, extracción acuosa, fruto del dragón, oligosacáridos.

Introduction

The pitahaya *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt (Korotkova *et al.*, 2017) is the fruit of a cactus native to America that bears fruit between June and October. It is considered an exotic fruit with pink peel and white pulp, a characteristic sweet flavor, and high water content (Castillo *et al.*, 2016). It is currently in great demand in the international market, and in 2019, 95 % of the world's production was focused on this variety (Mordor Intelligence, 2022). Its popularity derives from the physicochemical and nutritional characteristics and the bioactive compounds present in both the pulp and the peel, which makes it a functional food (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Although pitahaya has been cultivated in Mexico in home gardens since pre-Hispanic times, its commercial cultivation began in 1996, yet the boom initiated at the beginning of the 21st century (Castillo *et al.*, 2016).

In the Yucatan Peninsula, pitahaya is also grown in small plots and a few larger-scale plantations, being one of the main producers of the genus *Selenicereus*. The National Service for Agrifood Health, Safety and Quality (SENASICA, 2023) reported that, in the season from June to November 2023, pitahaya production in Yucatan was estimated at 156.99 ha and 1803.97 tons registered for export to the United States. However, it is very important to promote the preservation of home gardens, which are now in decline (Castro *et al.*, 2018), not only to preserve the pitahayas but also the diversity they harbor (Soza & Pérez-Orozco, 2022).

Regarding its composition, pitahaya is a low-calorie fruit since 89 % of fresh pulp is water. The inedible part, the peel, represents 33 % of the total weight of the fruit and is considered an unusable waste; however, several studies indicate that it can be a good source of

pigments and antioxidants, such as betalains and polyphenols, among others, which can be used as functional ingredients (Fathordoobady *et al.*, 2021). Using residues derived from industrial processes, mainly those from fruits and vegetables given their content of bioactive compounds, it is becoming increasingly attractive for obtaining by-products with added value (Jimenez-Garcia *et al.*, 2022).

Both pitahaya pulp and pitahaya peel contain fructooligosaccharides (FOS), carbohydrates that are the energy reserve of the plant and have a chemical structure composed of one glucose bonded to multiple fructose residues (from 2 to 10 units) with glycosidic bonds of the β -(2 $\rightarrow$ 1) type (Rahim *et al.*, 2021).

Human digestive enzymes are specific for breaking α -glycosides bonds and thus cannot break the β -bonds of the anomeric carbon 2 of fructooligosaccharides, which classifies them as non-digestible; they reach the large intestine intact, where they are susceptible to fermentation by the intestinal microbiota. Thus, pitahaya fructooligosaccharides are considered a source of natural prebiotics (Wichienchot *et al.*, 2010). The analysis of the physicochemical composition of the pitahaya peel grown in the state could encourage its use, contributing to the reduction of waste generated in the food industry. The extraction of FOS using environmentally friendly techniques is promising for adding value to the fruit.

The objective of this research was to determine the physicochemical characteristics of the whole fruit and its pulp, and the proximal characteristics of the freeze-dried pulp and peel of pitahaya grown in two locations in Yucatan, Mexico, in addition to the fruit's FOS extraction yield using water as a solvent.

Methodology

Pitahayas (*S. undatus*) cultivated in two localities of Yucatan were used. The first batch of pitahayas was grown in Kinchil, Yucatan, located at the coordinates 20°54'59''N 89° 56'51''W, with a temperature range between 26.7 – 31 °C, wind from the N at 5 km/h, an humidity range of 22.54 – 45 %, and an average altitude of 6 meters above sea level (INEGI, 2017). The second batch was grown in the municipality of Yobain, with the following coordinates 21° 14' 00'' N 89° 06' 59'' W, a temperature range between 24 – 26 °C, wind from the north at 6 km/h, an humidity range between 49 – 60 %, and an average

altitude of 4 meters above sea level (INEGI, 2017). Eleven units of pitahayas were obtained for each location.

Fruits were selected based on their commercial maturity, the color of their peel (red-pink), and their phytosanitary conditions (only those free of pests, diseases, rot, and mechanical damage were chosen) in accordance with the Codex Alimentarius 237 (CODEX STAN, 2003). According to their weight, they were classified as: "very good appearance", "F" caliber, or superior, with their weight being > 400 g. (Castillo *et al.*, 2016). **Figure 1** shows the appearance of the fruits.

Figure 1

Pitahaya from the localities of Kinchil (left) and Yobain (right)



The fruit was washed with running tap water and dried with sterile gauze. The diameters were measured with a digital vernier, and the weight of the whole fruit was registered; then, the pulp was manually separated from the peel, and the weight of each was registered according to its locality.

Both the pulp and the peel were chopped into pieces of approximately 2 x 8 x 1 cm and stored in food-grade, environmentally friendly silicone

bags in accordance with the U.S. Food and Drug Administration (FDA). The bags were labeled according to the origin of the fruits (Kinchil or Yobain) and were stored at - 18 °C until their use to determine their chemical characteristics.

Freeze-dried pulp and peel of pitahaya

To ensure preservation and reduce moisture content, the frozen fruit was freeze-dried at - 46 °C and 0.340 mbar vacuum pressure for 48 h in the LABCONCO freeze-dryer (FreeZone,

4.5). With the freeze-dried peel, flour was obtained. The flour and the pieces of freeze-dried pulp were stored in amber glass bottles with labels identifying the origin of the fruit and finally stored in a Polar brand horizontal freezer model CH-25R at -18°C until use to determine the proximal characteristics and the estimation of freeze-dried pulp and peel the fructooligosaccharides content.

Physicochemical characteristics of whole pitahaya fruit and defrosted pulp

To determine pH, titratable acidity, and soluble solids, pulp pieces were thawed at room temperature and mashed with a pestle and mortar for each of the samples (Kinchil and Yobain). The analyses were performed in triplicate.

The following fruit characteristics were quantified:

1. Weight determination. An ETEKCITY digital scale model EK4150 (China), with a capacity of up to 5 kg, was used. The whole fruit was weighed, then the pulp was separated from the peel, and each part was weighed. All weights were recorded, and the percentages of pulp and peel were calculated.

2. Equatorial and polar diameters. A PSQME digital Vernier caliper model JS-01-150, with an accuracy of 0.007/0.02 mm, was used to measure the polar and equatorial axes. The polar diameter was measured from the base to the tip of the fruit, and the equatorial diameter was measured from the middle transverse part.

3. Total soluble solids (TSS). They are expressed in $^{\circ}\text{Brix}$ and were estimated in the pulp puree by reading in an electronic refractometer (ATAGO, Japan, model RX-7000) at 20°C , using

method 932.12 of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005a).

4. pH. The pH value in the previously blended pulp was determined using a Yabely potentiometer (model ML1-MX-0004, USA), with a precision of 0.01, following the method 981.12 (AOAC, 2005a).

5. Titratable acidity (TA). For the determination of titratable acidity, 10 g of pulp was blended in 50 mL of distilled water, and the mixture was filtered through a strainer. 50 mL of the filtered mixture was placed in a beaker and, with the help of an automatic burette, titrated with 0.1 N sodium hydroxide (NaOH), using 1 mL of 0.5 % phenolphthalein as an indicator and stopping the titration process when an 8.3 pH was reached (with the help of a previously calibrated potentiometer). The results were expressed as the percentage of malic acid (milliequivalent 0.064), following AOAC official method 942.15 (AOAC, 2005b).

6. TSS/TA ratio. It was calculated from the concentration of total soluble solids in relation to the titratable acidity value obtained.

Proximate composition of pulp and peel from pitahayas

The freeze-dried pulp and the flour obtained from the freeze-dried peel were used to determine their proximate composition (*moisture, ash, crude fat, crude fiber, crude protein, and carbohydrates expressed as nitrogen-free extract*) quantified using the procedures by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). All analyses were performed in triplicate, and the results were expressed on a dry basis (% d.b.).

1. Moisture. This method 925.10 (AOAC, 2005c) was based on the gravimetric determination of the mass loss of the sample. Moisture was evaluated based on weight loss after drying in a Fisher Scientific™ convection oven (model 851 F) at 110 °C until a constant weight was reached.

2. Ash. Method 923.03 (AOAC, 2005d), which is based on the incineration of the organic matter from a sample to quantify the remaining inorganic fraction corresponding to the ash, was used to determine the ash content. The samples were incinerated in a muffle Thermo Scientific™ (model F48020) furnace at 550 °C for 3 hours. The remaining inorganic material was cooled and weighted to perform the corresponding calculation.

3. Crude fat. In the flour samples, crude fat was quantified using the 2003.06 method (AOAC, 2012). This method is based on the extraction of oils and fats, known as ethereal extract, to determine the crude fat content of the sample. The content was obtained from an extraction with hexane using a Soxtec™ 8000 system.

4. Crude fiber. Using method 962.09 (AOAC, 1990), the sample was digested with 1.25 % sulfuric acid and then with 1.25 % sodium hydroxide using a Fibertec™ 8000 system. The residue composed of fiber was determined by drying to constant weight, calcining, and reweighing.

5. Crude protein. It was determined by the Kjeldahl-Gunning method 992.23 (AOAC, 2000), which consisted of digestion, distillation, and acid-base titration of the nitrogenous material present in the sample with a Kjeltec™ 8200 digestion system. The crude protein content was calculated as nitrogen content (N_2) $\times$ 6.25.

6. Total carbohydrates. It was obtained as the result of the difference, 100 – ash (%), crude fat (%), crude fiber (%), and crude protein (%).

Procedure for the extraction of fructooligosaccharides (FOS)

The extraction of FOS was done using the method by Wichienchot *et al.* (2010). The sample/solvent ratio was 1 g of freeze-dried pulp to 5 mL of water (1:5 w/v). For the peel, 1 g of freeze-dried flour was added to 20 mL of water (1:20 w/v). The samples were mixed with water in beakers, stirring continuously for 1 h at room temperature (28 ± 2 °C) inside the laboratory. Subsequently, the mixture was filtered through a gauze cloth bag while pressing it to remove seeds and sediment. The concentrated extracts were centrifuged at 10000 x g for 10 min, and the supernatant was frozen at -20 °C until further use.

For the FOS content estimation, the method reported by Montañez *et al.* (2011) was used, which requires subjecting the extracts to hydrolysis with the enzyme invertase, catalyzing the cleavage of non-reducing terminal residues of FOS, and releasing the reducing sugars (RS) molecules fructose and glucose (Apraez & Castillo, 2015).

Initially, reducing sugars (RS) were measured for each of the extracts. The colorimetric method proposed by Miller (1959) was used due to its high sensitivity. It is based on the reaction between 3,5-dinitrosalicylic acid and the reducing group of fructose or glucose, forming an orange-brown colored compound quantifiable colorimetrically; the intensity of the color is proportional to the concentration of reducing sugars. It was read at a wavelength of 510 nm since, according to the results of Lam *et al.* (2021), at this length, there is a maximum absorbance. The concentration of reducing sugars in the samples was calculated by interpolation on a standard fructose curve.

Subsequently, Maxinvert® invertase enzyme (EC 3.2.1.26) was used 300 U/mg of solid. 1 mL of enzyme was added for each kg of sugar, so each extract was measured for its °Brix level, and the result was registered as g of sucrose in the extract. To add the corresponding amount of the enzyme, the pH of the solution was changed to 4.5 and then incubated at 65 °C for 6 h. In the end, the enzyme was inactivated by heat shock at 80 °C in a water bath.

In the extracts already hydrolyzed by the invertase enzyme, the content of reducing sugars (RSi) was determined again. The increase in RS release in the post-invertase measurement would evidence the existence of FOS in pitahaya pulp and peel extracts. To determine the FOS, the RS before hydrolysis were subtracted from the RSi after hydrolysis, as expressed in Equation 1.

$$\text{Eq 1. } \text{FOS} = \text{RSi} - \text{RS}$$

Where:

RSi: reducing sugars invertase.

RS: reducing sugars.

For each test, three replicates were performed. Each result was expressed as the average of the determinations made.

Statistical analysis

All data was expressed as the mean ± standard deviation of three replicates. The experimental unit was 22 pitahaya fruits (11 from each locality). A Student's t-test was applied to differentiate the means of the physical characteristics (weight, diameters, and total soluble solids), the chemical characteristics in the fruit pulp defrosted (pH, titratable acidity) and the proximate components (moisture, ash, crude fat, crude fiber, crude protein, and total

carbohydrates) of the two locations (Kinchil vs. Yobain). For FOS extraction yield, the difference between means was between pulp and freeze-dried peel flour (regardless of locality). Data was analyzed using the statistical program STATA 13.0.

Results and Discussion

Physicochemical characteristics of whole pitahaya fruit and defrosted pulp

The results of the physical characteristics of the fruits are shown in Table 1. It was observed that the weight of the fresh fruits was within the average reported by other authors, which ranges from 406.70 to 556.80 g (Warusavitharana *et al.*, 2017).

The pulp was found in the range of 60 to 80 % of ripe fruit weight reported by Mercado-Silva (2018). In terms of dimensions, the fruit was generally ellipsoidal in shape, with values that were within those stated by Wichienchot *et al.* (2010), with 8 to 15 cm in length and 6 to 10 cm in diameter. Among the differences found, the fruit from Kinchil had significantly ($p < 0.05$) more peel and was more elongated (ellipsoidal shape) than the fruit from Yobain. These morphological differences at the fruit level could be due to a dispersion crop species that presents high polymorphism. The species has undergone human selection due to fruit collection, a situation that has promoted the diversity of fruits in shape, size, color, and organoleptic quality (Manzanero-Acevedo *et al.*, 2014).

Castillo *et al.* (2016) documented that in the Yucatan Peninsula, the harvest is classified according to weight into three classes: I. fruits of very good appearance > 400 g, II. fruits of 250 to 400 g, and III. fruits < 250 g. The fruits of this analysis Table 1, presented the best

classification or classes I, since their weight was bigger than 400 g, being the average weight of the pitahaya fruit for Kinchil and Yobain equal to 534.81 g and 520.36 g, respectively. However,

if we were looking for fruits with a higher pulp content, the samples from the Yobain would be better suited, considering that, on average, their pulp content was higher (371.09 g).

Table 1

Physical characteristics of fruit fresh of pitahaya cultivated in two localities of Yucatan

Characteristics	Pitahaya Kinchil	Pitahaya Yobain
Fruit dimensions (cm)		
Length (polar axis)	9.86 ± 0.74 ^a	9.18 ± 0.74 ^b
Diameter (equatorial axis)	9.32 ± 0.60 ^a	9.38 ± 0.40 ^a
Polar/equatorial axis ratio	1.05 ± 0.05 ^a	0.97 ± 0.06 ^b
Weights (g)		
Fruit weight	534.81 ± 87.96 ^a	520.36 ± 67.02 ^a
Peel	175.36 ± 38.00 ^a	149.27 ± 17.86 ^b
Pulp	359.45 ± 70.89 ^a	371.09 ± 53.03 ^a
Ratio (weight/weight %)		
Peel	32.88 ± 5.45 ^a	28.78 ± 2.13 ^b
Pulp	67.11 ± 5.45 ^a	71.21 ± 2.03 ^b
Peel/Pulp ratio	2.10 ± 0.44 ^a	2.49 ± 0.25 ^b

Note. Mean ± standard deviation (n = 11). ^{a-b} Different letters in the same row indicate a significant difference (p < 0.05).

The physicochemical characteristics are observed in Table 2. In the present analysis, an average pH of 3.29 was found. The pH in the pitahaya pulp increases as the fruit matures because, during ripening, the organic acids are used as a substrate during respiration and are partly transformed into sugars (Magaña *et al.*, 2013). Our average was not as high compared to the average reported by Obregon-La Rosa *et al.*

(2022), describing a pH of 4.16 and a maturity index MI (SST/AT) of 53.17 in the pitahaya pulp of this genus grown on the central coast of Peru. This lower pH in the pitahayas from both locations could be associated with their state of maturity (Sanin *et al.*, 2020), which was 20.95 on average; in addition, the samples were analyzed in a defrosted state, which could influence the result.

Table 2

Physicochemical characteristics measured in pitahaya pulp (values of defrosted sample)

Locality	pH	Total soluble solids (°Brix)	Titrateable acidity (%)	Total soluble solids/ Titrateable acidity
Kinchil	3.28 ± 0.06 ^a	10.34 ± 0.37 ^a	0.50 ± 0.02 ^a	20.73 ± 1.36 ^a
Yobain	3.31 ± 0.03 ^a	11.60 ± 0.53 ^b	0.55 ± 0.03 ^a	21.17 ± 1.94 ^a

Note. Mean ± standard deviation (n = 3). ^{a-b} Different letters in the columns indicate significant difference (p < 0.05).

Of the variables reported in **Table 2**, only the variable of total soluble solids (TSS) showed significant differences ($p < 0.05$) between the localities, the value was higher in the fruits harvested in Yobain (11.60 ± 0.53 °Brix) than those coming from Kinchil (10.35 ± 0.37 °Brix). TSS are mostly made up of sugars (glucose and fructose), but also other compounds such as organic acids. During maturation, these acids are partly transformed into sugars, the loss of water as the fruit ripens concentrates the sugars, which gives the fruit a sweeter flavor. (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). The differences found in the fruits may be due to the state of physiological maturity since it has been proven that the higher the degree of maturity, the greater the concentration of sugars in a fruit (Centurión Yah *et al.*, 2008). The values found in the pitahaya grown in Kinchil with 10.34 °Brix coincide with those reported by Magaña *et al.*, (2013) of 10.56 °Brix measured in pitahaya (*S. undatus*), cultivated in Yucatan and exposed to room temperature (26 ± 2 °C) for three days, after harvest.

The average titratable acidity (TA, % malic acid) value found was 0.52 %, and there were no significant differences ($p > 0.05$) in TA between samples from the two locations. Generally, the acidity of the fruit decreases as it ripens (Magaña *et al.*, 2013). The percentage of titratable acids for the locality of Kinchil was the same as the value reported by Magaña *et al.* (2013), with an acidity percentage of 0.50 % in pitahaya (*S. undatus*) grown in Yucatan and exposed to room temperature (26 ± 2 °C) for three days, after harvest.

The TSS/TA ratio, also known as maturity index (MI), was 20.73 ± 1.36 and 21.17 ± 1.94 for fruit from Kinchil and Yobain, respectively. Centurión-Yah *et al.* (2008) observed the evolution of the physicochemical characteristics

of pitahaya fruits during ripening, finding that fruits 29 days after flowering had an acidity of 0.6 (% malic acid), a TSS of 11.8 °Brix, and a TSS/TA ratio of 20.6 . Considering these values, the studied pitahayas from both locations could have approximately 29 days of ripening after flowering.

When evaluating the chemical composition of the freeze-dried pulp between the different locations, only total soluble solids (°Brix) presented a statistical difference ($p < 0.05$) (**Table 2**). This suggests that the pulp of this species, regardless of its origin, has properties that could benefit the consumer if commercialization is considered in the future. Even so, in this study, it was observed that the pitahaya pulp collected in the town of Yobain presented higher values at the level of physicochemical analysis. This implies a potential to deepen future studies on its nutritional value to recommend its consumption and production on a large scale.

Proximal analysis in freeze-dried pulp

It should be noted that the freeze-drying process is the best drying method to preserve the nutritional properties of foods, compared to other techniques (Jude *et al.*, 2023). In the analysis done by Ayala *et al.* (2010), it allowed the preservation of pitahaya slices by reducing water activity below 0.4 , preserving the volume significantly, increasing porosity, and allowing rehydration to approximate its initial moisture content. Our results are on a dry basis and are compared with studies reported in the same way.

The values of the proximal chemical components are shown in **Table 3**. The average ash content in the freeze-dried pitahaya pulp was 4.80 %; this value was higher than that reported by Chik *et al.* (2011), which evaluated the quality and proximal characteristics of three

types of pitahaya grown in Malaysia, finding that the genus *S. undatus* had an ash content of 2.6 % in the pulp. In Yucatan, the soil is predominantly calcareous (high in minerals) (Castillo *et al.*, 2016), which could influence the content of mineral salts in the sample, as reflected in the ash weight. Although there were no significant differences ($p > 0.05$), the mean ash content of pitahaya from Yobain was higher than that of Kinchil.

The average crude fat content in the pulp was 0.47 %, a percentage considered normal when considering that the concentration of lipids in fruits is generally less than 1 % (e.g., 0.2 % in grapes, 0.1 % in bananas, and 0.06 % in apples) (Vicente *et al.*, 2021). The value found in this study is higher than that reported by Chik *et al.* (2011) of 0.1 %; however, there are reports of up to 4.5 % crude fat in other varieties of pitahaya like *Hylecereus polyrhizus* (Jaafar *et al.*, 2009).

The average fiber content was 10.42%; the fiber content varies depending on the state of maturity of the fruit. This value was lower than that reported by Obregón-La Rosa *et al.* (2022), with 27.1 % in pitahayas of this genus grown

on the central coast of Peru, which could be due to their higher state of maturity $MI = 53.17$ compared to the state of maturity $MI=20.95$ of the fruits of this study.

The mean value of protein percentage was 6.92 %. Protein represents < 1 % of the fresh mass of most fruits (Vicente *et al.*, 2021). Although it is not an important source of this nutrient, its content is not negligible, and it is important to note that, as shown in Table 3, the fruit from Kinchil had a higher average value (7.24 ± 0.47) if compared to the pulp analyzed from Yobain (6.59 ± 0.50). The percentage found was close to the total obtained by Chick *et al.* (2011) of 7.7 %, analyzing the same pitahaya species.

The analysis of total carbohydrates in pulp did not show significant ($p < 0.05$) differences between locations. Carbohydrates represent up to 90 % of the pulp (Peerakietkhajorn *et al.*, 2020). In this sense, it can be said that the pulp of the two localities could be considered for use as a source of fructooligosaccharides due to their content of indigestible carbohydrates, which had previously been reported in other investigations (Wichienchot *et al.*, 2010).

Table 3

Proximal composition on dry basis (freeze-dried pulp and peel flour) cultivated in two localities of Yucatan

Component (%)	Pulp Kinchil	Pulp Yobain	Peel Kinchil	Peel Yobain
Crude protein	7.24 ± 0.47^A	6.59 ± 0.50^A	5.43 ± 0.11^a	5.20 ± 0.30^a
Crude fiber	9.94 ± 1.17^A	10.89 ± 2.28^A	19.58 ± 0.26^a	24.87 ± 0.42^b
Crude fat	0.61 ± 0.1^A	0.33 ± 0.09^B	1.60 ± 0.34^a	1.18 ± 0.16^a
Ash	4.54 ± 0.32^A	5.05 ± 0.36^A	13.64 ± 0.82^a	14.76 ± 0.41^a
Total carbohydrates	77.64 ± 1.13^A	76.78 ± 2.75^A	59.73 ± 1.27^a	53.97 ± 1.02^b

Note. Mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$)^{-a-b} Different letters in the rows for the same peel component between localities indicate a significant difference ($p < 0.05$).^{A-B} Different letters in the rows for the same pulp component between localities indicate a significant difference ($p < 0.05$).

Proximal analysis of freeze-dried peel

Evaluating freeze-dried peel flour, the average ash content was 14.20 % (Table 3). Previous studies carried out on varieties of this genus had reported values of 15.0 % (Chik *et al.*, 2011) and 18.54 % (Zhuang *et al.*, 2012). Even without differences at the average level for ash, the town of Yobain had a better performance, which could be related to the composition of the soil, which is variable in the Yucatan Peninsula. The amount of predominant minerals (calcium and magnesium) in the calcareous soil could influence the mineral content present in the fruit peel (Hernández Alva *et al.*, 2018)

The average fat content was 1.39 %, which was very close to the 1.34 % reported by Zhuang *et al.* (2012) in the study carried out on pitahaya peel flour of this genus. Although the mean value was higher in the fruit from Kinchil, there were no significant differences. Jiang *et al.* (2021) reported in their comprehensive review that the fat content represents between 0.10% and 2.34% of the dry weight of pitahaya peels. This content is low compared to the peel of other fruits like papaya 2.48 ± 0.40 % and blueberry 4.13 ± 0.19 % (De Moraes Crizel *et al.*, 2016).

The crude fiber content in the peel of the fruit from Yobain (24.87 ± 0.42) was significantly ($p < 0.05$), higher than the peel of the fruit from Kinchil (19.58 ± 0.26). Crude fiber is mainly composed of cellulose and lignin, which are the structural components of the peel cell wall. The difference in crude fiber content may be due to the anatomical characteristics and chemical diversification of the cell wall (Maceda *et al.*, 2021). The average value of 22.22 % was similar to the one indicated by Chia & Chong (2015), with 23.75 % in fruit peel of *Hylocereus polyrhizus*. This work did not determine the fiber fractions (soluble and insoluble), but it's reported that pitahaya peel flour has a high fiber content,

approximately 79 % by dry weight, and the ratio of insoluble fiber to soluble fiber is close to 1:32. However, further research is needed to investigate its biological properties *in vivo* (Zhuang *et al.*, 2012).

The average value of the protein content in the peel was similar between the locations, with an average value of 5.31 %. Since the peel is not usually consumed, its contribution to the diet is not considered, but it is noteworthy that the percentage reported by Morais *et al.* (2021), in flour peels of pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) was 7.48 ± 0.62 %, even superior to the content found for the pulp from Kinchil (7.24 ± 0.47 %) in the present analysis.

If we talk about the proximal contribution according to the type of sample, it was found that the percentage of crude fiber in the peel of the fruit from Yobain was significantly higher ($p < 0.05$) than that of the fruit from Kinchil. Therefore, total carbohydrates for the peel of the fruit from Kinchil (59.73 ± 1.27) were significantly higher ($p < 0.05$) since their relationship is inverse.

Analysis of the extracted FOS

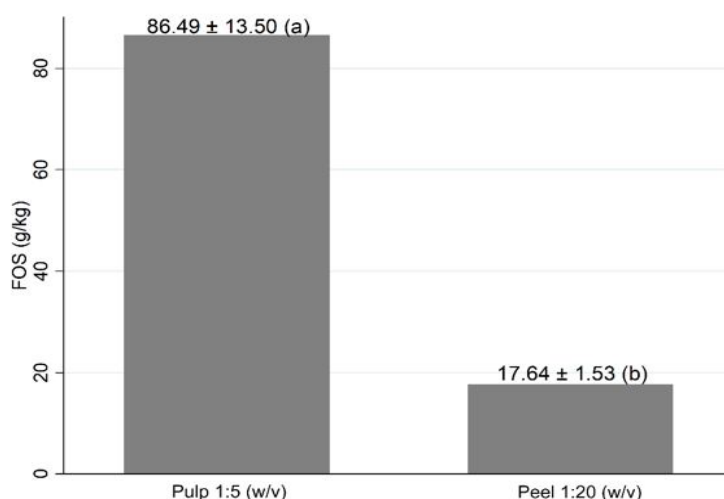
The results of the estimation of extracted FOS content for the freeze-dried pulp were 86.49 ± 13.50 g/kg and for the peel (freeze-dried peel flour) 17.64 ± 1.53 g/kg, as shown in Figure 2. These differences in FOS according to the type of sample may be due to the peel having a higher content of insoluble fiber and a lower content of fructose and glucose (Mohd Adzim Khalili *et al.*, 2014); these are constituent monomers of fructooligosaccharides. However, the peel is also a source of antioxidants, of which 51 % is related to the presence of flavonoids 357 mg RE/g (rutin equivalents/g of sample) (Jimenez-

Garcia *et al.*, 2022); therefore, if the fruit is used as a whole, it would provide a prebiotic effect and antioxidant fiber. FOS are widely recognized for their impact on human health due to their

prebiotic properties associated with satiety, appetite regulation, intestinal transit, and lipid metabolism, among others (Nobre *et al.*, 2021).

Figure 2

Estimated content of fructooligosaccharides (FOS) extracted from pitahaya pulp and peel (report on freeze-dried sample w/v)



Note. Mean ± standard deviation (n = 3). ^{a-b} Different letters in the columns indicate significant difference ($p < 0.05$).

Although the use of ethanol as the FOS extraction solvent is preferred, water was used in this study, as it is an environmentally friendly solvent. Wichienchot *et al.* (2010) reported an oligosaccharide content (extracted with 80% ethanol) in pitahaya pulp of 86.2 g/kg, a content similar to that found in the present analysis of 86.49 g/kg.

Even though our results seem to indicate that extraction with water allows for effective extraction of oligosaccharides, it is important to remember that, in this study, an estimate was used, and an analysis by high-performance liquid chromatography (HPLC) is required to ensure that the molecular weights correspond to fructooligosaccharides and not to another type of oligosaccharides.

Rohin *et al.* (2014) reported a lower content (14.92 µg/100 g) of fructooligosaccharides in pitahaya peel extracted with 50 % ethanol and concluded that the composition of fructooligosaccharides is significantly higher in the fruit's flesh (104.94 ± 3.20 µg/100 g) compared to the peel.

The extraction of FOS from the pulp would contribute to promoting a better use of pitahaya, giving added value to the fruit, and allowing the enhancement of its commercialization and its position in the market. Furthermore, the FOS in pitahaya behaves like prebiotics that are not digested but fermented in the colon, presenting positive physiological effects that will benefit the health of consumers (Dasaesamoh *et al.*, 2016).

Conclusions

Although the fruits had the same state of maturity, the present study found that the pitahaya grown in the town of Yobain had better performance, highlighting the variables on fruit shape (less elongated) and pulp weight, as well as a greater degree of sweetness expressed in °Brix. As for the proximal analysis carried out on the freeze-dried pulp and peel flour, both the pulp and the peel of the fruit from Yobain contained more crude fiber and less fat, while the fruit from Kinchil contained more protein; although this difference it was not significant. The extraction using water as a solvent was feasible to recover a relevant amount of fructooligosaccharides from the freeze-dried pulp (86.49 g/kg), being a promising way to add value to pitahaya fruits.

Acknowledgments

The authors thanks to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT-México, for financial support for the development of the project 557489.

References

- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). Official Method 962.09. *Official Methods of Analysis of AOAC International* 15th Edition., Virginia, Arlington, MA. USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2000). Official Method 992.23. Crude protein in cereal grains and oil seeds, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemistry [AOAC]. (2005a). Official Method 981.12. pH of Acidified Foods: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005b). Official Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fruit Products: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005c). Official Method 925.10. Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005d). Official Method 923.03 – Ash of Flour (Direct Method): *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2012). Official Method 2003.06. Crude fat in feeds, cereal grains, and forages. Randall/Soxtec/hexanes extraction-submersion method, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 19th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Apraez, C. S. G., & Castillo, E. J. V. (2015). Identificación de fructooligosacáridos e inulinas en residuos de hojas de fique -*Furcraea macrophylla* Baker. *Acta Agronómica*, 64(4), 282–286. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.41602>
- Ayala, A. A., Serna C, L., & Mosquera V, E. S. (2010). Freeze-drying in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2), 121–127. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.6272>
- Castillo, R., Ebel, R., Calix, H., Ferral, J., & PAdilla, R. (2016). *Guía para la producción sostenible de pitahaya en la península de Yucatán, México*. https://www.researchgate.net/publication/311426001_Handbook_for_the_Sustainable_Production_of_Pitahaya_in_the_Yucatan_Peninsula_Mexico
- Castro, A., Lascurain-Rangel, M., Gómez-Díaz, J. A., & Sosa, V. (2018). Mayan homegardens in decline: The case of the pitahaya (*Hylocereus undatus*), a vine cactus with edible fruit. *Tropical Conservation Science*, 11, 1–19. <https://doi.org/10.1177/1940082918808730>
- Centurión-Yah, A. R., Solís Pereira, S., Saucedo Veloz, C., Báez Sañudo, R., & Sauri Duch, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 31(1), 1–5. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.1.1>
- Chia, S. L., & Chong, G. H. (2015). Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of Dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*). *International Journal of Food Engineering*, 11(2), 285–293. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0198>
- Chik, C. T., Bachok, S., & Baba, N. (2011). Quality characteristics and acceptability of three types of pitaya fruits in a consumer acceptance test.

- Journal of Tourism, Hospitality & Culinary Arts.*, 3(1), 89–98. <https://fhtm.uitm.edu.my/images/jthca/Vol3Issue1/chap-6.pdf>
- Codex Alimentarius. (2003). Norma CODEX STAN 237 para la producción de pitahaya. 4–7. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Association of Official Analytical Chemistry [AOAC]. (2005a). Official Method 981.12. pH of Acidified Foods: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005b). Official Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fruit Products: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005c). Official Method 925.10. Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005d). Official Method 923.03 – Ash of Flour (Direct Method): *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2012). Official Method 2003.06. Crude fat in feeds, cereal grains, and forages. Randall/Soxtec/hexanes extraction-submersion method, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 19th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Apraez, C. S. G., & Castillo, E. J. V. (2015). Identificación de fructooligosacáridos e inulinas en residuos de hojas de fique –*Furcraea macrophylla* Baker. *Acta Agronomica*, 64(4), 282–286. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.41602>
- Ayala, A. A., Serna C, L., & Mosquera V, E. S. (2010). Freeze-drying in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2), 121–127. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.6272>
- Castillo, R., Ebel, R., Calix, H., Ferral, J., & Padilla, R. (2016). Guía para la producción sostenible de pitahaya en la península de Yucatán, México. https://www.researchgate.net/publication/311426001_Handbook_for_the_Sustainable_Production_of_Pitahaya_in_the_Yucatan_Peninsula_Mexico
- Castro, A., Lascrain-Rangel, M., Gómez-Díaz, J. A., & Sosa, V. (2018). Mayan homegardens in decline: The case of the pitahaya (*Hylocereus undatus*), a vine cactus with edible fruit. *Tropical Conservation Science*, 11, 1–19. <https://doi.org/10.1177/1940082918808730>
- Centurión-Yah, A. R., Solís Pereira, S., Saucedo Veloz, C., Báez Sañudo, R., & Sauri Duch, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 1–5. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.1.1>
- Chia, S. L., & Chong, G. H. (2015). Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of Dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*). *International Journal of Food Engineering*, 11(2), 285–293. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0198>
- Chik, C. T., Bachok, S., & Baba, N. (2011). Quality characteristics and acceptability of three types of pitaya fruits in a consumer acceptance test. *Journal of Tourism, Hospitality & Culinary Arts.*, 3(1), 89–98. <https://fhtm.uitm.edu.my/images/jthca/Vol3Issue1/chap-6.pdf>
- Codex Alimentarius. (2003). Norma CODEX STAN 237 para la producción de pitahaya. 4–7. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Dasaesamoh, R., Youravong, W., & Wichienchot, S. (2016). Digestibility, fecal fermentation and anti-cancer of dragon fruit oligosaccharides. *International Food Research Journal*, 23(6), 2581–2587.
- De Moraes Crizel, T., Hermes, V. S., De Oliveira Rios, A., & Flores, S. H. (2016). Evaluation of bioactive compounds, chemical and technological properties of fruits byproducts powder. *Journal of Food Science & Technology*, 53(11), 4067–4075.
- Fathordoobady, F., Jarzębski, M., Pratap-Singh, A., Guo, Y., & Abd-Manap, Y. (2021). Encapsulation of betacyanins from the peel of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* L.) in alginate microbeads. *Food Hydrocolloids*, 113(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106535>
- Hernández-Alva, M., Canto, A., Rosa, W., Rojas, E., Salas, L., Balam, W., & Zepeda, J. (2018). *Pitahaya, plan de manejo agroecológico para su cultivo en la región de Halachó-Maxcanú, Yucatán*. Publisher: Universidad Autónoma Chapingo, ISBN: 978-607-12-0496-7. <https://www.researchgate.net/publication/324794511>
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Yucatán*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/YUC_ANUARIO_PDF.pdf
- Jaafar, R. A., Abdul Rahman, A. R. Bin, Mahmod, N. Z. C., & Vasudevan, R. (2009). Proximate analysis of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *American Journal of Applied Sciences*, 6(7), 1341–1346. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.1341.1346>
- Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., & Cao, J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive

- review. *Trends in Food Science and Technology*, 116(February), 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>
- Jimenez-Garcia, S. N., Garcia-Mier, L., Ramirez-Gomez, X. S., Aguirre-Becerra, H., Escobar-Ortiz, A., Contreras-Medina, L. M., Garcia-Trejo, J. F., & Feregrino-Perez, A. A. (2022). Pitahaya peel: A by-product with great phytochemical potential, biological activity, and functional application. *Molecules*, 27(16), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules27165339>
- Jude, J., Adu, E. A., Maiyanga, I.E., & Kamaldeen, O.S. (2023). Application of freeze-drying in food processing and Sstorage- A review. *Badeggi Journal of Agricultural Research and Environment*, 5 (02), 21–35. <https://doi.org/10.35849/BJARE202302/97/003>
- Korotkova, N., Borsch, T., & Arias, S. (2017). A phylogenetic framework for the Hylocereeae (Cactaceae) and implications for the circumscription of the genera. *Phytotaxa*, 327(1), 1–46. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.327.1.1>
- Lam, H. H., Nguyen, T. M. T., Do, T. A. S., Dinh, T. H., & Dang-Bao, T. (2021). Quantification of total sugars and reducing sugars of dragon fruit-derived sugar-samples by UV-Vis spectrophotometric method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 947(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/947/1/012041>
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). Lignin: composition, synthesis and evolution. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722137. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Magaña-Benítez, W., Sauri Duch, E., Corrales García, J., and Saucedo Veloz, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 139–148. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81327871005>
- Manzanero-Acevedo, L. A., Isaac-Márquez, R., Zamora-Crescencio, P., Rodríguez-Canché, L. G., Ortega-Haas, J. J., & Dzib-Castillo, B. B. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (haw.) Britton & rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16(1), 9–16.
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya-*Hylocereus undatus* (Haw). In *Exotic Fruits*. Elsevier Inc.. Rodrigues, S., de Oliveira Silva, E. & Sousa de Brito, E. (Eds). Academic Press, pp339–349. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00045-9>
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Mohd Adzim Khalili, R., Che Abdullah, A. B., & Abdul Manaf, A. (2014). Isolation and characterization of oligosaccharides composition in organically grown red pitaya, white pitaya and papaya. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(SUPPL. 2), 131–136.
- Montañez, J., Venegas, J., Vivar, M., & Ramos, E. (2011). Los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del Agave tequilana Weber Azul. *Bioagro*, 23(3), 199–206.
- Morais, D. C. M., Alves, V. M., Asquieri, E. R., Souza, A. R. M. de, & Damiani, C. (2021). Physical, chemical, nutritional and antinutritional characterization of fresh peels of yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) and red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) and their flours. *Revista Ciência Agronômica*, 52, 1–10. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210065>
- Mordor Intelligence. (2022). *Dragon fruit market (2023 – 2028)*. 1–32. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dragon-fruit-market>
- Nobre, C., Simões, L. S., Gonçalves, D. A., Berni, P., & Teixeira, J. A. (2021). Fructooligosaccharides production and the health benefits of prebiotics. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Technologies for Production of Nutraceuticals and Functional Food Products*. (Issue February), 109–138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823506-5.00002-3>
- Obregón-La Rosa, A. J., Contreras-López, E., Elías-Peñañiel, C., Muñoz-Jauregui, A. M., Yuli-Posadas, R. A., & Córdor-Salvatierra, E. J. (2022). Nutritional and physicochemical profile of the pitahaya cultivated in the central coast of Peru. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 39(1), e223911. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n1.11](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n1.11)
- Peerakietkhajorn, S., Jeanmard, N., Chuenpanitkit, P., Sakena, K. D. A., Bannob, K., & Khuítuan, P. (2020). Effects of plant oligosaccharides derived from dragon fruit on gut microbiota in proximal and distal colon of mice. *Sains Malaysiana*, 49(3), 603–611. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4903-15>
- Rahim, M. A., Saeed, F., Khalid, W., Hussain, M., & Anjum, F. M. (2021). Functional and nutraceutical properties of fructo-oligosaccharides derivatives: a review. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1588–1602. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1986520>
- Rohin, M.A.K., Abu Bakar, C.A., & Ali, A.M. (2014). Isolation and characterization of oligosaccharides composition in organically grown red pitaya, white pitaya and papaya. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(Suppl. 2), 131–136.
- Sanín, A., Navia, D. P., & Serna-Jiménez, J. A. (2020). Functional foods from crops on the northern region of the South American Andes: The importance of blackberry, yacon, ççai, yellow pitahaya and the application of its biocompounds.

International Journal of Fruit Science, 20(sup3), S1784–S1804. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1834894>

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria – SENASICA. (2023). Huertos de pitahaya registrados para exportación de Yucatán a los Estados Unidos de América con tratamiento de irradiación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/829967/PITAHAYA_YUCATAN_02-06-2023.pdf

Soza, V., & Pérez-Orozco, A. (2022). Las pitahayas : frutos mayas del futuro. *Ecofronteras*, 26(74), 22–25. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/download/2036/2133?inline=1>

Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Vicente, A. R., Manganaris, G. A., Darre, M., Ortiz, C. M., Sozzi, G. O., & Crisosto, C. H. (2021). Compositional determinants of fruit and vegetable quality and nutritional value. In *Postharvest handling: A Systems Approach*. Florkowski, W.J., Banks, N.H., Shewfelt, R.L. & Prussia, S.E. (Eds), Fourth Edition Academic Press, pp 565–619. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822845-6.00019-1>

Warusavitharana, A. J., Peiris, K. H. S., Wickramatilake, K. M. D. G., Ekanayake, A. T., Hettiarachchi, H. A. D. S., & Bamunuarachchi, J. (2017). Performance of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) in the low country wet zone (LCWZ) of Sri Lanka. *Acta Horticulturae*, 1178, 31–34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1178.5>

Wichienchot, S., Jatupornpipat, M., & Rastall, R. A. (2010). Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. *Food Chemistry*, 120(3), 850–857. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.026>

Zhuang, Y., Zhang, Y., & Sun, L. (2012). Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 1279–1285. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02971.x>