



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XVI | NÚMERO 1 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2022



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología



DORA



DOAJ



Crossref

Indizada en

latindex

PERIÓDICA
Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

Directorio Institucional

DR. JESÚS VILLALOBOS JIÓN

Rector

**Dr. Sergio Rafael Facio
Guzmán**
Secretario General

**Dra. Myrna Isela García
Bencomo**
*Directora de Investigación y
Posgrado*

**M.A. Herik Germán
Valles Baca**
Director Académico

**Lic. Gustavo Macedo
Pérez**
*Director de Extensión y
Difusión Cultural*

**M.C. Francisco Márquez
Salcido**
Director Administrativo

**M.I. Ricardo Ramón
Torres Knight**
*Director de Planeación y
Desarrollo Institucional*



TECNOCENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología

Equipo Editorial

Editor responsable

Dr. Armando Quintero Ramos, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNI III)

Asistente editorial

M.E.S. Nancy Karina Venegas Hernández, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Co-editores

Dr. Rubén Francisco González Laredo, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México.

Dr. Javier Tarango Ortiz, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

Dr. Benjamín Ramírez Wong

Dr. José Alberto Gallegos Infante

Dr. José Rafael Minjares-Fuentes

Dra. María Marcela Rodríguez

Dra. Valeria Soledad Eim Iznardo

Efrén Delgado, Ph.D.

Dra. Elizabeth Carvajal Millán

Dr. Fernando Martínez Bustos

Dr. León Raúl Hernández Ochoa

Dr. José de Jesús Zazueta Morales

Dr. Diego Bautista Genovese

Dra. Aracely Ochoa Martínez

Dra. Deborah Murowaniecki Otero

Dr. René Renato Balandrán Quintana

Nancy Flores Ph.D.

Universidad de Sonora

Instituto Tecnológico de Durango

Universidad Juárez del Estado de Durango

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Universidad de las Islas Baleares, Islas Baleares, España

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

CINVESTAV, Unidad Querétaro

UACH

Universidad Autónoma de Sinaloa

Planta Piloto de Ingeniería Química-CONICET, Bahía Blanca Argentina

Instituto Tecnológico de Durango

Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahía, Brasil.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

AGRICULTURA Y AGROPECUARIA

Dr. Gerardo Méndez Zamora

Dr. Iván Adrián García Galicia

Dr. Guillermo Fuentes Dávila

Dr. Víctor Arturo González Hernández

Dra. Yolanda Salinas Moreno

Dr. Concepción Luján Álvarez

Universidad Autónoma de Nuevo León

UACH

INIFAP

Colegio de Posgraduados

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

UACH

QUÍMICA Y BIOLOGÍA

Dr. Eleuterio Burgueño Tapia

Dra. Luz Estela González de Bashan

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Ricardo Vázquez Juárez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dra. Carmen Oralia Meléndez Pizarro

UACH

Dr. David Morales Morales

Universidad Nacional Autónoma de México

Prasenjit Ghosh, Ph.D.

Indian Institute of Technology Bombay, India

Dr. René Rojas Guerrero

Pontificia Universidad Católica de Chile

SALUD Y CULTURA FÍSICA

Dr. Julián Esparza Romero

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C

Dra. Carolina Jiménez Lira

UACH

Dra. Jazmín Leticia Tobías Espinoza

UACH

Dr. Arnulfo Ramos Jiménez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dra. Silvia Giono Cerezo

Instituto Politécnico Nacional

INGENIERÍA Y RECURSOS NATURALES

Dr. Francisco Paraguay Delgado

Centro de Investigación en Materiales Avanzados

Dr. Vladimir Villarreal Contreras

Universidad Tecnológica de Panamá

Dr. Jesús Darío Landa Silva

School of Computer Science, University of Nottingham, UK

Dr. Aldo Jonathan Muñoz Vázquez

Texas A&M University, College Station, USA

Dr. Humberto González Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León

Dra. Mélida Gutiérrez

Missouri State University, USA

TECNOLOGÍA

M.C. Ricardo Talamás Abbud

UACH

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. (Vol. 16 Núm. 1 Enero-Abril, 2022) Es una publicación continua, editada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua. (C. Escorza núm. 900, Col. Centro, Chihuahua, Chihuahua, México. C.P. 31000, <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia>, tecnociencia.chihuahua@uach.mx) Editor responsable: Armando Quintero Ramos. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2018-070312595700-203, ISSN 1870-6606, ISSN-e: En trámite otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dirección de Investigación y Posgrado.

Fecha de la última modificación: abril de 2022. Teléfono: (614) 4 39 18 22. Ext. 2222



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA



CONTENIDO

Definición de la revista 5

Recursos Naturales

Higroexpansión, higocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas e 869

Hygroexpansion, hygrocontraction and their anisotropy relationships of eight mexican wood

Javier Ramón Sotomayor-Castellanos, Israel Macedo-Alquicira, Ernesto Mendoza-González

Química y Recursos Naturales

Reacciones de trifluorometilación catalizadas por metales de transición e 838

Transition Metal Catalyzed Trifluoromethylation Reactions

Eduardo Valente Gómez-Benítez

Alimentos

Pinole, un alimento tradicional mexicano con valor nutrimental e 897

Pinole, a traditional Mexican food with nutritional value

Miguel Ángel Sánchez-Madrigal, Armando Quintero-Ramos, Jazmín L. Tobías-Espinoza, Carmen O. Meléndez Pizarro

La fibra dietética como ingrediente funcional en la formulación de productos cárnicos e 892

Dietary fiber as functional ingredient in the formulation of meat products

Jocelyn Abigail Rivera-De Alba, Emmanuel Flores-Girón

Agropecuaria

Desempeño agronómico y fisiológico de variedades nativas de tomate mexicano sometidas a deficiencias de agua y nutrientes e 882

Performance of native varieties of Mexican tomatoes submitted to water and nutrient deficiencies

Ramiro Maldonado-Peralta, Nicacio Cruz-Huerta, Iván Ramírez-Ramírez, Fernando Castillo-González, Manuel Livera-Muñoz, Manuel Sandoval-Villa, Víctor Arturo González-Hernández

Salud

Prevalence and factors associated with anxiety and depression symptoms in adults from Chihuahua City, Mexico during COVID-19 pandemic and lockdown measures e 889

Prevalencia y factores asociados a síntomas de ansiedad y depresión en adultos de la ciudad de Chihuahua, México durante la pandemia COVID-19 y las medidas de aislamiento

María Fernanda Guerrero-Lara, Sandra Alicia Reza-López, Luis Eduardo Juárez-Nogueira, Alva Rocío Castillo-González, Carlos Arzate-Quintana, Geovanni Alexis Gómez-Ortega, María Isabel Saad-Manzanera, María Alejandra Favila Pérez

Guía para Autores 103

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

TECNOCENCIA CHIHUAHUA, es una revista multidisciplinaria, de publicación continua, que publica artículos y notas científicas, así como artículos de revisión *por invitación* originales e inéditos, en español e inglés, en formato electrónico de acceso abierto.

El objetivo de TECNOCENCIA CHIHUAHUA es divulgar los resultados y avances de investigación originales e inéditas en las áreas temáticas de Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales, dirigidos a investigadores, académicos, estudiantes y público con interés científico.

El contenido científico y calidad de los artículos son evaluados a través de un proceso de arbitraje de forma anónima en la modalidad de doble ciego por al menos dos árbitros especializados en la materia.

La revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA es editada y financiada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua, México. La revista está adherida a la Declaración de San Francisco a través de DORA (Declaration on Research Assessment) se encuentra indexada en índices y portales especializados como DOAJ (Directory of Open Access Journals), Latindex, Periódica y en Redes Académicas como Biblat, Google Académico y Academia. La revista cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) a través de la organización internacional Crossref.

Higroexpansión, higrocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas

Hygroexpansion, hygrocontraction and their anisotropy relationships of eight mexican wood

Javier Ramón Sotomayor-Castellanos^{1*}, Israel Macedo-Alquicira¹ y Ernesto Mendoza-González¹

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México.

*Correspondencia: madera999@yahoo.com (Javier Ramón Sotomayor Castellanos)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.869>

Recibido: 09 de octubre de 2021; Aceptado: 15 de diciembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar los coeficientes de higroexpansión, de higrocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas: *Cupressus lindleyi*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Fraxinus uhdei*, *Fagus mexicana*, *Dalbergia palo-escrito* y *Guazuma ulmifolia*. Se realizaron pruebas de higroscopía con un procedimiento de humidificación y secado de probetas de pequeñas dimensiones. Las magnitudes de las higroexpansiones e higrocontracciones son similares a las de otras especies mexicanas reportadas en la literatura. Los coeficientes denotan un carácter anisotrópico en las direcciones radial y tangencial. La densidad de la madera es un buen predictor de los coeficientes. Sin embargo, las correlaciones de las relaciones de anisotropía son diferentes a las reportadas en trabajos anteriores.

Palabras clave: coeficiente de higroexpansión, coeficiente de higrocontracción, pruebas de higroscopía, correlaciones estadísticas.

Abstract

The objective of the research was to determine the coefficients of hygroexpansion, hygrocontraction and their anisotropy relationships of eight Mexican woods: *Cupressus lindleyi*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Fraxinus uhdei*, *Fagus mexicana*, *Dalbergia palo-escrito* and *Guazuma ulmifolia*. Hygroscopic tests were carried out with a humidification and drying procedure of small specimens. The magnitudes of hygroexpansions and hygrocontractions are similar to those of other Mexican species reported in the literature. The coefficients denote anisotropic character in the radial and tangential directions. The density of the wood is a good predictor of the coefficients. However, the correlations of the anisotropy relations are different from those reported in previous works.

Keywords: coefficient of hygroexpansion, coefficient of hygrocontraction, hygroscopic tests, statistical correlations.

1. Introducción

El conocimiento de las características higroscópicas de la madera encuentra aplicación en el diseño arquitectural (Abdelmohsen et al., 2019; Grönquist et al., 2019), en el cálculo ingenieril (Borgström, 2016; Jacob et al., 2018; Haag et al., 2020), en las tecnologías de reconstitución y modificación de la madera (Sargent, 2019; Yao et al., 2019) y en los procesos de secado y preservación de este material (Tamarit y Fuentes, 2003; Borja et al., 2010; Dickson y Dawson, 2020). En este mismo sentido, la comprensión de la interacción de la humedad del medio ambiente con las características físico-mecánicas de la madera es imprescindible para apreciar su calidad como material de ingeniería (Hering et al., 2012; Engelund et al., 2013), en el desarrollo de nuevos productos (LeDuigou et al., 2019; El-Dabaa y Abdelmoshen, 2019) y para generar información en ciencias, tecnología e ingeniería de la madera (Carmeliet et al., 2018; Wang et al., 2019; Sotayo et al., 2020).

Las características higroscópicas de una madera también son de utilidad para determinar su calidad, mediante la comparación de sus magnitudes con otras especies. Una madera es de mejor calidad si se encoje o expande en menor proporción y sobre todo si su relación de anisotropía es mínima (Romagnoli et al., 2014; Hassankhani et al., 2015; Ištók et al., 2016; Machuca et al., 2017; Huda et al., 2018; Abdelmohsen et al., 2019).

Los métodos más usados para determinar los parámetros higroscópicos son: 1. Inmersión en agua (Dubey et al., 2011; Fu et al., 2019) y/o solventes químicos (O'Leary y Hodges, 2001; Pereira et al., 2020); 2. Exposición secuencial a la humedad relativa (García et al., 2005; Derome et al., 2011; Jankowska et al., 2017); 3. Modelado numérico (Derome et al., 2018; Grönquist et al., 2019; Abdelmohsen et al., 2019); 4. Impregnación con aceites (Rowell, 2007; Ávila y Herrera, 2012); 5. Uso de imágenes digitales (Badel et al., 2006; Hansmann et al., 2012; Nopens et al., 2019); y 6. Uso de microscopía electrónica (Almeida et al., 2014; Derome et al., 2013). Otras estrategias de investigación son, por una parte, la implementación de protocolos ad hoc (Sargent, 2019) y por otra, las investigaciones que se adecúan a protocolos normativos como los propuestos por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2016a; ISO, 2016b; ISO, 2017a; ISO, 2017b) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, 2013; ASTM, 2014).

La información sobre la variación dimensional de maderas endémicas de México está recopilada en Torelli y Gorišek (1995a), Torelli y Gorišek (1995b), Tamarit y Fuentes (2003), Tamarit y López (2007), Silva et al. (2010), Sotomayor y Ramírez (2013) y Bárcenas (2020). Algunas características de las especies en estudio están reportadas en investigaciones anteriores. Con todo, los resultados de la presente investigación son originales e inéditos.

El objetivo de la investigación fue determinar los coeficientes de higroexpansión, de higrocontracción y sus relaciones de higroscopía de las especies: *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Fagus mexicana* Martínez, *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez y *Guazuma ulmifolia* Lam.

El estudio de las características higroscópicas de estas ocho maderas es de interés tecnológico y comercial porque ellas ejemplifican un amplio intervalo de valores en su densidad, representan diferentes estructuras anatómicas y ofrecen un amplio potencial para la elaboración de nuevos productos con valor agregado (Tamarit y López 2007, Silva et al., 2010 y Bárcenas, 2020).

2. Materiales y métodos

El material experimental proviene del banco de maderas que forma parte del programa de caracterización física y mecánica de especies mexicanas del Laboratorio de Mecánica de la Madera, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La madera se almacenó en una cámara de acondicionamiento (temperatura = $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; humedad relativa = $65\% \pm 5\%$) hasta que su peso fue constante. Para cada una de las especies, se recortaron 18 probetas con dimensiones de $0,02\text{ m} \times 0,02\text{ m} \times 0,06\text{ m}$ en las direcciones radial (R), tangencial (T) y longitudinal (L), respectivamente.

Las pruebas de higroscopía consistieron en las siguientes etapas: 1. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado de humedad inicial de la madera; 2. Hidratación de las probetas en un baño de agua con temperatura de 20°C durante 72 horas; 3. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado saturado después del tratamiento de hidratado; 4. Secado de las probetas en un horno con temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas; 5. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado anhidro después del tratamiento de secado. La Tabla 1 presenta las ecuaciones empleadas y los símbolos utilizados para calcular los parámetros estudiados.

Tabla 1. Parámetros, ecuaciones y símbolos utilizados.

Table 1. Parameters, equations and symbols used.

Ecuaciones	Ecs.	Referencias
$CH_{ini} = \left(\frac{P_{ini} - P_{anhidro}}{P_{anhidro}} \right) \times 100$	(1)	Chiniforush et al. (2019)
$Q_0 = \frac{P_{anhidro}}{V_{sat}}$	(2)	Koman y Feher (2015)
$PSF = \left(\frac{V_{sat} - V_{anhidro}}{V_{sat}} \right) \times \left(\frac{100}{0,9 \times Q_0} \right)$	(3)	Fuentes (2000)
$\alpha_i = \left(\frac{i_{sat} - i_{ini}}{i_{sat}} \right) \times \left(\frac{100}{PSF - CH_{ini}} \right)$	(4)	Fuentes (2000)
$\beta_i = \left(\frac{i_{sat} - i_{anhidro}}{i_{anhidro}} \right) \times \left(\frac{100}{PSF} \right)$	(5)	Sotomayor et al. (2020a)
$\alpha_V = \alpha_R + \alpha_T$	(6)	Esta investigación
$\beta_V = \beta_R + \beta_T$	(7)	Esta investigación
Símbolos	Subíndices	
CH = Contenido de humedad (%)	anhidro = Estado de humedad anhidro	
Q_0 = Densidad básica (kg m ⁻³)	sat = Estado de humedad saturado	
P = Peso (kg)	ini = Estado de humedad inicial	
V = Volumen (m ³)	max = Máximo	
PSF = Punto de saturación de la fibra (%)	i = Dimensiones en R y/o T	
α = Coeficiente de higroexpansión (%/%)	R = Radial	
β = Coeficiente de higrocontracción (%/%)	T = Tangencial	
	V = Volumétrico	

Diseño experimental

La unidad experimental consistió en madera de ocho especies: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii*, *F. uhdei*, *F. mexicana*, *D. palo-escrito* y *G. ulmifolia*. Las variables de respuesta fueron: los coeficientes de higróexpansión y de higrócontracción radial y tangencial. Se calcularon las relaciones de anisotropía entre las direcciones tangencial y radial de los coeficientes de higróexpansión e higrócontracción. Para cada muestra y para las relaciones de anisotropía se determinaron su media (μ), su desviación estándar (σ) y su coeficiente de variación ($CV = \sigma / \mu$). Se evaluaron correlaciones lineales ($y = ax \pm b$) y potencia ($y = ax^b$) y se determinaron los coeficientes de determinación (R^2) de las variables de respuesta en función de la densidad básica. Las ponderaciones para calificar la intensidad de las correlaciones fueron los valores del coeficiente de determinación propuestos por Tippner et al. (2016): correlación muy alta: $1 \geq R^2 \geq 0,9$; correlación alta: $0,9 > R^2 \geq 0,7$; correlación media: $0,7 > R^2 \geq 0,4$; correlación baja: $0,4 > R^2 \geq 0,2$; y correlación nula: $R^2 < 0,2$. Por último, los resultados de esta investigación se compararon con datos de la bibliografía adaptados de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

3. Resultados y discusión

Contenido de humedad inicial

Para las ocho maderas, los valores promedio del contenido de humedad inicial fluctuaron entre un mínimo de 8,1 % (*D. palo-escrito*) y un máximo de 9,7 % (*F. mexicana*) y su variación entre especies refleja un coeficiente de variación del 6 % (Tabla 2). Al interior de cada especie, el contenido de humedad varió desde 6 % (*F. mexicana*) hasta 17 % (*T. donnell-smithii*) (Tabla 2). El contenido de humedad inicial es calculado con la Ec. (1) a partir de mediciones directas del peso inicial y el peso en estado anhidro.

Densidad básica

Las magnitudes promedio de la densidad básica de la madera para cada una de las especies variaron en el intervalo que va desde 388 kg m⁻³ (*C. lindleyi*) hasta 573 kg m⁻³ (*G. ulmifolia*) (Tabla 2) y muestran un coeficiente de variación entre especies de 12 % (Tabla 2). En comparación con los datos reportados por Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) con un rango que va desde un mínimo de 317 kg m⁻³ (*S. parahibum*) hasta un máximo de 1060 kg m⁻³ (*Q. skinneri*) (Anexo), la amplitud del intervalo de valores de la densidad básica de la presente investigación es menor. Sin embargo, el coeficiente de variación de 22 % es solamente 4 % menor al calculado para los datos bibliográficos mencionados, el cual es de 26 %. La densidad básica es calculada con la Ec. (2) a partir de mediciones directas del peso anhidro y el volumen saturado.

Los coeficientes de variación, que representan la variabilidad al interior de cada especie, van desde un mínimo de 4 % (*F. mexicana*) hasta un máximo de 19 % (*C. odorata*) (Tabla 2). En este mismo sentido, Sotomayor y Ramírez (2013), a partir del análisis de una base de datos de las características

higroscópicas de 134 especies mexicanas, así como De Almeida *et al.* (2017) en su estudio de 15 maderas brasileñas, perciben incompleto el enfoque tradicional de calificar la calidad de una especie o las características de una madera, únicamente en relación con su densidad básica. De aquí resulta la utilidad incorporar sus características higroscópicas para una caracterización integral como material de ingeniería.

Tabla 2. Densidad básica y contenido de humedad inicial.

Table 2. Basic density and initial moisture content.

Especies		ρ_0 (kg m ⁻³)	CH _{ini} (%)
<i>Cupressus lindleyi</i>	μ	388	8,7
	CV	(7)	(7)
<i>Cedrela odorata</i>	μ	439	8,9
	CV	(19)	(9)
<i>Swietenia macrophylla</i>	μ	460	8,7
	CV	(7)	(8)
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	μ	522	8,4
	CV	(5)	(17)
<i>Fraxinus uhdei</i>	μ	528	9,5
	CV	(6)	(14)
<i>Fagus mexicana</i>	μ	515	9,7
	CV	(4)	(6)
<i>Dalbergia palo-escrito</i>	μ	537	8,1
	CV	(13)	(10)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	μ	573	9,0
	CV	(7)	(11)

ρ_0 = Densidad básica; CH_{ini} = Contenido de humedad inicial; μ = Media; CV = Coeficiente de variación en porciento y entre paréntesis.

Higroexpansiones

La humedad penetra en la madera por la atracción de las moléculas de agua hacia los hidroxilos de sus componentes químicos, principalmente, la celulosa. Como resultado, estos hidroxilos forman una capa mono molecular de agua con fuertes enlaces de hidrógeno. La formación de esta capa hace que se separen las cadenas de moléculas de celulosa en las regiones amorfas y entre los cristalitas de las micro fibrillas, de modo que la madera comienza a expandirse. Bajo el efecto de las fuerzas de atracción secundarias, más moléculas de agua entran en la madera y forman una capa poli molecular. Adicionalmente, otras moléculas pueden entrar por condensación de capilaridad en los huecos de la pared celular. Después de la saturación de las paredes, el agua líquida también entra en las cavidades celulares (Sotomayor *et al.*, 2020b). Por lo tanto, existen dos niveles de masa de agua en la madera: el agua contenida en las paredes celulares y el agua libre que ocupa las cavidades intercelulares. La condición en la cual las paredes están saturadas pero las cavidades están vacías se llama punto de

saturación de la fibra (Berry y Roderick, 2005), en este estado el fenómeno de la variación dimensional ocasionada por la fluctuación del contenido de humedad termina.

El coeficiente de higror expansión radial (Ec. 4) varía desde un mínimo de 0,20 %/% (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 0,30 %/% (*D. palo-escrito*) (Tabla 3). Su variabilidad entre especies se explica por un coeficiente de variación de 14 %. Por su parte, el coeficiente de higror expansión tangencial (Ec. 4) fluctúa desde un mínimo de 0,22 %/% (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 0,41 %/% (*F. mexicana*) con un coeficiente de variación de 21 %. Estas magnitudes se ubican al interior del intervalo reportado por Torelli y Gorišek (1995) para 43 especies mexicanas. El coeficiente de higror expansión volumétrica, calculado con la Ec. (7) adiciona aritméticamente los resultados de los coeficientes radial y tangencial. Así, el valor mínimo de 0,42 %/% corresponde a *C. lindleyi* y el máximo de 0,68 %/% corresponde a *D. palo-escrito*. Su coeficiente de variabilidad es de 16 %, valor intermedio entre los coeficientes de higror expansión radial y tangencial.

Tabla 3. Higror expansiones, higror contracciones y relaciones de anisotropía.

Table 3. Hygroexpansions, hygrocontractions and anisotropy relationships.

Especie	Higror expansión				Higror contracción			
	α_R (%/%)	α_T (%/%)	α_V (%/%)	α_T/α_R -	β_R (%/%)	β_T (%/%)	β_V (%/%)	β_T/β_R -
<i>Cupressus lindleyi</i>	0,20	0,22	0,42	1,10	0,15	0,15	0,30	1,05
<i>Cedrela odorata</i>	0,21	0,28	0,49	1,34	0,18	0,22	0,39	1,25
<i>Swietenia macrophylla</i>	0,21	0,28	0,50	1,34	0,17	0,22	0,40	1,31
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	0,22	0,31	0,52	1,42	0,20	0,26	0,46	1,27
<i>Fraxinus uhdei</i>	0,25	0,39	0,64	1,53	0,22	0,25	0,47	1,14
<i>Fagus mexicana</i>	0,22	0,41	0,64	1,84	0,18	0,27	0,45	1,50
<i>Dalbergia palo-escrito</i>	0,30	0,38	0,68	1,28	0,16	0,30	0,46	1,85
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,23	0,39	0,61	1,71	0,20	0,31	0,50	1,54
μ	0,23	0,33	0,56	1,44	0,18	0,25	0,43	1,36
CV	(14)	(21)	(16)	(17)	(13)	(20)	(15)	(19)

α = Coeficiente de higror expansión; β = Coeficiente de higror contracción; R = Radial; T = Tangencial; V = Volumétrico; μ = Media; CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis.

Estos resultados son del mismo orden que los reportados en la bibliografía: Haag *et al.* (2020) utiliza la técnica de inmersión en agua y reporta para madera de *Cedrela cateniformis* ($Q_0 = 520 \text{ kg m}^{-3}$) un coeficiente de higror expansión radial de 0,15 %/% y tangencial de 0,28 %/%. Utilizando la misma técnica, Sotomayor (2017) reporta para *Gyrocarpus americanus* un coeficiente de higror expansión radial de 0,10 %/% y tangencial de 0,001 %. Por su parte, Sotomayor *et al.* (2020b) con un procedimiento similar al aplicado en esta investigación, reportan coeficientes de higror expansión radiales para *Spathodea campanulata* ($Q_0 = 269 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,30 %/%, para *Fraxinus americana* ($Q_0 = 534 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,23 %/% y para *Albizia plurijuga* ($Q_0 = 697 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,34 %/%.

Las magnitudes de las higror expansiones en la dirección longitudinal de la madera son del orden de 0,1 % (Arzola-Villegas *et al.*, 2019) y su determinación experimental es difícil de lograr (Derome, 2013; Sotomayor, 2016). Usualmente no se reportan resultados de este coeficiente y se considera un factor que no afecta de manera significativa la higror expansión volumétrica (Liu *et al.*, 2020). Como resultado, el nivel de estabilidad dimensional de una especie de madera, se evalúa con las

higroexpansiones lineales (radial y tangencial) y volumétrica (Tiryaki *et al.*; 2016, Fu *et al.*, 2019). Estos parámetros son útiles para caracterizar las propiedades físicas de una especie. Sin embargo, para homogeneizar resultados con respecto a la variación del contenido de humedad, es conveniente determinar los coeficientes de higroexpansión, los cuales ponderan la variación geométrica por el incremento en el contenido de humedad (Torelli y Gorišek, 1995^a; Lesar *et al.*, 2011).

El coeficiente de higroexpansión radial correlaciona con la densidad básica con un coeficiente de determinación bajo (Fig. 1). Por su parte, la misma correlación calculada a partir de los datos de Torelli y Gorišek (1995a) califica como alta. En el mismo sentido, el coeficiente de higroexpansión tangencial indica una correlación alta y mayor que la calculada con datos de la bibliografía, la cual califica como media (Fig. 2).

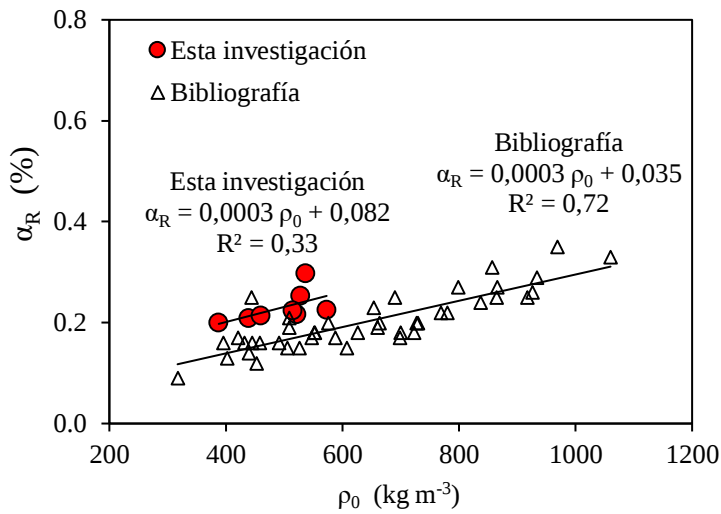


Fig. 1. Correlaciones entre higroexpansión radial y densidad básica.

Fig. 1. Correlations between radial hygroexpansion and basic density.

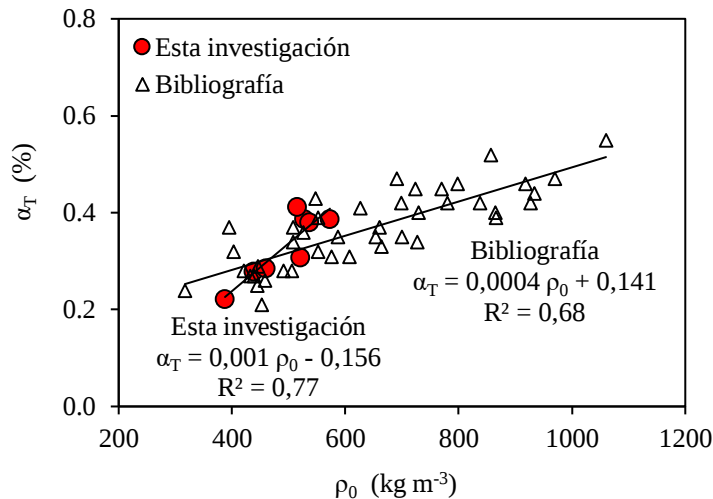


Fig. 2. Correlaciones entre higroexpansión tangencial y densidad básica.

Fig. 2. Correlations between tangential hygroexpansion and basic density.

Estas tendencias son difíciles de comparar con las reportadas en la literatura. Para coeficientes de higoexpansión radial, tangencial y volumétrico, Hernández (2007a) y (2007b) reporta coeficientes de determinación de correlaciones lineales que califican de medio a alto para nueve maderas del Perú, con densidad básica entre 462 kg m^{-3} y 917 kg m^{-3} . Por su parte, Shukla y Kandem (2010) reportan para nueve maderas de Camerún densidades básicas entre 448 kg m^{-3} y 690 kg m^{-3} , correlaciones lineales de tipo $y = a + bx$ y sus coeficientes de determinación (R^2) para las higoexpansiones radial (α_R), tangencial (α_T) y volumétrica (α_V) son las siguientes: $\alpha_R = 0,005 Q_0 + 0,078$ ($R^2 = 0,56$), $\alpha_T = 0,004 Q_0 + 1,720$ ($R^2 = 0,44$) y $\alpha_V = 0,010 Q_0 + 1,800$ ($R^2 = 0,54$) de donde concluyen que no existe correlaciones lineales fuertes entre la densidad básica de la madera y su higoexpansión. En el mismo sentido, De Almeida *et al.* (2017) reportan para 15 maderas brasileñas, con densidades básicas que van desde 650 kg m^{-3} hasta 1000 kg m^{-3} , coeficientes de determinación derivados de correlaciones potencia de la forma $y = ax^b$ entre el coeficiente de higoexpansión volumétrico y la densidad básica de $R^2 = 0,10$.

Higocontracciones

El coeficiente de higocontracción radial varía entre un mínimo de $0,15 \text{ \%/}$ (*C. lindleyi*) y un máximo de $0,22 \text{ \%/}$ (*F. uhdei*) con un coeficiente de variación entre especies de $13 \text{ \%/}$ (Tabla 3). En el mismo sentido, el coeficiente de higocontracción tangencial fluctuó desde un mínimo de $0,15 \text{ \%/}$ (*C. lindleyi*) hasta un máximo de $0,31 \text{ \%/}$ (*G. ulmifolia*) con un coeficiente de variación entre especies de $20 \text{ \%/}$.

El coeficiente de higocontracción volumétrica, calculado con la Ec. (6), adiciona aritméticamente los resultados de los coeficientes radial y tangencial. Así, el valor mínimo de $0,30 \text{ \%/}$ corresponde a *C. lindleyi* y el máximo de $0,50 \text{ \%/}$ corresponde a *G. ulmifolia*. Su coeficiente de variabilidad es de $16 \text{ \%/}$, valor intermedio entre los coeficientes de higoexpansión radial y tangencial.

En la dirección radial, el coeficiente de higocontracción correlaciona con el coeficiente de higoexpansión con un coeficiente de determinación alto $R^2 = 0,73$ ($\beta_R = 1,239 \alpha_R + 0,088$). Para la dirección tangencial, esta correlación es alta $R^2 = 0,76$ ($\beta_T = 0,631 \alpha_T + 0,038$). Como resultado, los coeficientes volumétricos de higoexpansión e higocontracción indican un coeficiente de determinación medio $R^2 = 0,70$ ($\beta_V = 0,616 \alpha_V + 0,085$). Estos resultados son similares a los estimados a partir de datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) cuyas correlaciones y coeficientes de determinación son: $\beta_R = 0,975 \alpha_R - 0,008$, con $R^2 = 0,67$ (medio); $\beta_T = 1,188 \alpha_T - 0,048$ con $R^2 = 0,78$ (alto); y $\beta_V = 1,166 \alpha_V - 0,086$ con $R^2 = 0,79$ (alto). Para los datos calculados a partir de estos autores, la correlación del coeficiente de higocontracción radial en función de la densidad básica de la madera califica como alta. En contraste, los resultados de la presente investigación indican un coeficiente de determinación medio (Fig. 3). Para el caso del coeficiente de higocontracción tangencial, los coeficientes de determinación correspondientes a la presente investigación y a los datos de la bibliografía califican como muy altos (Fig. 4).

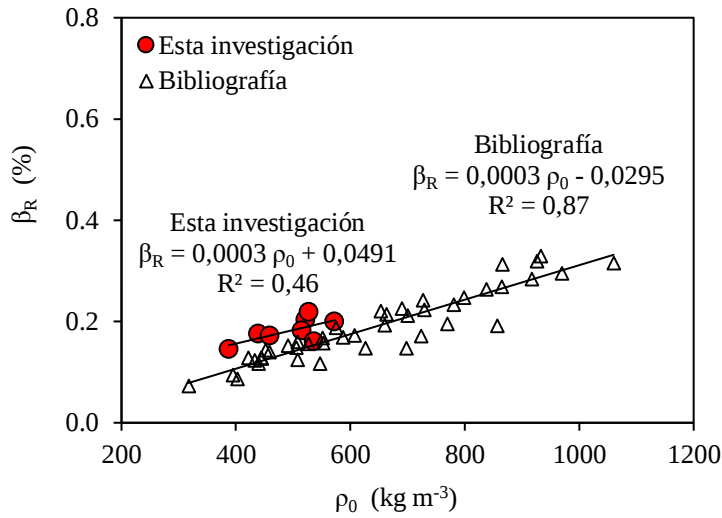


Fig. 3. Correlaciones entre higocontracción radial y densidad básica.

Fig. 3. Correlations between radial hygrocontraction and basic density.

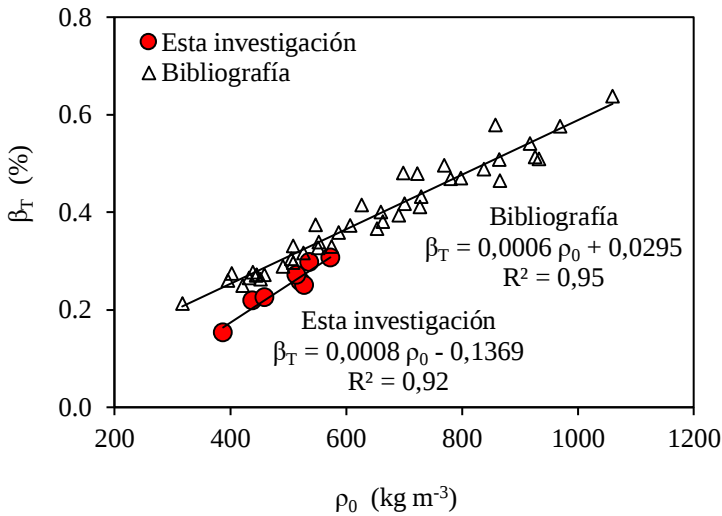


Fig. 4. Correlaciones entre higocontracción tangencial y densidad básica.

Fig. 4. Correlations between tangential hygrocontraction and basic density.

Dado que las regresiones se derivan de mediciones en muestras comunes, realizadas en las mismas condiciones experimentales y con el mismo aparato, el error de las mediciones, introducido en la predicción del parámetro dependiente y la precisión del parámetro medido está incluido en el valor del coeficiente de determinación (Hanhijärvi *et al.*, 2005). Como corolario, los coeficientes de determinación alcanzados muestran homogeneidad y coherencia en los resultados.

Los coeficientes de higoexpansión volumétricos son en promedio mayores 23 % respecto a los coeficientes de higocontracción volumétricos (Tabla 3). Los coeficientes de higoexpansión y de higocontracción en la dirección radial aumentan a medida que la densidad básica de la madera se incrementa. Este resultado coincide con la información reportada en la bibliografía.

Relaciones de anisotropía

La relación de anisotropía de las higoexpansiones (α_T/α_R) varía desde un mínimo de 1,10 (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 1,84 (*F. mexicana*) con un coeficiente de variación de 16 % (Tabla 3). Comparativamente, Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) reportan relaciones de anisotropía de 1,9 y un CV de 19 %. A partir de los resultados de estos autores y listados en el anexo, la Figura 5 presenta la correlación entre relación de anisotropía de higoexpansión y densidad básica, la cual tiene una pendiente ligeramente negativa. En cambio, la correlación calculada con los resultados de la presente investigación señala una pendiente positiva. Además, el coeficiente de determinación es cinco veces más grande respecto al calculado con datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

La relación de anisotropía de las higocontracciones (β_T/β_R) varían desde un mínimo de 1,05 (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 1,85 (*D. palo-escrito*) con un coeficiente de variación de 19 % (Tabla 3). De acuerdo a la clasificación propuesta por Sotomayor y Ramírez (2013) las relaciones de anisotropía para las higocontracciones son: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii* y *F. uhdei* muy baja; *F. mexicana* y *G. ulmifolia* baja; y *D. palo-escrito* media. De manera similar a la anisotropía de las contracciones, a partir de los resultados de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) y listados en el anexo, la Figura 6 presenta la correlación entre relación de anisotropía de higocontracción y densidad básica, la cual tiene una pendiente ligeramente negativa. En cambio, la correlación calculada con los resultados de la presente investigación indica una pendiente positiva. En este caso, el coeficiente de determinación es cuatro veces más grande respecto al calculado con datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

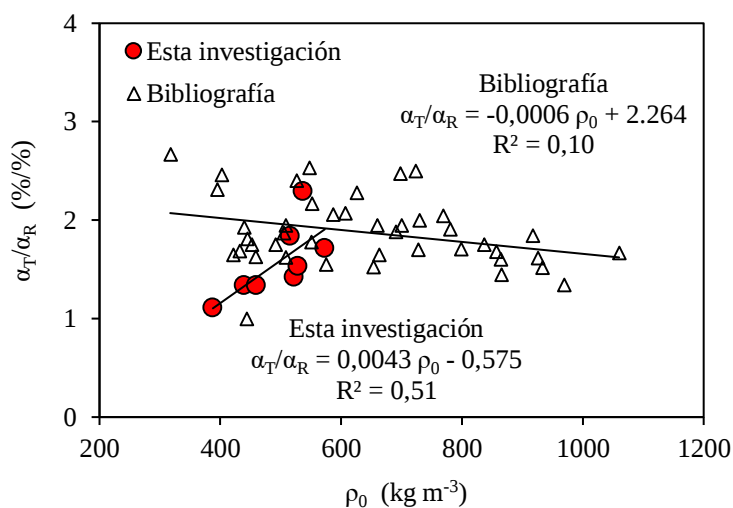


Fig. 5. Correlaciones entre relación de anisotropía de higoexpansión y densidad básica.
Fig. 5. Correlations between hygroexpansion anisotropy relationship and basic density.

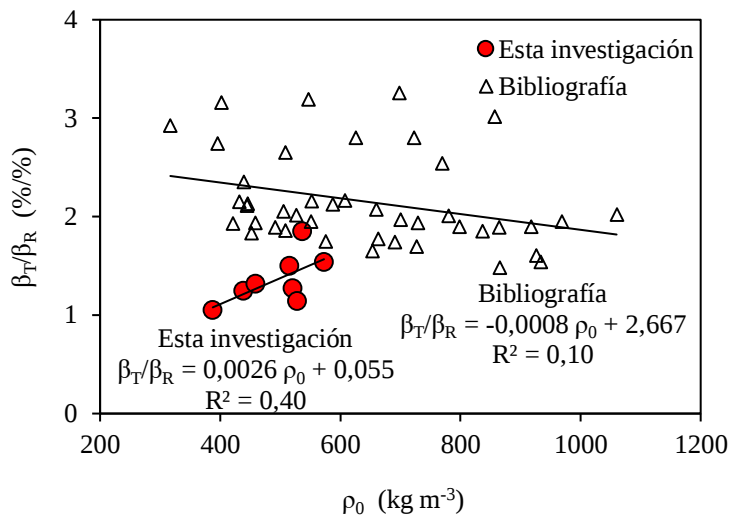


Fig. 6. Correlaciones entre relación de anisotropía de higocontracción y densidad básica.

Fig. 6. Correlations between hygrocontraction anisotropy relationship and basic density.

4. Conclusiones

Se determinaron la densidad y las características higroscópicas de ocho maderas mexicanas: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii*, *F. uhdei*, *F. mexicana*, *D. palo-escrito* y *G. ulmifolia*. La densidad de la madera de las ocho maderas estudiadas en la presente investigación, como predictor del carácter anisotrópico de los coeficientes de higocontracción e higoexpansión, evidencian una correlación media con pendiente positiva.

La magnitud de las características higroscópicas de las especies estudiadas es semejante a las de otras maderas mexicanas reportadas en investigaciones previas. Las magnitudes de las higocontracciones e higoexpansiones son mayores en la dirección tangencial en comparación con la dirección radial. Lo que implica que el diseño de estructuras y productos de madera debe considerar la diferente modificación en las dimensiones de una pieza de madera cuando está sometida a cambios en su contenido de humedad.

Para fines de cálculo y diseño ingenieril, es recomendable considerar la influencia de la variación de los valores de las características físicas entre especies de madera, el efecto de las dimensiones y de la calidad entre las probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos de crecimiento, así como la posible diferencia de los valores correspondientes a elementos estructurales, tales como vigas y columnas con calidad y las dimensiones empleadas en ingeniería de la madera.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la publicación de estos resultados.

5. Referencias

- Abdelmohsen, S., Adriaenssens, S., El-Dabaa, R., Gabriele, S., Olivieri, L., & Teresi, L. (2019). A multi-physics approach for modeling hygroscopic behavior in wood low-tech architectural adaptive systems. *Computer-Aided Design*, 106, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.07.005>
- Almeida, G., Huber, & F., Perré, P. (2014). Free shrinkage of wood determined at the cellular level using an environmental scanning electron microscope. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(2), 187-198. <https://bit.ly/3vltkidj>
- American Society for Testing and Materials. (2013). ASTM D4446/D4446M-13. Standard Test Method for Anti-Swelling Effectiveness of Water-Repellent Formulations and Differential Swelling of Untreated Wood When Exposed to Liquid Water Environments West Conshohocken: ASTM. <https://bit.ly/3vluUsv>
- American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM D143-14. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Arzola-Villegas, X., Lakes, R., Plaza, N. Z., & Jakes, J. E. (2019). Wood Moisture-Induced Swelling at the Cellular Scale—Ab Intra. *Forests*, 10, 996. <https://bit.ly/3kj7j5q>
- Ávila, L. E., & Herrera, M. A. (2012). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* procedente de Michoacán, México. *Bosque*, 33(2), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>
- Badel, E., Bakour, R., & Perré, P. (2006). Investigation of the relationships between anatomical pattern, density and local swelling of oak wood. *IAWA Journal*, 27(1), 55-71. <https://bit.ly/3LmEj8Y>
- Bárceñas Pazos, G. M. (2020). Banco de información sobre características tecnológicas de maderas mexicanas. México: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). <https://bit.ly/3KmWIRx>
- Berry, S. L., & Roderick, M. L. (2005). Plant-water relations and the fibre saturation point. *New Phytologist*, 168, 25-37. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01528.x>
- Borgström, E. (Editor). (2016). Design of timber structures. Structural aspects of timber construction. Volume 1. Stockholm: Swedish Forest Industries Federation.
- Borja de la Rosa, A., Machuca, R., Fuentes Salinas, M., Ayerde Lozada, D., Fuentes López, M., & Quintero Alcantar, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana martínez*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 261-280. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083>
- Carmeliet, J., Chen, M., & Derome, M. (2018). Sorption hysteresis in wood and its coupling to swelling: a new modelling approach. Proceedings of the 7th International Building Physics Conference, IBPC2018. Syracuse: Curran Associates. pp. 343-348. <http://dx.doi.org/10.14305/ibpc.2018.be-9.04>
- Chiniforush, A. A., Akbarnezhad, A., Valipour, H., & Malekmohammadi, S. (2019). Moisture and temperature induced swelling/shrinkage of softwood and hardwood glulam and LVL: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 207, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.114>
- De Almeida, T., De Almeida, D. H., De Araujo, V. A., Da Silva, S. A. M., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2017). Density as Estimator of Dimensional Stability Quantities of Brazilian Tropical Woods. *BioResources*, 12(3), 6579-6590. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6579-6590>

- Derome, D., Griffa, M., Koebel, M., & Carmeliet, J. (2011). Hysteretic swelling of wood at cellular scale probed by phase-contrast X-ray tomography. *Journal of Structural Biology*, 173, 180-190. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2010.08.011>
- Derome, D., Rafsanjani, A., Hering, S., Dressler, M., Patera, A., Lanvermann, C., Sedighi-Gilani, M., Wittel, F. K., Niemz, P., & Carmeliet, J. (2013). The role of water in the behavior of wood. *Journal of Building Physics*, 36(4), 398-421. <https://doi.org/10.1177/1744259112473926>
- Derome, D., Zhang, C., Chen, M., & Carmeliet, J. (2018). Understanding swelling of wood through multiscale modeling. *Proceedings of the 7th International Building Physics Conference, IBPC2018*. Syracuse: USA. pp. 335-360. <http://dx.doi.org/10.14305/ibpc.2018.be-9.06>
- Dickson, A., & Dawson, B. (2020). Using Cell Cross-section Dimensions and Digital Image Correlation to Evaluate Drying Shrinkage and Collapse in Eucalyptus Nitens Wood. *BioResources*, 15(3), 6149-6164. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.3.6149-6164>
- Dubey, M. K., Pang, S., & Walker, J. (2011). Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated Pinus radiata. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 255-262. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-010-0431-0>
- El-Dabaa, R., & Abdelmoshen, S. (2019). HMTM: Hygromorphic-Thermobimetal Composites as a Novel Approach to Enhance Passive Actuation of Adaptive Façades. *18th International Conference, CAAD Futures 2019, Proceedings*. Daejeon, Korea: Springer. 567- 577. <https://bit.ly/3EQ7w9P>
- Engelund, E. T., Thygesen, L. G., Svensson, S., & Hill, C. A. S. (2013). A critical discussion of the physics of wood-water interactions. *Wood Science and Technology*, 47(1), 141-161. <https://doi.org/10.1007/s00226-012-0514-7>
- Fu, Z., Zhou, Y., Gao, X., Liu, H., & Zhou, F. (2019). Changes of water related properties in radiata pine wood due to heat treatment. *Construction and Building Materials*, 227, 116692. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116692>
- Fuentes Salinas, M. (2000). Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(1), 79-81. <https://bit.ly/36W4O68>
- García Esteban, L. G., Gril, J., De Palacios, P., & Guindeo Casasús, A. (2005). Reduction of wood hygroscopicity and associated dimensional response by repeated humidity cycles. *Annals of Forest Science*, 62(3)275-284. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2005020>
- Grönquist, P., Wood, D., Hassani, M. M., Wittel, F. K., Menges, A., & Rüggeberg, M. (2019). Analysis of hygroscopic self-shaping wood at large scale for curved mass timber structures. *Science Advances*, 5, eaax 1311. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1311>
- Haag, V., Koch, G., Melcher, E., & Welling, J. (2020). Characterization of the wood properties of *Cedrelina cateniformis* as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(1), 23-36. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000103>
- Hanhijärvi, A., Ranta-Maunus, A., & Turk, G. (2005). Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade-project - phase 1. VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo: VTT Publications No. 568. <https://bit.ly/3LpGW9M>
- Hansmann, C., Konnerth, J., & Rosner, S. (2012). Digital image analysis of radial shrinkage of fresh spruce (*Picea abies* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering*, 6(1-2), 2-6. <https://doi.org/10.1080/17480272.2010.515032>
- Hassankhani, M., Kord, B. & Pourpasha, M. M. (2015). Empirical statistical model for predicting wood properties of *Paulownia fortunei*. Part 1: physical and biometrical properties. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(4), 919-930. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48543004020>

- Hering, S., Keunecke, D. & Niemz, P. (2012). Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 46(5), 927-938. <https://doi.org/10.1007/s00226-011-0449-4>
- Hernández, R. E. (2007a). Swelling properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. *Wood and Fiber Science*, 39(1), 146-158. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/203>
- Hernández, R. E. (2007b). Effects of extraneous substances, wood density and interlocked grain on fiber saturation point of hardwoods. *Wood Material Science and Engineering*, 2(1), 45-53. <https://doi.org/10.1080/17480270701538425>
- Huda, A.S.M., Koubaa, A., Cloutier, A., Hernández, R., Périnet, P. & Fortin, Y. (2018). Phenotypic and Genotypic Correlations for Wood Properties of Hybrid Poplar Clones of Southern Quebec. *Forests*, 9(3), 140-156. <https://doi.org/10.3390/f9030140>
- International Organization for Standardization. (2016a). ISO 13061-13:2016. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2016b). ISO 13061-14:2016. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 14: Determination of volumetric shrinkage. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2017a). ISO 13061-15:2017. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 15: Determination of radial and tangential swelling. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2017b). ISO 13061-16:2017. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 16: Determination of volumetric swelling. Geneva: International Organization for Standardization.
- Ištok, I., Sedlar, T., Šefc, B., Sinkovi, T., & Perkovi, T. (2016). Physical Properties of Wood in Poplar Clones 'I-214' and 'S1-8'. *Drvna Industrija*, 67(2), 163-170. <https://bit.ly/399K5wf>
- Jacob, M., Harrington, J., & Robinson, B. (2018). The Structural Use of Timber. Handbook for Eurocode 5: Part 1-1. COFORD, Dublin: Department of Agriculture, Food and the Marine. <https://bit.ly/3vkr82v>
- Jankowska, A., Drożdżek, M., Sarnowski, P., & Horodeński, J. (2017). Effect of Extractives on the Equilibrium Moisture Content and Shrinkage of Selected Tropical Wood Species. *Bioresources*, 12(1), 597-697. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.597-607>
- Koman, S., & Feher, S. (2015). Basic density of hardwoods depending on age and site. *Wood Research*, 60(6), 907-912. <http://www.centrumdp.sk/wr/201506/07.pdf>
- LeDuigou, A., Keryvin, V., Beaugrand, J., Pernes, M., Scarpa, F., & Castro, M. (2019). Humidity responsive actuation of bioinspired hygromorph biocomposites (HBC) for adaptive structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 116, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.10.018>
- Lesar, B., Straže, A., & Humar, M., (2011). Sorption Properties of Wood Impregnated with Aqueous Solution of Boric Acid and Montan Wax Emulsion. *Journal of Applied Polymer Science*, 120, 1337-1345. <https://doi.org/10.1002/app.33196>
- Liu, M., Xu, G., Wang, J., Wu, Z., Lv, J., & Xu, W. (2020). Effects of Shellac Treatment on Wood Hygroscopicity, Dimensional Stability and Thermostability. *Coatings*, 10, 881. <https://doi.org/10.3390/coatings10090881>
- Machuca Velasco, R., Borja de la Rosa, A., Corona Ambriz, A., Zaragoza Hernández, I., Arreola Avila, J. G. & Jiménez Machorro, J. (2017). Xilotecnia of the wood of *Acacia schaffneri* from the State of Hidalgo, Mexico. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(3), 293-308. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000025>

- Nopens, M., Riegler, M., Hansmann, C., & Krause, A. (2019). Simultaneous change of wood mass and dimension caused by moisture dynamics. *Scientific Reports*, 9, 10309. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46381-8>
- O'Leary, P., & Hodges, P. A. (2001). The relationship between full penetration uptake and swelling of different fluids. *Wood Science and Technology*, 35(3), 217-227. <https://doi.org/10.1007/s002260100096>
- Pereira Acosta, A., Römer Schulz, H. R., Techera Barbosa, K., Spiering Zanol, G., Gallio, E., de Avila Delucis, R., & Gatto, D. A. (2020). Dimensional stability and colour responses of *Pinus elliottii* wood subjected to furfurylation treatments. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(3), 303-310. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000305>
- Romagnoli, M., Cavalli, D., & Spina, S. (2014). Wood Quality of Chestnut: Relationship between Ring Width, Specific Gravity, and Physical and Mechanical Properties. *BioResources*, 9(1), 1132-1147. <https://bit.ly/3vR7SZy>
- Rowell, R. M. (2007). Chemical Modification of Wood. In: *Handbook of Engineering Biopolymers. Homopolymers, Blends, and Composites*. Fakirov, S., & Bhattacharyya, D. (Editors). pp: 673-691. <https://bit.ly/38tpkvc>
- Sargent, R. (2019). Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice. *Journal of Wood Science*, 65, 36-47. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1817-1>
- Shukla, S. R., & Kandem, D. P. (2010). Dimensional stability of nine tropical hardwoods from Cameroon. *Journal of Tropical Forest Science*, 22(4), 389-396. <https://bit.ly/3LmMbqI>
- Silva Guzmán, J. A., Fuentes Talavera, F. J., Rodríguez Anda R., Torres Andrade, P. A., Lomelí Ramírez, M. A., Ramos Quirarte, J., Waitkus, C., & Richter, H. G. (2010). Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. México: Comisión Nacional Forestal.
- Sotayo, A., Bradley, D.F., Bather, M., Sareh, P., Oudjene, M., El-houjeiry, I., Harte, A., Mehra, S., O'Ceallaigh, C., Haller, P., Namari, S., Makradi, A., Belouettar, S., Bouhala, L., Deneufbourg, F., & Guan, Z. (2020). Review of State of the Art of Dowel Laminated Timber Members and Densified Wood Materials as Sustainable Engineered Wood Products for Construction and Building Applications. *Developments in the Built Environment*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2019.100004>
- Sotomayor Castellanos, J. R. (2016). Características higroscópicas de la madera de *Pinus pseudostrobus*. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 12(2), 4-33. <https://bit.ly/3vvFv4t>
- Sotomayor Castellanos, J. R. (2017). Densificado higro-termo-mecánico de madera de *Gyrocarpus americanus*. Pruebas de higroscopía. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 13(2), 4-21. <https://bit.ly/3vik8mR>
- Sotomayor Castellanos, J. R., & Ramírez Pérez, M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-29. <https://bit.ly/3ERYzNb>
- Sotomayor Castellanos, J. R., Ávila Calderón, L. E. A., & Fuentes Salinas, M. (2020a). Características higroscópicas de las maderas *Spathodea campanulata*, *Fraxinus americana* y *Albizia plurijuga* impregnadas con boro. *Ciencia UNEMI*, 14(35), 10-25. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss35.2021pp10-25p>
- Sotomayor Castellanos, J. R., Tinoco Campos, L. M., & Raya González, D. (2020b). Características higroscópicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum*, *Cupressus lindleyi* y *Cedrela odorata*. *Ciencia Nicolaita*, 79(1), 75-93. <https://doi.org/10.35830/cn.vi79.459>

- Tamarit Urias, J. C. & López Torres, J. L. (2007). Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México. Puebla: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://bit.ly/3viEfRY>
- Tamarit Urias, J. C., & Fuentes Salinas, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 9(2): 155-164. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142008>
- Tippner, J., Hrivnák, J. & Kloiber, M. (2016). Experimental Evaluation of Mechanical Properties of Softwood using Acoustic Methods. BioResources, 11(1), 503-518. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.503-518>
- Tiryaki, S., Bardak, S., Aydın, A., & Nemli, G. (2016). Analysis of volumetric swelling and shrinkage of heat treated woods: experimental and artificial neural network modeling approach. Maderas. Ciencia y tecnología, 18(3), 477-492. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000043>
- Torelli, N., & Gorišek, Ž. (1995a). Mexican tropical hardwoods. Dimensional stability. Holz als Roh- und Werkstoff, 53, 277-280. <https://doi.org/10.1007/s001070050090>
- Torelli, N., & Gorišek, Ž. (1995b). Mexican tropical hardwoods. Stepwise shrinkage and transverse shrinkage anisotropy. Holz als Roh- und Werkstoff, 53, 155-157. <https://doi.org/10.1007/BF02716416>
- Wang, X., Sauter, U. H., & Ross, R. J. (Editors). (2019). Proceedings of the 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. General Technical Report FPL-GTR-272. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 724 p. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/58690>
- Yao, X., Shen, C., & Xu, S. (2019). The effects of coupling/grafting modification of wood fiber on the dimensional stability, mechanical and thermal properties of high density polyethylene/wood fiber composites. Materials Research Express, 6(11), 115328. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab4a63>

Anexo. Densidad básica, coeficiente de higróexpansión, coeficiente de higrócontracción y sus relaciones de anisotropía de 43 especies mexicanas adaptados de Torelli y Gorišek (1995a y 1995b).

Especies	ρ_0 (kg m ⁻³)	Higróexpansión			Higrócontracción		
		α_R	α_T	α_T/α_R	β_R	β_T	β_T/β_R
		(%/%)		-	(%/%)		-
<i>Alchornea latifolia</i>	402	0,13	0,32	2,5	0,09	0,27	3,2
<i>Ampelocera hottlei</i>	690	0,25	0,47	1,9	0,23	0,39	1,7
<i>Aspidosperma megalocarpum</i>	798	0,27	0,46	1,7	0,25	0,47	1,9
<i>Blepharidium mexicanum</i>	626	0,18	0,41	2,3	0,15	0,42	2,8
<i>Brosimum allicastrum</i>	865	0,27	0,39	1,4	0,31	0,47	1,5
<i>Bursera simaruba</i>	452	0,12	0,21	1,8	0,14	0,26	1,8
<i>Calophyllum brasiliense</i>	575	0,20	0,31	1,6	0,19	0,33	1,8
<i>Cordia alliodora</i>	552	0,18	0,39	2,2	0,16	0,34	2,2
<i>Cymbopetalum penduliflorum</i>	395	0,16	0,37	2,3	0,09	0,26	2,7
<i>Dendropanax arboreus</i>	421	0,17	0,28	1,6	0,13	0,25	1,9
<i>Dialium guianense</i>	917	0,25	0,46	1,8	0,28	0,54	1,9

<i>Dipholis stevensonii</i>	969	0,35	0,47	1,3	0,30	0,58	1,9
<i>Guarea glabra</i>	587	0,17	0,35	2,1	0,17	0,36	2,1
<i>Guatteria anomala</i>	432	0,16	0,27	1,7	0,12	0,27	2,2
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	837	0,24	0,42	1,8	0,26	0,49	1,9
<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	729	0,20	0,40	2,0	0,22	0,43	1,9
<i>Manilkara zapota</i>	926	0,26	0,42	1,6	0,32	0,51	1,6
<i>Misanteca pekii</i>	653	0,23	0,35	1,5	0,22	0,37	1,7
<i>Nectandra sp.</i>	508	0,21	0,34	1,6	0,16	0,30	1,9
<i>Pachica acuática</i>	526	0,15	0,36	2,4	0,16	0,32	2,0
<i>Pithecellobium arboreum</i>	700	0,18	0,35	1,9	0,21	0,42	2,0
<i>Pithecellobium leucocalix</i>	505	0,15	0,28	1,9	0,15	0,31	2,1
<i>Platymiscium yucatanum</i>	727	0,20	0,34	1,7	0,24	0,41	1,7
<i>Poulsenia armata</i>	445	0,16	0,29	1,8	0,13	0,27	2,1
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	444	0,25	0,25	1,0	0,13	0,27	2,1
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	723	0,18	0,45	2,5	0,17	0,48	2,8
<i>Pterocarpus hayesii</i>	508	0,19	0,37	1,9	0,13	0,33	2,7
<i>Quercus anglohondurensis</i>	857	0,31	0,52	1,7	0,19	0,58	3,0
<i>Quercus skinneri</i>	1060	0,33	0,55	1,7	0,32	0,64	2,0
<i>Schizolobium parahibum</i>	317	0,09	0,24	2,7	0,07	0,21	2,9
<i>Sebastiana longicuspis</i>	607	0,15	0,31	2,1	0,17	0,37	2,2
<i>Sickingia salvadorensis</i>	769	0,22	0,45	2,0	0,20	0,50	2,5
<i>Simarouba glauca</i>	439	0,14	0,27	1,9	0,12	0,28	2,4
<i>Spondias mombin</i>	491	0,16	0,28	1,8	0,15	0,29	1,9
<i>Swartzia cubensis</i>	933	0,29	0,44	1,5	0,33	0,51	1,5
<i>Sweetia panamensis</i>	864	0,25	0,40	1,6	0,27	0,51	1,9
<i>Swietenia macrophylla</i>	458	0,16	0,26	1,6	0,14	0,27	1,9
<i>Talauma mexicana</i>	551	0,18	0,32	1,8	0,17	0,33	2,0
<i>Terminalia amazonia</i>	663	0,20	0,33	1,7	0,21	0,38	1,8
<i>Vatairea lundelli</i>	780	0,22	0,42	1,9	0,23	0,47	2,0
<i>Vitex gaumeri</i>	660	0,19	0,37	1,9	0,19	0,40	2,1
<i>Vochysia hondurensis</i>	547	0,17	0,43	2,5	0,12	0,37	3,2
<i>Zuelania guidonia</i>	698	0,17	0,42	2,5	0,15	0,48	3,3

ρ_0 = Densidad básica; α = Coeficiente de higoexpansión; β = Coeficiente de higocontracción; R = Radial; T = Tangencial.

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Reacciones de trifluorometilación catalizadas por metales de transición

Transition Metal Catalyzed Trifluoromethylation Reactions

Eduardo Valente Gómez Benítez ^{1*}

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario, Chihuahua, México 31125

*Correspondencia: ebenitez@uach.mx (Eduardo Valente Gómez Benítez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.838>

Recibido: 13 de agosto de 2021; Aceptado: 24 de enero de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

Las reacciones de trifluorometilación tienen gran importancia en la industria farmacéutica por las propiedades que confieren a los compuestos que presentan tal grupo funcional. Este tipo de reacciones están presentes en la elaboración de sintones o unidades estructurales claves para la producción de Aprepitant, Fluoxetina, Leflunomida y Dutasterida, teniendo gran impacto en la industria farmacéutica. Se resumen los diferentes reactivos empleados en la trifluorometilación remarcando la relevancia que tienen las reacciones catalizadas por metales de transición en la obtención de procesos más baratos y limpios.

Palabras clave: trifluorometilación, metales de transición, catalizador.

Abstract

The trifluoromethylation reactions have great importance in the pharmaceutical industry due to the properties they confer to the compounds having this functional group. These kind of reactions are present in the elaboration of synthons as the key structural units to produce Aprepitant, Fluoxetine, Leflunomide and Dutasteride, having great impact on the pharmaceutical industry. The text summarizes the different reagents used in trifluoromethylation, highlighting the relevance of transition metal catalyzed reactions in obtaining cheaper and cleaner processes.

Keywords: trifluoromethylation, transition metals, catalyst.

Importancia de las reacciones de trifluorometilación

La catálisis consiste en acelerar las reacciones químicas sin que el elemento que ayuda a que la velocidad aumente se consuma en esta. Este elemento se llama catalizador y se considera primordial para que se logre el proceso y existen dos tipos de ellos. El primero lleva a cabo su función en la misma fase que la reacción y es conocido como catalizador homogéneo. Por ejemplo, si el catalizador se disuelve en la mezcla en la cual se lleva a cabo la reacción será homogéneo. El segundo lleva a cabo su función en una fase distinta y es conocido como catalizador heterogéneo. Un ejemplo de estos es cuando el catalizador está soportado en sílica y permanece en estado sólido, en tanto que los reactivos se encuentran en fase líquida o incluso gaseosa. Los siguientes apartados tratan de explicar la importancia de las reacciones de trifluorometilación catalizadas por metales de transición.

Una reacción de trifluorometilación consiste en tomar el fragmento $-\text{CF}_3$ de un reactivo orgánico y transferirlo de la manera más eficiente a un sustrato orgánico específico o bien, fluorar un grupo triclorometilo. El interés en este tipo de reacciones ha ido en aumento debido al valor agregado que tienen muchos de los compuestos que se generan a partir de ellas en pasos intermedios o finales de una síntesis total. Productos como el Aprepitant (antiemético), la Fluoxetina (antidepresivo), la Leflunomida (inmunosupresor en tratamiento de artritis) y la Dutasterida (tratamiento de la hiperplasia benigna de próstata) son solo algunos ejemplos de los compuestos que tienen en su estructura el grupo trifluorometilo, como se muestra en la Figura 1, y que han atraído la mirada de los grupos académicos y de Investigación y Desarrollo en la industria farmacéutica hacia nuevas rutas de síntesis química.

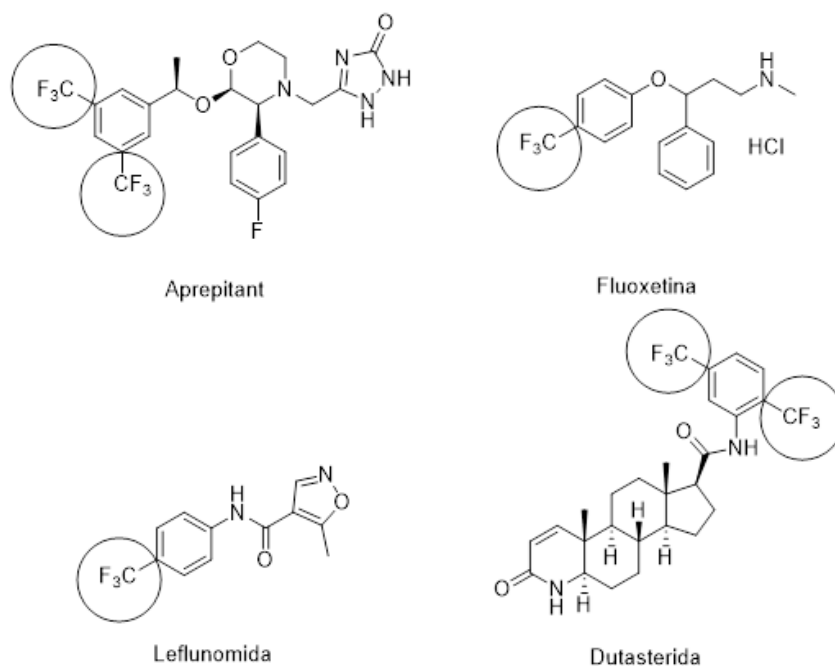


Figura 1. Productos farmacéuticos que contienen el grupo trifluorometilo en su estructura.
Figure 1. Pharmaceutical products that contain the trifluoromethyl group in their structure.

Los grupos trifluorometilo cambian la acidez, los momentos dipolo, el comportamiento en el transporte biológico, la lipofilidad, así como la estabilidad química y metabólica de los compuestos. Por ello la unión de estos grupos a anillos aromáticos y heterocíclicos ha ganado espacio en el campo farmacéutico.

No es de sorprender que el cambio de un metilo por un trifluorometilo genere productos químicos completamente distintos. En una cascada de reacciones químicas este efecto puede ser magnificado, así que un simple átomo de flúor puede cambiar las propiedades biológicas de un producto natural. En general, cerca de un tercio de los medicamentos con mejor desempeño contienen flúor. Por ejemplo, la Fluoxetina o Prozac ha sido prescrita a más de 40 millones de pacientes a nivel mundial y ha tenido más de 22,000 millones de dólares en ventas.

Métodos convencionales de síntesis

Los métodos tradicionales de síntesis incluyen el uso de compuestos poco amigables al medio ambiente o de alto costo, como lo son el trifluoruro de antimonio (SbF_3), el ácido fluorhídrico (HF), el tetrafluoruro de azufre (SF_4), el difluoruro de xenón (XeF_2), el bromotrifluorometano (CF_3Br) y el diiododifluorometano (CF_2I_2) como se muestra en la **Figura 2**.

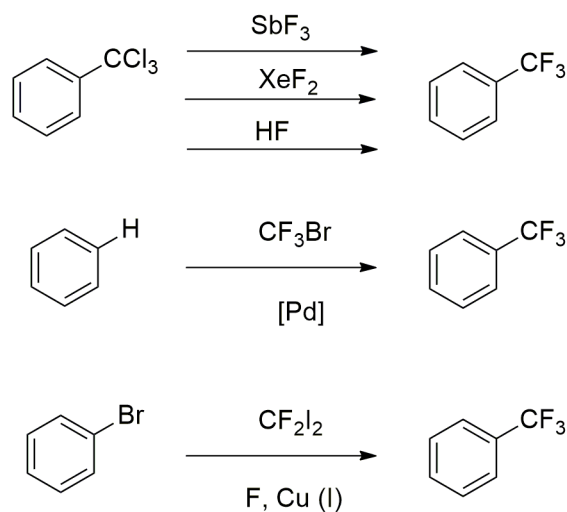


Figura 2. Reacciones químicas para obtener α,α,α -trifluorotolueno.
Figure 2. Chemical reactions to obtain α,α,α -trifluorotolueno.

Nuevas fuentes del grupo trifluorometilo - CF_3

Tratando de evitar el uso de fuentes tóxicas se han empleado con éxito en reacciones de trifluorometilación reactivos tales como el reactivo de Umemoto, el reactivo de Ruppert o de Ruppert-Prakash, el iodotrifluorometano y el trifluoroacetato de sodio.



Figura 3. Reactivos empleados como fuente de $-CF_3$. a) Reactivo de Umemoto, b) Reactivo de Ruppert, c) Iodotrifluorometano y d) Trifluoroacetato de sodio.

Figure 3. Reagents employed as source of $-CF_3$. A) Umemoto's reagent, b) Ruppert's reagent, c) Iodotrifluoromethane and d) Sodium trifluoroacetate.

Estos reactivos han mostrado tener ventajas en todas las reacciones en que se han empleado, principalmente en términos de limpieza, es decir, menor cantidad de subproductos no deseados en la reacción. Sin embargo, el costo del reactivo de Umemoto asciende a 753,564 pesos/mol, el de Ruppert a 50,283 pesos/mol, el iodotrifluorometano a 19,982 pesos/mol, mientras que el costo del trifluoroacetato de sodio es de 2,079 pesos/mol (Figura 3). Este factor limita su aplicación, especialmente en procesos industriales a gran escala.

Catálisis mediada por metales de transición

Con el fin de hacer más eficiente el acoplamiento entre el grupo $-CF_3$ y los sustratos orgánicos se hicieron investigaciones para emplear catalizadores metálicos, los cuales se caracterizan por aumentar el rendimiento y disminuir el tiempo de reacción. Los metales de transición tienen la cualidad de transferir el grupo $-CF_3$ y unirlo a su esfera de coordinación para luego unirlo al sustrato específico, el cual suele ser un arilo proveniente de un halobenceno.

Desde la patente de 1968 de alquilación de iodobencenos mediada por cobre a partir de ácidos perfluorocarboxílicos presentada por McLoughlin *et al*, se han realizado un buen número de procedimientos en el área, empleando metales de transición y trifluoroacetato de sodio, el cual es la fuente más barata de $-CF_3$ si se realiza una descarboxilación.

Entre ellos sobresale el reportado por Kiyohide *et al*. (1981) en el cual se emplea una sal de Cu(I) en presencia de N-Metilpirrolidona como disolvente y iodobenceno como sustrato con un exceso de trifluoroacetato de sodio. Esta mezcla de reacción se calienta a 140°C para que se lleve a cabo la descarboxilación y es indispensable emplear reactivos y disolventes anhidros debido a que puede generarse la reducción del iodobenceno a benceno, disminuyendo notablemente el rendimiento de la reacción.

Para 2005 existía ya una metodología establecida por Chang y Cai, para la trifluorometilación de compuestos carbonílicos mediada por Cu(I) en presencia de un exceso de cuatro veces el trifluoroacetato de sodio (con una estequiometría 1:1 Cu / carbonilo) llevada a cabo en

dimetilformamida como disolvente. La temperatura empleada fue de 170°C, sin embargo, a partir de los 140°C empieza a desprenderse dióxido de carbono del medio de reacción. La trifluorometilación nucleofílica del compuesto carbonílico se obtiene en buenos rendimientos después de un tratamiento ácido de 2 h (**Figura 4**).

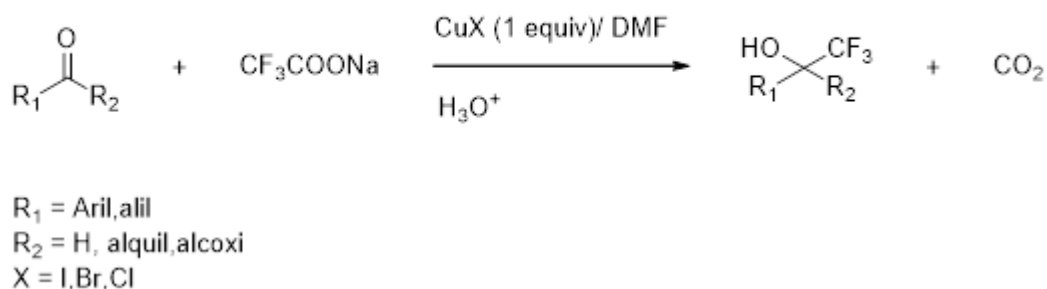


Figura 4. Reacción de trifluorometilación del grupo carbonilo mediante la descarboxilación de trifluoroacetatos.

Figure 4. Trifluoromethylation reaction of the carbonyl group through the decarboxylation of trifluoroacetates.

En años pasados, diversos grupos de investigación han realizado algunas revisiones que han sido publicadas en revistas especializadas de química orgánica y organometálica acerca de trifluorometilaciones. Siendo el de Dubinina uno de los más relevantes. Su trabajo referente a la síntesis de compuestos de Ni y Cu con diferentes ligandos ha ayudado a elucidar parte del mecanismo de la reacción. Por ejemplo, su grupo reportó la síntesis del primer complejo de Cu(I) con un grupo trifluorometilo con un ligando tipo carbeno N-heterocíclico completamente caracterizado como se muestra en la **Figura 5**. Para ello parte de una materia prima de terbutóxido de Cu (I) en presencia del reactivo de Ruppert, obteniéndose un compuesto sililado y otro sin sililar en una proporción 4:1.

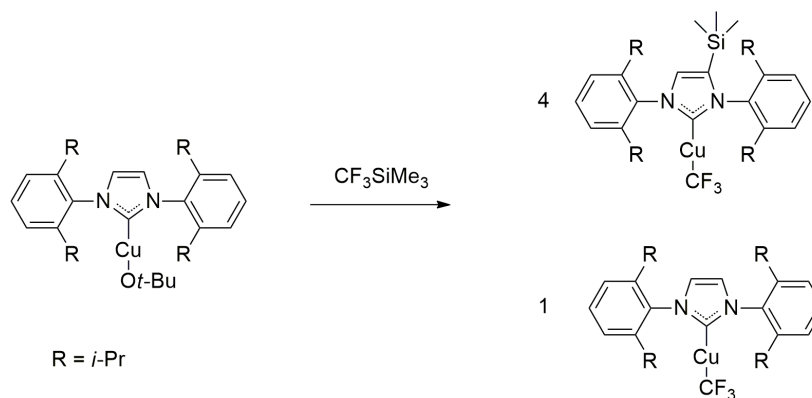


Figura 5. Primer complejo de Cu(I) con un grupo trifluorometilo con un ligando tipo carbeno N-heterocíclico reportado por Dubinina *et al.* (2008).

Figure 5. First Cu(I) complex with a trifluoromethyl group with a N-Heterocyclic carbene as ligand reported by Dubinina *et al.* (2008).

En el año 2013 le fue otorgada una patente al grupo de Cotté, la cual se basa en el uso de compuestos de cobre para la trifluorometilación de sustratos aromáticos y heterocíclicos mediante la descarboxilación de trifluoroacetatos de metales alcalinos, de amonio y de metilo. Para ello empleó CuI al 20% y CsF como activador a 160°C en DMF como disolvente. Los ligandos empleados incluyen diferentes bipyridinas funcionalizadas. (**Figura 6**).

Además de los compuestos que proveen el grupo $-\text{CF}_3$, también hay que señalar que el sustrato orgánico es importante. Los sustratos aromáticos orgánicos por lo general son más costosos cuando se tiene un iodoareno que cuando se tiene un cloroareno ($\text{C-I} > \text{C-Br} > \text{C-Cl}$), sin embargo, activar el enlace C-Cl resulta más difícil en términos de energía. Por lo regular, el cobre no es un buen activador de enlaces C-Cl y se requieren metales más caros como paladio. Diferentes ejemplos de las reacciones se muestran en la **Tabla 1**.

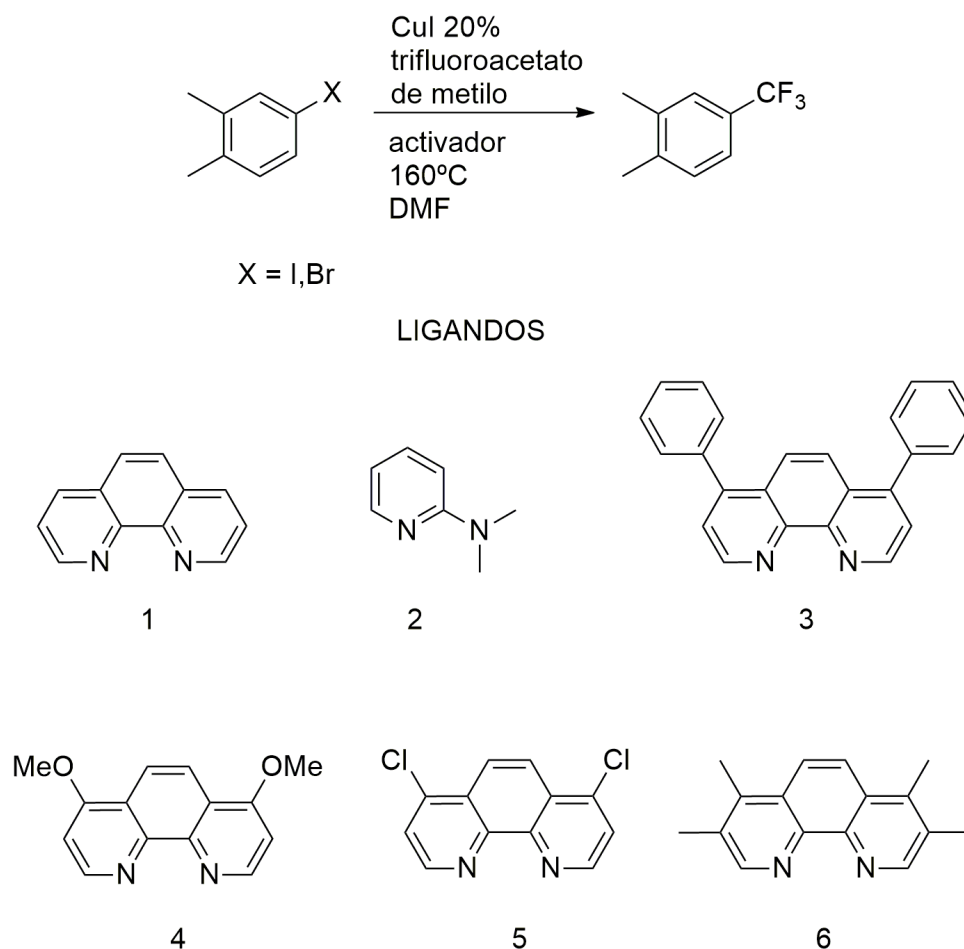


Figura 6. Reacción de trifluorometilación patentada por Cotté *et al.*, 2013.

Figure 6. Trifluoromethylation reaction patented by Cotté *et al.*, 2013.

Tabla 1. Diferentes ligantes empleados en la patente de Cotté y su influencia en el rendimiento de reacción.
Table 1. Different ligands used in Beller's patent and their influence in the yield of reaction

Entrada	Halogenuro de arilo	Activador	Ligando	Conversión [%]	Rendimiento [%]
1	Ar-I	CsF (1.2)	1 (0.2)	100	69
2	Ar-I	CsF (1.2)	2 (0.5)	86	70
3	Ar-Br	CsF (1.2)	1 (0.2)	75	35
4	Ar-Br	CsCl (1.2)	1 (0.2)	97	56
5	Ar-Br	CsTFA (1.2)	1 (0.2)	95	57
6	Ar-Br	CsF (1.2)	3 (0.2)	98	35
7	Ar-Br	CsF (1.2)	4 (0.2)	54	27
8	Ar-Br	CsF (1.2)	5 (0.2)	65	11
9	Ar-Br	CsF (1.2)	6 (0.2)	75	3

En años más recientes Bazzyar y Hosseini-Sarvari, diseñaron un sistema fotocatalizador con un tubo LED azul de 11 Watts empleando nanopartículas Au@ZnO Core-Shell (1.89% en peso), para la trifluorometilación sencilla de una amplia gama de sustratos con trifluoroacetato de sodio. En 2020 Johansen y Linhardt reportaron la trifluorometilación de yoduros heteroaromáticos con trifluoroacetato de potasio y Cu₂O al 20% en dimetilformamida por 24 h a 160°C. El artículo incluye la obtención de la molécula de Fluoxetina como paso final. Además, en ese mismo año, Hu *et al* reportaron la trifluorometilación con reactivo de Ruppert y un complejo de Niquel como catalizador para la activación de sustratos derivados de fenol. Esto es relevante debido a que los derivados de fenol son muy económicos. Para ello emplearon un oxidante muy débil (CCl₃CN) que induce la eliminación reductiva de Ar-CF₃ del catalizador.

Conclusiones y perspectivas

Hasta ahora los catalizadores de trifluorometilación han demostrado grandes ventajas frente a los métodos tradicionales de síntesis, que empleaban reactivos poco amigables con el ambiente. El empleo de metales de transición más baratos ha hecho que la investigación siga en torno a la síntesis de nuevas metodologías con catalizadores de cobre en vez de otros más caros como el paladio. La búsqueda de nuevos catalizadores de trifluorometilación de sustratos aromáticos continuará toda vez que se necesite activar sustratos más baratos para la industria, que su actividad sea mayor, que se necesite trabajar con temperaturas de reacción bajas, que la metodología sea escalable y que los residuos que se generen sean menores. La trifluorometilación seguirá siendo útil por mucho tiempo debido a que su empleo para funcionalizar moléculas con potencial actividad farmacológica ha marcado diferencia en la industria farmacéutica los últimos años.

Agradecimiento

El autor agradece al PRODEP Of-18-8538 por el apoyo otorgado al proyecto “Síntesis y evaluación catalítica de compuestos inorgánicos en reacciones de trifluorometilación”.

Conflicto de interés

El autor declara que no tiene conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este reporte.

Referencias

- Bazyar, Z. & Hosseini-Sarvari, M. (2019). Au@ZnO Core-shell: Scalable photocatalytic trifluoromethylation using CF₃COONa as an inexpensive reagent under visible light irradiation. *Organic Process Research & Development*, 23, 2345-2353. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.9b00225>
- Chang, Y. & Cai, C. (2005). Trifluoromethylation of carbonyl compounds with sodium trifluoroacetate. *Journal of Fluorine Chemistry*, 126, 937-940. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2005.04.012>
- Cotté, A., Gotta, M., Beller, M., Schareina, T., Zapf, A., Wu, X-F. (2013). Copper-catalysed process for the production of substituted or unsubstituted trifluoromethylated aryl and heteroaryl compounds. US Patent. No. 8,530,666 B2. <https://patents.google.com/patent/US8530666B2/en>
- Dubinina, G., Furutachi, H., & Vicic, D.A. (2008). Active trifluoromethylating agents from well-defined Copper(I)-CF₃ complexes. *Journal of the American Chemical Society*, 130, 8600-8601. <https://doi.org/10.1021/ja802946s>
- Hu, W.-Q., Pan, S., Xu, X.-H., Vicic, D.A., & Qing, F.-L. (2020). Nickel-mediated trifluoromethylation of phenol derivatives by aryl C-O bond activation. *Angewandte Chemie*, 59, 16076-16082. <https://doi.org/10.1002/anie.202004116>
- Johansen, M.B. & Linhardt, A.T. (2020). Copper-catalyzed and additive free decarboxylative trifluoromethylation of aromatic and heteroaromatic iodides. *Organic & Biomolecular Chemistry* 18, 1415-1225. <https://doi.org/10.1039/C9OB02635E>
- Kiyohide, M., Etsuko, T., Midori, A., Kiyosi, K. (1981). A convenient trifluoromethylation of aromatic halides with sodium trifluoroacetate. *Chemistry Letters*, 10, 1719-1720. <https://doi.org/10.1246/cl.1981.1719>
- McLoughlin, V.C.R. & Thrower, J. (1968). Manufacture of organic compounds containing fluorine. US Patent No. 3,408,411A. <https://patents.google.com/patent/US3408411A/en>

Lecturas complementarias

- Alonso, C., Martínez de Marigorta, E., Rubiales, G. & Palacios, F. (2015). Carbon trifluoromethylation reactions of hydrocarbon derivatives and heteroarenes. *Chemical Reviews*, 115, 1847-1935. <https://doi.org/10.1021/cr500368h>

- Ashton, T.D., Devine, S.M., Möhrle, J.J., Laleu, B., Burrows, J.N., Charman, S.A., Creek, D.J. & Sleebs, B.E. (2019). The development process for discovery and clinical advancement of modern antimalarials. *Journal of Medicinal Chemistry*, 62, 10526–10562. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b00761>
- Ball, N.D., Kampf, J.W. & Sanford, M.S. (2010). Aryl-CF₃ Bond-forming reductive elimination from palladium (IV). *Journal of the American Chemical Society*, 132, 2878–2879. <https://doi.org/10.1021/ja100955x>
- McReynolds, K.A., Lewis, R.S., Ackerman, L.K.G., Dubinina, G.G., Brennessel, W.W. & Vicić, D.A. (2010). Decarboxylative trifluoromethylation of aryl halides using well-defined copper-trifluoroacetate and -chlorodifluoroacetate precursors. *Journal of Fluorine Chemistry*, 131, 1108–1112. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2010.04.005>
- Nakamura, Y., Fujio, M., Murase, T., Itoh, Y., Serizawa, H., Aikawa, K. & Mikami, K. (2013). Cu-catalyzed trifluoromethylation of aryl iodides with trifluoromethylzinc reagent prepared in situ from trifluoromethyl iodide. *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 9, 2404–2409. <https://doi.org/10.3762/bjoc.9.277>
- Schiesser, S., Chepliac, H., Kollback, J., Quennesson, T., Czechtizky, W. & Cox, R.J. (2020). N-trifluoromethyl amines and azoles: An underexplored functional group in the Medicinal Chemist's Toolbox. *Journal of Medicinal Chemistry*, 63, 13076–13089. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.0c01457>
- Tomashenko, O.A. & Grushin, V.V. (2011). Aromatic trifluoromethylation with metal complexes. *Chemical Reviews*, 111, 4475–4521. <https://doi.org/10.1021/cr1004293>
- Wang, J., Sánchez-Rosello, M., Aceña, J.L., del Pozo, C., Sorochinsky, A.E., Fustero, S., Soloshonok, V.A., & Liu, H. (2014). Fluorine in pharmaceutical industry: Fluorine-containing drugs introduced to the market in the last decade (2001–2011). *Chemical Reviews* 114, 2432–2506. <https://doi.org/10.1021/cr4002879>
- Wenthur, C.J., Bennett, M.R., & Lindsley, C.W. (2014). Classics in chemical neuroscience: Fluoxetine (Prozac). *ACS Chemical Neuroscience* 5(1), 14–23. <https://doi.org/10.1021/cn400186j>
- Zhang, C. (2014). Recent advances in trifluoromethylation of organic compounds using Umemoto's reagents. *Organic & Biomolecular Chemistry* 12, 6580–6589. <https://doi.org/10.1039/C4OB00671B>

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Pinole, un alimento tradicional mexicano con valor nutricional

Pinole, a traditional Mexican food with nutritional value

Miguel Ángel Sánchez Madrigal^{1*}, Armando Quintero Ramos¹, Jazmín L. Tobías Espinoza², Carmen O. Meléndez Pizarro¹

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario s/n, Campus Universitario # 2, Chihuahua, Chihuahua, C.P. 31125, México.

²Facultad de Enfermería y Nutriología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario s/n, Campus Universidad # 2, Chihuahua, Chihuahua, C.P. 31125, México.

*Correspondencia: msanchezm@uach.mx (Miguel Ángel Sánchez Madrigal)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.897>

Recibido: 15 de diciembre de 2022; Aceptado: 28 de enero de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El pinole es un alimento de origen prehispánico que se obtiene principalmente a partir del tostado de los granos enteros de maíz y su posterior molienda. Este polvo de maíz tostado puede ser adicionado con diferentes ingredientes que le confieren distintas características de sabor y aroma, así como propiedades nutricionales, fisicoquímicas, entre otras. El pinole, el cual se consume comúnmente como bebida ya sea en frío o caliente como atole, formó parte importante del desarrollo de diferentes culturas mesoamericanas. Hoy en día es conocido como un alimento tradicional mexicano que se ha adaptado a las diferentes necesidades y costumbres de diversas regiones de México. El consumo del pinole ha ido disminuyendo por su relación con la temporalidad y alto contenido energético, sin embargo, es importante resaltar que este producto presenta contenidos importantes de fibra dietética y diferentes compuestos bioactivos. Sin considerar que, la adición de nuevos ingredientes altos en proteínas o antioxidantes en la reformulación de este producto, generan alternativas novedosas y atractivas de consumo para la población. El presente reporte tiene como objetivo brindar información del pinole, desde sus orígenes, manera de preparación e ingredientes, características y sus diferentes propiedades, y los efectos del procesamiento para su obtención (tostado del maíz), que son importantes para conocer más sobre este alimento tradicional mexicano.

Palabras clave: pinole, maíz, tostado, bebida tradicional, dulce mexicano.

Abstract

Pinole is a pre-Hispanic food that is obtained from the toasting of whole corn kernels and their subsequent milling. This toasted corn powder can be added with different ingredients that give it different flavor and aroma characteristics, as well as nutritional and physicochemical properties, among others. Pinole, is commonly consumed as a cold or hot beverage (atole), and was an important part of the development of different Mesoamerican cultures. Today it is known as a traditional Mexican food that has been adapted to the different needs and customs of diverse regions of Mexico. The consumption of pinole has been decreasing due to its relationship with temporality and high energy content. However, it is important to note that this product has significant content of dietary fiber and different bioactive compounds. Also, the addition of new ingredients high in proteins or antioxidants in the reformulation of this product, generate novel and attractive alternatives for consumption. The objective of this report is to provide information of pinole, from its origin, way to preparation and ingredients, characteristics and different properties, and the effects of the processing (corn toasting), which is important to learn more about this traditional Mexican food.

Keywords: Pinole, corn, toasting, traditional beverage, Mexican sweet.

Introducción

México y gran parte de Latinoamérica cuentan con una gran diversidad de platillos, los cuales por sus diversas características en cuanto al sabor y aceptabilidad de los consumidores son conocidos a nivel mundial. Muchos de estos alimentos fueron desarrollados y preparados por nuestras culturas prehispánicas, haciendo uso de los ingredientes más comunes de la región en la que se encontraban o los cuales eran base de su cultura.

Uno de los principales cultivos que fue parte del desarrollo de diferentes culturas es el maíz. Se dice que México es el centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), migrando a través de diferentes rutas hacia el norte, centro y sur del país incrementándose su cultivo y domesticación (Caballero-García *et al.*, 2019). El maíz es uno de los cereales de mayor importancia producidos alrededor del mundo, y su consumo representa una buena fuente de proteínas, energía y otros nutrientes (Reyes-Moreno *et al.* 2012).

Dentro de los productos más conocidos y producidos a base de maíz se encuentra la tortilla, el cual es un alimento básico de la alimentación diaria para una buena parte de la población mexicana (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016). Sin embargo, a partir del maíz también se puede obtener una gran variedad de productos; como cereales de desayuno, tostadas y totopos, diferentes tipos de botanas con diversidad de sabores, productos típicos mexicanos como tamales, tlacoyos, gorditas (Cortés-Gómez *et al.*, 2005), entre muchos otros que varían sus características dependiendo la región de México donde se preparen.

Muchos de los productos típicos que actualmente se consumen fueron originados por diferentes grupos étnicos de distintas regiones del país; los cuales, a través de diferentes técnicas o procesos como la fermentación, el secado al sol, cocción, trituration o molienda, tostado, remojo o

nixtamalización, entre otros, desarrollaron una diversidad de productos a base de maíz (Oboh *et al.*, 2010).

El tostado ha sido utilizado para la obtención de diversos productos; el tostado del maíz dio origen a la elaboración del pinole que es producido y consumido por algunos sectores de la población mexicana, principalmente por las comunidades rurales, representando una fuente alimenticia complementaria en su dieta. El “pinole”, cuenta con diversas características y propiedades, las cuales dependen de los ingredientes con los que sea mezclado el maíz tostado; el cual es el ingrediente principal.

Orígenes del pinole

El pinole es un alimento mexicano, y su nombre proviene de la palabra náhuatl *pinolli*, que significa harina de maíz tostado y molido (Arcos, 2021). De acuerdo con la historia, el pinole es elaborado desde épocas prehispánicas, utilizaban el comal para su tostado y el metate para su molienda (Figura 1), siendo un alimento importante para la nutrición de diferentes culturas mesoamericanas (Animal Gourmet, 2021).



Figura 1. Representación de comal y metate prehispánico, que utilizaban para preparar diferentes alimentos, entre ellos el tostado del maíz. (Referencia: De Orellana, 2012).

Figure 1. Representation of a pre-Hispanic comal y metate, which they used to prepare different foods, including toasting of corn. (Reference: De Orellana, 2012).

Su origen puede partir desde que los indígenas del antiguo México y Latinoamérica llevaban maíz molido durante sus largos viajes, al que solo agregaban agua y aunque pudo ser una bebida de poco sabor, lo usaban como bebida energética (El Universal, 2021). El tostado fue uno de los procesos usado por los Aztecas para alargar el almacenamiento del maíz y tenerlo como un alimento de emergencia por tiempos de hasta 4 o 5 años, siendo también una de las principales fuentes de energía de dicha cultura (Littaye, 2015).

Está documentado que, durante la conquista de México, los indígenas compartieron el pinole con los españoles, quienes trajeron la caña de azúcar y al desarrollarse en tierras mesoamericanas se obtuvieron productos como el piloncillo, el cual se fue incorporando a la bebida de pinole ofreciéndole un mejor sabor (Diario de Yucatán, 2013). Posteriormente, se fue modificando la base de este producto, incorporando el azúcar, y otros ingredientes para mejorar su sabor, aroma y

aceptabilidad, variando su receta de acuerdo a la región de desarrollo de diferentes culturas. Por lo tanto, el pinole puede ser preparado de diversas maneras, en cuanto a la adición o mezclado con diferentes ingredientes, que realzan y caracterizan su sabor. De esta manera el pinole se convirtió en uno de los alimentos preferidos y parte de la dieta básica de diferentes grupos étnicos, como los Tarahumaras, Nahuas, Tepehuanos y Lacandones (López, 1989).

Este alimento ha sido asociado con el buen rendimiento atlético de los Tarahumaras (corredores de largas distancias), al ser incluido en su dieta básica (Littaye, 2015). Adicionalmente, se puede mencionar que el sabor característico del pinole, llevó a su uso para el desarrollo de diversos productos, bebidas, postres, galletas, entre otros (Figura 2).



Figura 2. Algunos productos que pueden ser preparados con el pinole.

Figure 2. Some products that can be prepared with pinole.

Preparación del pinole

El pinole se obtiene a partir del tostado de granos enteros de maíz, los cuales se muelen para obtener una harina de maíz tostado de acuerdo a su significado y se combina o mezcla principalmente con azúcar o piloncillo, cacao, canela y anís (Lozano-Aguilar *et al.*, 2008). Como producto final, puede ser consumido como bebida (fría o caliente); como bebida caliente se puede obtener el conocido atole (del náhuatl, *atolli* que significa aguado), que es una bebida cremosa o viscosa (Figura 3) y de libre fluidez (Méndez-Albores *et al.*, 2004). Se obtiene añadiendo agua o leche, según el gusto, y también se pueden preparar galletas o ser consumido directamente como un polvo saborizado de maíz tostado (Littaye, 2015).



Figura 3. Polvo de pinole y bebida caliente o atole de pinole.
Figure 3. Pinole powder and hot beverage or atole of pinole.

Como se mencionó, uno de los primeros pasos para su preparación es el tostado del maíz; las altas temperaturas a la que es sometido provocan diferentes cambios en el maíz, como sensoriales (aroma y sabor), nutricionales, fisicoquímicos, entre muchos otros, los cuales le brindan al pinole las características de aceptabilidad y calidad por las que es conocido.

El pinole puede ser preparado de diversas maneras ya sea añadiendo diferentes granos, principalmente leguminosas para enriquecer su contenido nutricional, esto con la finalidad de obtener un pinole de mayor calidad y cantidad en proteínas a bajo costo. El garbanzo, haba, frijol, lenteja, amaranto, avena, chía e incluso el nopal han sido parte de los ingredientes que, por las diferentes propiedades de cada uno, así como de su disponibilidad se han adicionado para obtener un pinole más nutritivo (MXCity, 2018).

Diversos ingredientes han sido utilizados en la elaboración del pinole, y estos han ido cambiando desde la conquista de México, así como por las regiones donde se elabora. Por ejemplo, en Guanajuato se prepara adicionando garbanzo (*Cicer arietinum* L.), en Zacatecas añaden haba (*Vicia faba* L.), arroz (*Oriza sativa* L.) y semillas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), o en algunas regiones pertenecientes al Altiplano mexicano suelen usar maíz pinto y añadir amaranto (López, 1989).

En el estado de Durango se prepara un pinole que es conocido como “Pinole de los siete granos”, el cual se elabora con maíz, haba (*Vicia faba* L.), lenteja (*Lens culinaris*), arroz (*Oriza sativa* L.), amaranto (*Amaranthus* spp.), granola y trigo (*Triticum* spp.) (Sánchez-Herrera et al., 2014).

En otras regiones del territorio mexicano que van desde el norte, mencionando estados como Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua; estados del centro como Colima, Estado de México; y el sur, en estados como Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Yucatán, Quintana Roo, son lugares donde se desarrollaron diferentes grupos étnicos como, mayos, yaquis, tarahumaras, mixes, mayas, por mencionar algunos; han utilizado diferentes ingredientes los cuales se pueden caracterizar de

acuerdo a la región mencionada. Así el pinole ha sido utilizado por estas culturas para diferentes celebraciones, ya sea consumido como bebida refrescante o caliente (atole), o como simple dulce o golosina, añadiendo entre los ingredientes más comunes; azúcar, piloncillo, miel de abeja, canela y anís. Aunque, pueden ser utilizados otros ingredientes como el cacao o chocolate, cáscaras secas y molidas de naranja, jengibre, pimienta gorda molida, utilizados para realzar su sabor (Larousse, 2021).

Se menciona también que los Yaquis y Seris de Baja California y Sonora además de otros productos, obtienen un pinole usando las vainas de mezquite, las cuales se secan y muelen y se mezclan con agua para obtener una bebida tipo atole. La importancia de este pinole a base de las vainas de *Prosopis laevigata* es que puede ser una buena fuente de alimentación para el ser humano ya que presenta un alto contenido de proteína de 21.20 a 22.60% en base seca y al ser estudiado presentó una disminución de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), mostrando que tiene acción antioxidante (Gallegos-Infante *et al.*, 2013).

En diferentes países de América Latina el pinole también es un alimento con tradición, y se preparan una diversidad de productos derivados del mismo. Por ejemplo, en Nicaragua le llaman pinolillo y preparan una bebida tradicional con bastante popularidad, que hasta los mismos nicaragüenses utilizan el término “pinoleros” con orgullo (Centroamérica Cuenta, 2018). El pinole también es muy conocido en Venezuela, pero con el nombre de fororo y ha formado parte de la alimentación de su población usándolo en el desayuno y en sus meriendas. Con el fororo, suelen preparar el tradicional atole, así como diferentes recetas entre las que destacan arepas, tortas (pasteles), panquecas (hot cakes) y pan (Badaracco, 2021). “Chancarina”, es como se conoce en Colombia, en donde también es una preparación tradicional y es disfrutada como golosina por los niños en el recreo de las escuelas (Caracol Radio, 2017). En Ecuador, Paraguay, Perú y Bolivia el pinole también es consumido y ha sido parte fundamental de la nutrición de diferentes pueblos de esos países (García-Flores, 2021). En algunas regiones de México como de los países latinoamericanos mencionados también es nombrado como pinol, refiriéndose al mismo producto obtenido de maíz tostado.

Contenido nutrimental del pinole

El pinole puede considerarse un alimento completo debido a que cuenta con los tres macronutrientes; carbohidratos, proteínas y lípidos, además de vitaminas y minerales, fibra dietética, fitoquímicos y otros antioxidantes. Según el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes, una porción individual de pinole (15 g) aporta 58 Kcal, y en cuanto a macronutrientes proporciona: 11.3 g de carbohidratos, 1.6 g de proteína y 0.9 g de lípidos (75.3%, 10.7% y 6.0%, respectivamente) (Pérez-Lizaur *et al.*, 2014). El consumo de 30 g de pinole (2 cucharadas aprox.) puede aportar el 5.8% del valor recomendado de energía de un adulto, y el 7.2% del requerimiento energético infantil, aproximadamente.

Debido a sus propiedades nutrimentales, el consumo de pinole en México ha contribuido en la prevención de la desnutrición infantil de diferentes pueblos indígenas del país (Ibarra-Sánchez *et al.*, 2016). Sin embargo, el pinole formulado tradicionalmente, realizado solo con granos de maíz tostados y molidos puede presentar una deficiencia de aminoácidos (lisina y triptófano), es por esto y debido a su facilidad de elaboración, que suele combinarse con diferentes tipos de cereales y leguminosas aumentando su calidad nutrimental (Ibarra-Sánchez *et al.*, 2016).

En México, la NOM-043-SSA2-2012, sobre Promoción y Educación para la Salud en Materia Alimentaria, recomienda combinar cereales y leguminosas, como una estrategia para obtener un alimento más completo y balanceado sobre todo en el perfil de aminoácidos, de esta manera, la proteína de las leguminosas complementa la de los cereales aportando el aminoácido lisina, mientras que los cereales brindan la metionina, un aminoácido comúnmente deficiente en las leguminosas, de esta manera cereales y leguminosas se complementan nutricionalmente logrando un producto de calidad proteica.

En la Tabla 1 se muestra el contenido proximal de diferentes preparaciones de pinoles, en los que se observa la diferencia en el contenido de proteína, por ejemplo, con un “pinole tradicional” preparado solamente con maíz tostado, canela y azúcar y con otro pinole llamado “pinole de los siete granos” el cual presenta un mayor contenido de proteína, ya que es preparado con diferentes leguminosas y cereales. En esta tabla también se muestra que el contenido energético es mayormente proporcionado por los carbohidratos con alrededor del 80%, parte de esta contribución es por el azúcar añadido, esto se puede observar al comparar el contenido de carbohidratos de dos muestras de pinole de maíz azul (con y sin azúcar añadida) preparados en la Sierra de Chihuahua. Asimismo, se observa la contribución al contenido energético de la proteína y grasa a cada uno de los pinoles.

Tabla 1. Composición proximal de diferentes pinoles comerciales.

Table 1. Proximal composition of different commercial pinoles.

Parámetro	Pinole tradicional ^a	Pinole de siete granos ^a	Pinole de maíz azul ^b	Pinole de maíz azul ^c
Humedad (%)	5.31 ± 0.004	4.22 ± 0.005	6.27 ± 0.04	9.03 ± 0.05
Proteína (%)	7.74 ± 0.01	10.37 ± 0.01	7.92 ± 0.14	8.62 ± 0.07
Grasa (%)	4.97 ± 0.004	4.09 ± 0.004	4.72 ± 0.15	5.63 ± 0.05
Fibra cruda (%)	2.13 ± 0.001	1.62 ± 0.002	1.80 ± 0.03	1.93 ± 0.02
Cenizas (%)	1.06 ± 0.001	1.77 ± 0.001	1.38 ± 0.007	1.50 ± 0.09
Carbohidratos (%)	78.79 ± 0.04	77.93 ± 0.03	77.88 ± 0.23	73.26 ± 3.0
Energía (Kcal/100 g)	390.85	390.01	385.68	378.19

^aDatos obtenido de Sánchez-Herrera *et al.* 2014. ^bPinole de maíz azul comercial fabricado en la Sierra de Chihuahua. ^cPinole de maíz azul sin azúcar fabricado en la Sierra de Chihuahua.

Los alimentos elaborados con granos enteros tienen la ventaja de contar con el germen y el endospermo, partes esenciales del grano donde se encuentran la mayoría de sus nutrientes de manera natural, a pesar de haber sido triturados o procesados. A lo largo de la historia, la dieta humana ha sido basada en el consumo de granos enteros como fuente principal de energía, carbohidratos complejos, fibra dietética, fitoquímicos, vitaminas, minerales, etc. (Frølich and Aman, 2010).

Además, se les ha asociado con la prevención de diferentes enfermedades crónico-degenerativas como, obesidad, hipertensión, diabetes mellitus tipo 2, enfermedades cardiovasculares, etc. (Slavin *et al.*, 2004; Belobrajdic and Bird, 2013). Debido a estos beneficios, las recomendaciones dietéticas de una alimentación saludable, aconsejan consumir tres o más porciones de productos de granos enteros al día, es decir, al menos la mitad de los cereales que se consumen por día debe provenir de granos enteros, una buena alternativa para cumplir con esta recomendación sería el consumo de productos como el pinole mexicano (NOM-043-SSA2-2012; USDA and HHS, 2020).

Efectos del proceso de tostado sobre las propiedades del maíz

El tostado del maíz convierte al pinole en un producto seco e inocuo con un bajo valor de actividad de agua, lo que no permite el desarrollo de microorganismos patógenos (Ibarra-Sánchez *et al.*, 2016). Se ha demostrado que el tostado puede destruir las aflatoxinas presentes en el maíz, reduciendo su concentración considerablemente (Méndez-Albores *et al.*, 2004). Otro de los cambios ocasionados es en la composición proximal del maíz, ya que disminuye el contenido de proteína, humedad y de fibra cruda y aumenta el contenido de grasa y de carbohidratos (Obboh *et al.* 2010). Las propiedades antioxidantes también se ven afectadas, pues disminuye el contenido de polifenoles y de flavonoides totales, y en cuanto a la actividad antioxidante se ha reportado que aumenta debido a las melanoidinas que son producto de la reacción de Maillard que cuentan con una alta capacidad antioxidante (Obboh *et al.* 2010).

El peso de los granos de maíz disminuye por la pérdida de humedad, así como la densidad por modificación de la estructura celular, de la expansión del grano y del desarrollo de poros internos. El contenido de sólidos solubles aumenta debido al reblandecimiento de la textura por el flujo de material y a la descomposición de polímeros insolubles del maíz. El pH también disminuye atribuido a los productos de la reacción de Maillard y a la conversión de azúcares en compuestos ácidos. El índice de pardeamiento aumenta, relacionado al oscurecimiento del maíz, provocado por la reacción de Maillard que se intensifica a temperaturas más altas. También se ha encontrado que el contenido de polifenoles aumenta por la cuantificación de los productos de la reacción de Maillard que tienen una estructura de tipo fenólico (Chung *et al.*, 2011).

El color del maíz también se modifica; se ha realizado la medición de diferentes parámetros de color durante el tostado, encontrándose una disminución de la luminosidad, lo que indica que se oscurece, conduciendo a tonalidades más rojizas y a una disminución de la tonalidad amarilla. Estos cambios en el color son principalmente debido a la reacción de Maillard, siendo mayores al incrementarse la temperatura y el tiempo de tostado (Chung *et al.*, 2014).

El tostado también induce a la gelatinización del almidón del maíz, principal componente del maíz, observándose el rompimiento del empaquetamiento regular de los gránulos del almidón, con una distribución espacial irregular y la exudación de la amilosa provocado por las altas temperaturas. Se disminuye la cristalinidad y el contenido de amilosa del maíz. Además, se producen otros cambios como el tamaño de partícula, las propiedades térmicas (entalpía y temperatura de gelatinización), así como las propiedades reológicas del maíz. La digestibilidad del almidón también cambia, incrementando los valores del almidón disponible total y el contenido del almidón de rápida digestión, disminuyendo el almidón de lenta digestión y el almidón resistente. La velocidad de hidrólisis enzimática (α -amilasa) aumenta, provocando también el incremento del índice glicémico (Carrera *et al.*, 2015).

Microestructuralmente el maíz presenta modificaciones después del tostado, en general, se genera un incremento del volumen de los granos y una disminución de la densidad relativa. Se aumenta la porosidad de los granos, observándose cavidades y poros de diferentes tamaños. Al aumentarse la porosidad de los granos, la densidad disminuye (Schoeman *et al.*, 2017).

Mejora nutrimental del pinole tradicional

Existen estudios científicos en los que basándose en las recetas tradicionales del pinole se ha intentado enriquecer su contenido nutrimental; principalmente en su contenido y calidad de proteína, añadiendo otros cereales y leguminosas como cebada, frijol, lenteja, así como arroz, garbanzo y haba, encontrando que las mezclas más aceptables (de acuerdo a un análisis sensorial) fueron las que contenían 35% de maíz, 20% de amaranto, 40% de garbanzo y 5% de haba, así como otras 2 mezclas de maíz, amaranto, garbanzo y lenteja en dos diferentes proporciones, una con 35%, 20%, 40% y 5% y otra con 30%, 20%, 40% y 10%. Estas combinaciones resultaron con mayor cantidad de proteína (15.03%, 14.55%, 15.55%, respectivamente), comparadas con un pinole tradicional (10.12%). Asimismo, con mejor balance de aminoácidos esenciales y digestibilidad *in vitro* de proteína (Lozano-Aguilar *et al.*, 2008).

En otro estudio se comparó un pinole tradicional, elaborado solamente con maíz tostado y canela con un pinole de siete granos, analizándolos en sus propiedades nutricionales (composición química) y antioxidantes (contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante). El pinole tradicional presentó mayor contenido de grasa, fibra y carbohidratos totales y el pinole de los siete granos mayor contenido de proteína y azúcares (sacarosa, maltosa, glucosa y fructosa), esto último atribuido a la granola en la cual usan miel para endulzarla. En este estudio se menciona que ambos pinoles por ser productos obtenidos con maíz entero, representan una opción saludable para consumirlo en el desayuno ya que proporcionan mayor contenido de proteínas (7.74 g/100 g para el tradicional y 10.37 g/100 g para el de siete granos), menor contenido de azúcar (usando el pinole tradicional), casi el doble de grasa saludable y mayor contenido de compuestos fenólicos totales, comparado con cereales refinados de maíz y multigranos añadidos con altas cantidades de azúcar (Sánchez-Herrera *et al.*, 2014).

En un estudio de revalorización del pinole de una comunidad de la región Mazahua, del Estado de México. Realizaron, a través de la formulación tradicional en la que usan el maíz negro cónico, característico de la región mencionada y añadieron diferentes cereales como trigo, avena y chía, y como edulcorantes azúcar o Stevia® para disminuir el contenido calórico. Evaluando tres formulaciones que se ajustaron a los intereses de la población. Además, de un pinole tradicional que consistió de 87.7% de maíz negro tostado, 5.3% de canela y 7.0% de azúcar, y los evaluaron mediante una prueba sensorial descriptiva-cuantitativa. Los pinoles se prepararon en forma de bebida caliente con leche y para cada uno de ellos se obtuvieron diferentes características en cuanto a lo percibido por los jueces del análisis sensorial en los descriptores de aroma-sabor (maíz tostado, canela, chocolate y dulce) y textura (grumoso, cremoso, espeso y arenoso). Entre los principales resultados fue que para el pinole tradicional los panelistas percibieron con mayor intensidad el aroma a maíz tostado y en cuanto a textura cremoso. Para el pinole con avena y chía, la canela y dulce fueron los aromas percibidos con mayor intensidad y en cuanto a textura el mayor descriptor fue el de espeso. Para el pinole con avena y Stevia® los descriptores de aroma con mayor intensidad fueron el de maíz tostado, dulce y canela y para la textura también fue el de espeso. Para el pinole con trigo y Stevia® los descriptores de mayor agrado fueron dulce, maíz tostado y canela, y el mayor atributo de textura fue el cremoso, similar al pinole tradicional (Téllez-Nava, 2019).

Existen otros artículos científicos en los que describen acciones por rescatar al pinole, pues como lo mencionan este dulce tradicional mexicano es cada vez más difícil de encontrar. Se relata que en el 2012 el pinole elaborado con maíz azul se convirtió oficialmente en un “sabor en peligro de extinción”

y que por esta razón se han realizado esfuerzos para que no se pierda la tradición de elaboración de este alimento, por ejemplo, fue introducido en un catálogo en línea de alimentos patrimoniales (Ark of Taste) promovido por una organización social (Slow Food). Por esta razón una organización del Pueblo de San Mateo, Ozolco, Puebla, formada por agricultores y productores de pinole en esa región y llamada “Amigos de Ozolco” en conjunto con una cooperativa formada por un grupo de trabajadores migrantes en establecidos en Filadelfia, EUA, y llamada “Blue corn Alianza” realizaron esfuerzos para promover y reactivar la producción y distribución de pinole obtenido con la variedad local de maíz azul e introducirlo en el mercado de América del Norte. Por lo que el “proyecto pinole” iniciado por estas dos organizaciones buscó transformar al pinole en un alimento celebrado internacionalmente y distribuido como “Heritage food” o alimento patrimonial. De esta manera a través de un proceso denominado “heredabilidad”, iniciaron el concepto de “patrimonio cultural/inmaterial” aplicado a alimentos locales en formas y circuitos de mercado diversos. Así fue como el pinole fue valorado como un alimento patrimonial de origen prehispánico y típico de Ozolco, Puebla (Littaye, 2015; 2016).

Conclusiones y perspectivas

Este artículo presenta diversos aspectos importantes del pinole, que nos brindan información relevante de este alimento prehispánico que aún es conocido y típico de diferentes regiones de México y Latinoamérica. El proceso de tostado al que es sometido el maíz le brinda al producto final diferentes propiedades y características que hoy en día son interpretadas científicamente a través de los resultados de diferentes análisis, y que a su vez nos explica el porqué de los diferentes beneficios aportados, principalmente nutrimentales, hacia diferentes culturas mesoamericanas de las cuales fue parte complementaria de su dieta.

También proporciona un panorama general, así como la importancia de la preservación de este alimento tradicional, lo cual se ha realizado de diferentes formas, desde la difusión como un alimento patrimonial hacia diferentes países, revalorizándolo para hacerlo más atractivo mediante la adición de diferentes ingredientes para mejorarlo en su contenido nutrimental y resaltando también sus propiedades funcionales y antioxidantes, que son características que en la actualidad son buscadas.

Aunque es un alimento con alto contenido energético, principalmente proporcionado por los carbohidratos, su contenido importante de fibra y de compuestos bioactivos lo convierten en un alimento atractivo para el consumo de ciertos nichos de la población. Estas características aún pueden ser mejoradas usando, por ejemplo, un maíz pigmentado y añadiendo ingredientes altos en proteínas y también en antioxidantes dándole a este producto un valor agregado.

Por último, aunque en este artículo se presentó información atractiva sobre este alimento elaborado con maíz tostado, aún puede generarse más información mediante la realización de más estudios o proponiendo su reformulación con la adición de nuevos ingredientes para realzar aún más las características de este alimento de gran orgullo mexicano.

Agradecimiento

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (SEP-PRODEP) por el apoyo otorgado (PRODEP-OF-19-12290).

Conflicto de interés

Los autores de este artículo declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias

- Animal Gourmet. (2021). El pinole, un tesoro mexicano hecho con maíz en polvo. Recuperado de <https://www.animalgourmet.com/2020/05/14/pinole-como-se-prepara/>
- Arcos, Y. (2021). ¿Qué es el pinole y cómo prepararlo? Recuperado de <https://gourmetdemexico.com.mx/comida-y-cultura/que-es-pinole-y-como-prepararlo/>
- Badaracco, P. (2021). El fororo, tan nutritivo como versátil. Recuperado de <https://www.cocinayvino.com/vida-saludable/alimentacion-salud/el-fororo/#>
- Belobrajdic, D., & Bird, A. (2013). The potential role of phytochemicals in whole grains cereals for the prevention of type-2 diabetes. *Nutrition Journal*, 12, 62–72. <https://dx.doi.org/10.1186%2F1475-2891-12-62>
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. D. J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(4), 357–366. <https://bit.ly/3KnYZfm>
- Caracol Radio. (2017). La chancarina, un producto tradicional rescatado en festival del maíz, en Barcelona Quindío. Recuperado de <https://bit.ly/3s0s6ii>
- Carrera, Y., Utrilla-Coello, R., Bello-Pérez, A., Álvarez-Ramírez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2015). In vitro digestibility, crystallinity, rheological, thermal, particle size and morphological characteristics of pinole, a traditional energy food obtained from toasted ground maize. *Carbohydrate Polymers*, 123, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.044>
- Centroamérica Cuenta. (2018). Nicas, nicoyas, pinoleros, mucos y chochos: de dónde vienen y qué significan los numerosos apodos de los habitantes de Nicaragua. Recuperado de <https://bbc.in/3MEh3Dp>
- Chávez-Santoscoy, R. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O., & Pérez-Carrillo, E. (2016). Production of maize tortillas and cookies from nixtamalized flour enriched with anthocyanins, flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris*) seed coats. *Food Chemistry*, 192, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.113>
- Chung, H. S., Chung, S. K., & Youn, K. S. (2011). Effects of roasting temperature and time on bulk density, soluble solids, browning index and phenolic compounds of corn kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(6), 832–839. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00536.x>
- Chung, H. S., Kim, J. K., Moon, K. D., & Youn, K. S. (2014). Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Science and Biotechnology*, 23(6), 1829–1835. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-014-0250-x>
- Cortés-Gómez, A., San Martín-Martínez, E., Martínez-Bustos, F., & Vázquez-Carrillo, G. M. (2005). Tortillas of blue maize (*Zea mays* L.) prepared by a fractionated process of nixtamalization:

- analysis using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.018>
- De Orellana, M. (2012). Elogio de la cocina mexicana. Patrimonio cultural de la humanidad. Conservatorio de la cultura gastronómica mexicana s.c., Artes de México, México.
- Diario de Yucatán. (2013). Del pinole a una sabrosa bebida de maíz. Recuperado de <https://bit.ly/3KtK972>
- El Universal (2021). ¿Qué es el pinole y cómo se hace? Recuperado de <https://bit.ly/3y4O5c4>
- Frølich, W., & Aman, P. (2010). Whole grain for whom and why? *Food and Nutrition Research*, 54. <https://dx.doi.org/10.3402%2Ffnr.v54i0.5056>
- Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F., & García-Casas, M. A. (2013). Efecto del procesamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de pinole a base de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*). *CyTA-Journal of Food*, 11(2), 162–170. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.712057>
- García-Flores. (2021). ¿Cuál es el origen y significado de la palabra pinole? Recuperado de <https://bit.ly/39l2WEI>
- Ibarra-Sánchez, L., Alvarado-Casillas, S., Viveros-Ibarra, L., & González-Bernal, V. (2016). Propiedades del pinole, alimento tradicional elaborado de maíz y su relación en la seguridad alimentaria en México. *Revista EDUCATECONCIENCIA*, 12(13), 121–136. <https://bit.ly/3kmUPtI>
- Larousse (2021). Pinole. Recuperado de <https://laroussecocina.mx/palabra/pinole/>
- Littaye, A. Z. (2015). The role of the Ark of Taste in promoting pinole, a Mexican heritage food. *Journal of Rural Studies*, 42, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.10.002>
- Littaye, A. Z. (2016). The multifunctionality of heritage food: The example of pinole, a Mexican sweet. *Geoforum*, 76, 11–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.08.008>
- López, T.A. (1989). El hambre. 2ª parte. Editorial Escuela Superior De Agricultura Hermanos Escobar, p. 82.
- Lozano-Aguilar, O. L., Solórzano-Vega, E. S., Bernal-Lugo, I. B., Rebolledo-Robles, H., & Jacinto-Hernández, C. (2008). “Pinole” de alto valor nutricional obtenido a partir de cereales y leguminosas. *Ra Ximhai, Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 4(2), 283–294. <https://bit.ly/38IoY3Q>
- Méndez-Albores, A., De Jesús-Flores, F., Castañeda-Roldan, E., Arámbula-Villa, G., & Moreno-Martínez, E. (2004). The effect of toasting and boiling on the fate of B-aflatoxins during pinole preparation. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 585–589. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.024>
- MXCity. (2018). Pinole, el gran orgullo de la identidad gastronómica mexicana. <https://bit.ly/3vB9RSW>
- NOM-043-SSA2-2012. (2012). Promoción y educación para la Salud en materia alimentaria. Norma Oficial Mexicana. <https://bit.ly/3yam82A>
- Oboh, G., Ademiluyi, A. O., & Akindahunsi, A. A. (2010). The effect of roasting on the nutritional and antioxidant properties of yellow and white maize varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(6), <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02263.x>
- Pérez-Lizaur, A., Palacios-González, B., Castro-Becerra, A., & Flores-Galicia, I. (2014). Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. CDMX, México: Fomento de Nutrición y Salud, A.C.
- Reyes-Moreno, C., Argüelles-López, O. D., Rochín-Medina, J. J., Milán-Carrillo, J., Rivera-López, J., Valdez-Ortiz, A., López-Valenzuela, J. A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2012). High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional Mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 450–456. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0324-y>

- Sánchez-Herrera, M., Martínez-Cano, E., Maldonado-Santoyo, M., & Aparicio-Fernández, X. (2014). Comparative study on the nutritional and antioxidant properties of two Mexican corn (*Zea mays*) based meals versus processed cereals. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(2), 116–122. <https://bit.ly/3MJS4yD>
- Schoeman, L., du Plessis, A., Verboven, P., Nicolai, B. M., Cantre, D., & Manley, M. (2017). Effect of oven and forced convection continuous tumble (FCCT) roasting on the microstructure and dry milling properties of white maize. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.021>
- Slavin, J. (2004). Whole grains and human health. *Nutrition Research Review*, 17, 99–110. <https://doi.org/10.1079/nrr200374>
- Téllez-Nava, J. P. (2019). Revalorización de un alimento tradicional prehispánico (pinole) de una comunidad de la región Mazahua, Estado de México. (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas). <http://hdl.handle.net/20.500.11799/105410>
- USDA & HHS. (2020). U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary Guidelines for Americans. Washington, DC, U.S.

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

La fibra dietética como ingrediente funcional en la formulación de productos cárnicos

Dietary fiber as functional ingredient in the formulation of meat products

Jocelyn Abigail Rivera De Alba¹, Emmanuel Flores Girón^{2*}

¹ Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Col. La Laguna Ticomán, 07340, G.A.M. Ciudad de México, México.

² Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Carr. Federal México- Texcoco km 38.5, 56230, Texcoco, Estado de México, México.

*Correspondencia: efloresg@chapingo.mx (Emmanuel Flores Girón)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.892>

Recibido: 09 de diciembre de 2021; Aceptado: 22 de febrero de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

Las características de los alimentos pueden modificarse mediante la incorporación de componentes que muestran propiedades funcionales, como la capacidad de retención de agua y la formación de geles, que no sólo afectan el comportamiento del alimento durante su procesamiento, sino también su calidad y características finales. En los últimos años, se han buscado ingredientes alternativos que puedan incorporarse a los alimentos cuyo consumo elevado suele asociarse al desarrollo de enfermedades como la obesidad, por su alto contenido de grasas y sodio en los productos cárnicos o azúcares añadidos en otros alimentos, buscando mejorar su calidad nutricional sin alterar los atributos sensoriales a los que el consumidor está acostumbrado. Entre estos ingredientes se ha encontrado que diversas fibras dietéticas poseen propiedades funcionales y nutricionales interesantes. La inclusión de fibras como la cáscara de soya, cítricos, avena y fructooligosacáridos, en productos alimenticios como salchichas, hamburguesas y nuggets ha mostrado resultados favorables a nivel tecnológico, nutricional y sensorial, señalando un potencial importante en el desarrollo de alimentos funcionales. Por ello, la presente revisión pretende mostrar los cambios fisicoquímicos, de textura y sensoriales observados en diferentes productos cárnicos adicionadas con fuentes de fibras dietéticas.

Palabras clave: fibra dietética, productos cárnicos, propiedades funcionales, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

Food attributes can be modified by incorporating components that show functional properties such as water holding capacity and gel formation etc., which not only affect the behavior of food during processing, but also its quality and final characteristics. In recent years, alternative ingredients have also been sought that can be incorporated into foods whose high consumption is usually associated with the development of diseases such as obesity, due to its high fat and sodium content in meat products, or added sugars in other foods, seeking to improve its nutritional quality without altering the sensory attributes to which the consumer is accustomed. Among these ingredients, it has been found that many dietary fibers have interesting functional and nutritional properties. The addition of different types of fibers such as soy peels, citrus, oats and fructooligosaccharides, in food products such as sausages, burgers and nuggets has shown favorable results at the technological, nutritional and sensory levels, pointing to an important potential in the development of functional foods. Therefore, this review aims to show the physicochemical, texture and sensory changes observed in different meat products added with dietary fiber sources.

Keywords: dietary fiber, meat products, functional properties, physicochemical parameters.

1. Introducción

La fibra dietética es definida como aquella porción de los alimentos derivada de las paredes celulares de las plantas, que es pobremente digerida por las enzimas endógenas del intestino delgado de los humanos (Yangilar, 2013). Esta porción está constituida por una mezcla de polímeros de carbohidratos, tanto oligosacáridos como polisacáridos (es decir, celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, gomas, almidones resistentes e inulina), y otros componentes no carbohidratos (como polifenoles, ceras, saponinas, fitatos, cutina y proteínas resistentes) de composición química y características físicas variables que, en conjunto, definen el papel de la fibra en la función gastrointestinal y la salud, por ejemplo, disponibilidad de nutrientes, tiempo de tránsito intestinal y especificidad microbiana (Yangilar, 2013; Gill *et al.*, 2020).

La fibra dietética se clasifica según su solubilidad en agua en fibra dietética insoluble, tal como celulosa, hemicelulosas, almidones resistentes y lignina; y fibra dietética soluble, que incluye oligosacáridos, pectinas, betaglucanos, galactomananos, gomas y alginatos. Mientras el primer grupo se relaciona con la absorción de agua y la regulación intestinal, el segundo se asocia con la reducción del colesterol en sangre y la disminución de la absorción de glucosa en el intestino delgado (Yangilar, 2013; Otles y Nakilcioglu, 2019).

Las propiedades tecnológicas y efectos fisiológicos de la fibra dietética están determinados principalmente por las proporciones que guardan estas dos fracciones, sin importar su origen. Las fibras solubles, que suelen encontrarse en altas concentraciones en subproductos de frutas y vegetales, se caracterizan por su capacidad para aumentar la viscosidad y reducir la respuesta glucémica y el colesterol plasmático, mientras que las fibras insolubles se caracterizan por su porosidad, su baja densidad y su capacidad para aumentar el volumen fecal y disminuir el tránsito intestinal, y se encuentran, principalmente, en las envolturas de los granos y leguminosas (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Elleuch *et al.*, 2011).

La fibra dietética tiene varias propiedades funcionales adecuadas que afectan la calidad y las características de los productos alimenticios. Estas propiedades funcionales deben tenerse en cuenta cuando se incorporan diversas fuentes de fibra dietética, ya que la cantidad de fibra adicionada es finita, debido a que puede provocar cambios indeseables en el color y textura de los alimentos. Además, deben evaluarse las necesidades específicas para cada sistema alimentario, ya que a menudo puede abordarse mediante el uso de determinadas fuentes de fibra o combinaciones de éstas que proporcionan efectos sinérgicos (Elleuch *et al.*, 2011; Kim y Paik, 2012). Por ejemplo, en comparación con la fibra dietética insoluble, en el procesamiento de alimentos la fracción soluble exhibe mayor capacidad para proporcionar viscosidad, capacidad para formar geles y/o actuar como emulsionante, además de no impartir mala textura ni mal sabor y ser más fácil de incorporar en alimentos procesados y bebidas (Elleuch *et al.*, 2011).

La carne y los productos cárnicos tienen efectos tanto positivos como negativos sobre la salud en la dieta. Son fuentes importantes de proteínas y aminoácidos esenciales de alto valor biológico y grasas esenciales, vitaminas A y B y minerales, así como de grasas saturadas, colesterol, sodio y nitritos. De estos componentes, el contenido de ácidos grasos saturados, principalmente, ha sido considerado como un factor de riesgo en el desarrollo de cánceres y enfermedades coronarias asociadas con la vida moderna, especialmente en los países desarrollados (Ospina-Meneses *et al.*, 2011a; Kim y Paik, 2012). Basta evidencia señala la importancia del consumo de fibra dietética y su contribución en el mantenimiento de la salud metabólica en general (Barber *et al.*, 2020).

La simple reducción de grasa aparentemente sería el método más eficaz para producir productos bajos en grasa; sin embargo, la sustitución directa de este componente por agua en productos cárnicos emulsionados o triturados puede provocar problemas de textura, rendimientos de producción y cambios en las cualidades sensoriales después de cocinar o recalentar (López-Vargas *et al.*, 2014).

Para evitar los problemas mencionados, se han examinado numerosos ingredientes no cárnicos como coadyuvantes que se pueden adaptar a una formulación más "saludable", agregando ingredientes que se consideren benéficos para la salud, y eliminando o reduciendo los componentes que se consideran "nocivos". Estos productos generalmente se producen mediante la reformulación por incorporación de ingredientes como una variedad de fibras, proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, antioxidantes, etc. (Kumar y Banerjee, 2010; Biswas *et al.*, 2011; López-Vargas *et al.*, 2014). De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta revisión es mostrar la influencia de la incorporación de fibras dietéticas en productos cárnicos sobre sus características fisicoquímicas, de textura y sensoriales, y el potencial de estos ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales.

2. La fibra dietética en la formulación de productos cárnicos

La fibra dietética es un ingrediente funcional valioso que se puede incorporar en matrices alimentarias. Se han estudiado varios tipos de fibras solas o combinadas con otros ingredientes para la formulación de productos cárnicos reducidos en grasa, principalmente productos molidos y reestructurados y emulsiones cárnicas, donde se ha tenido éxito en mejorar el rendimiento de cocción, reducir los costos de formulación y mejorar la textura (Kumar y Banerjee, 2010; López-Vargas *et al.*, 2014).

En diversos productos cárnicos la adición de fibra dietética como un ingrediente funcional produce cambios en tres niveles distintos: fisicoquímico, nutricional y sensorial, de modo que se ven afectados el perfil nutricional y composición proximal, la capacidad de retención de agua (CRA) y rendimiento, parámetros de color, parámetros de textura, propiedades antioxidantes y atributos sensoriales, entre otros (Tabla 1).

Tabla 1. Cambios generados por la incorporación de diferentes fuentes de fibras en matrices alimentarias cárnicas.

Table 1. Changes generated by the incorporation of different sources of dietary fibers in meat food matrices.

Matriz alimentaria	Tipo de fibra(s) adicionada(s)	Efecto producido	Fuente
Salchichas Viena reducidas en grasa	Fibra de nopal	Disminución de L* y a* Incremento en la dureza Disminución en la aceptabilidad general	Diego-Zárate <i>et al.</i> (2021)
	Fibra de cítricos	Incremento en la dureza Mejoría en la aceptación general Capacidad antioxidante	Viuda-Martos <i>et al.</i> (2010)
Salchichas Bologna	Fibra de chícharo	Disminución de las pérdidas por cocción Disminución en la aceptabilidad general	Pietrasik y Janz (2010)
Salchichas de pollo	Inulina	Disminución de las pérdidas por cocción Incremento en la dureza	Keenan <i>et al.</i> (2014)
	Brotes de trigo	Pérdidas en la aceptabilidad general Capacidad antioxidante	Ozturk <i>et al.</i> (2014)
Hamburguesas de res	Linaza	Disminución de las pérdidas por cocción Disminución de L* y a* Disminución de la aceptabilidad general	Valenzuela-Melendres <i>et al.</i> (2014)
Hamburguesa de pollo	Mezcla de fibras de bamboo, trigo y chícharo	Mejora en las propiedades emulsificantes Disminución de la dureza Aceptabilidad comparable o superior	Huber <i>et al.</i> (2016)
Hamburguesas de cerdo	Fibra de subproducto de horchata	Incremento en la CRA Disminución en las pérdidas por cocción	Sánchez-Zapata <i>et al.</i> (2010)
Nuggets de pollo	Harina de banana y cáscara de soya	Incremento en la CRA Disminución en las pérdidas por cocción Incremento de la dureza	Kumar <i>et al.</i> (2011)

L*: Luminosidad

a*: Coordenadas cromáticas rojo/verde

CRA: Capacidad de retención de agua

2.1. Propiedades antioxidantes de la fibra dietética

Algunos componentes bioactivos de la fibra dietética, como flavonoides, carotenos y polifenoles, poseen propiedades antioxidantes que pueden ser explotadas como ingredientes para mejorar la estabilidad oxidativa y prolongar la vida de anaquel de los productos cárnicos. Además, este poder antioxidante tendría un doble efecto, evitar el enranciamiento del producto y servir como un factor de salud para el consumidor (Jiménez-Colmenero y Delgado-Pando, 2013).

Aleson-Carbonell *et al.* (2005) adicionaron albedo, un tipo de fibra obtenida del tejido blanco interior y suave de la cáscara de los cítricos, y betaglucanos a salchichas estilo inglés como una alternativa a fuentes de fibras dietéticas debido a la presencia de compuestos bioactivos asociados (flavonoides y vitamina C) con propiedades antioxidantes. Los valores de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) como una medición de la oxidación de lípidos en las muestras crudas indicaron efectos antioxidantes de la avena y el albedo, porque todos los tratamientos con estos ingredientes mostraron los valores de TBA más bajos. La misma actividad ha sido atribuida a los flavonoides y el ácido ascórbico presentes en las frutas cítricas. Sin embargo, en muestras cocidas, el efecto antioxidante se mantuvo para las muestras adicionadas con albedo de limón, pero no así para aquellas adicionadas con avena.

Otros autores evaluaron el efecto de la adición de fibras con propiedades antioxidantes en productos cárnicos durante el almacenamiento. Se concluyó que en salchichas Bologna existen diferencias significativas en los valores de TBA a concentraciones de fibra de cítricos desde 50 mg/kg o más, mientras que adicionar fructooligosacáridos, inulina, harina de avena o harina de trigo en hamburguesas de res y fructooligosacáridos en salchichas, siendo ambas bajas en grasa, no produce efecto significativo sobre la oxidación de lípidos (Viuda-Martos *et al.*, 2010; Dos-Santos *et al.*, 2012; Bis-Souza *et al.*, 2018).

2.2. Cambios en el perfil nutricional y composición proximal de los productos cárnicos

La carne, y los productos cárnicos en general, son fuente importante de un amplio rango de nutrientes como las proteínas y las vitaminas, y contribuyen con considerables proporciones de la ingesta de varios nutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo (Jiménez-Colmenero y Delgado-Pando, 2013). Factores como la especie, la edad, la dieta, el manejo y el procesamiento influyen en su composición, y durante este último, la adición de ingredientes no cárnicos como aglutinantes, rellenos y extensores puede resultar en un cambio de la composición general del producto final (Talukder, 2015; Mehta *et al.*, 2019).

Resultados de investigaciones epidemiológicas han concluido que existe una estrecha relación entre las dietas ricas en energía, azúcares, grasas y sales añadidos y el padecimiento de enfermedades crónicas como enfermedad isquémica del corazón, cáncer, hipertensión arterial y obesidad (Talukder, 2015; Rippe y Angelopoulos, 2016). Los productos cárnicos procesados son ricos en grasas, principalmente grasas saturadas, y contienen elevadas concentraciones de sal, que van del 1 al 10 %; su consumo ha sido asociado con el incremento en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y diferentes tipos de cáncer (Sinha *et al.*, 2009; Hu *et al.*, 2011).

Se ha documentado que la fibra dietética juega un papel importante en la prevención de varias enfermedades, como las antes mencionadas, y el mantenimiento de la salud, aunque también se señala que la ingesta recomendada de fibra dietética total es de más de 25 g/día, y que los niveles de ingesta común son menores aún en las sociedades más avanzadas (Jiménez-Colmenero y Delgado-Pando, 2013; Mehta *et al.*, 2019). En este sentido, Kumar *et al.* (2011), Ospina-Meneses *et al.* (2011b) y Jiménez-Colmenero y Delgado-Pando (2013) reportaron reducciones desde 8 % hasta 34 % de la densidad energética de salchichas, hamburguesas y nuggets de pollo, dependiendo del nivel de grasa reemplazada por fibras de banano, harina de soya, carboximetilcelulosa y celulosa microcristalina.

Diversos autores han incorporado fibras de cítricos, albedo, banano verde y salvado de arroz (Aleson-Carbonell *et al.*, 2005; Viuda-Martos *et al.*, 2010; Yun-Sang *et al.*, 2010; Ospina-Meneses *et al.*, 2011b; Song *et al.*, 2016) en salchichas Frankfurt, salchichas de Bologna y salchichas para desayuno reducidas en grasa, encontrando que existen diferencias significativas respecto al control en los valores de humedad, cenizas y fibra en aquellas muestras adicionadas de fibra, atribuyéndolo en su totalidad a la fibra incorporada.

2.3. Capacidad de retención de agua (CRA) y rendimiento

En general, la fibra tiene una alta CRA, lo que a su vez ayuda a controlar la migración de humedad y la formación de cristales de hielo, aumentar la estabilidad de congelación/descongelación y reducir la sinéresis (Gelroth y Ranhotra, 2001). Este parámetro también determina la pérdida de agua durante el transporte, almacenamiento, procesamiento y cocción, de modo que como consecuencia de una CRA deficiente se tiene un bajo rendimiento de cocción y, a menudo, carne “poco jugosa” y carnes procesadas de baja calidad. El agua liberada de un producto cárnico procesado a menudo se describe como rendimiento de cocción, y esto está directamente relacionado con la CRA (Warner, 2017).

Entre los factores que influyen en la CRA en la fibra, se encuentran la estructura química de los polisacáridos componentes, la abundancia de grupos hidroxilo, la velocidad de hidratación, el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica (Gelroth y Ranhotra, 2001; Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Cui *et al.*, 2011; Elleuch *et al.*, 2011). Una buena CRA es esencial debido a las características deseables que provee en los productos cárnicos (Aruwa *et al.*, 2018).

Huber *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la adición de mezclas de fibras de bambú, chícharo, manzana, papa, trigo y avena en hamburguesas de pollo encontrando que las muestras adicionadas con chícharo, trigo y avena presentan los mayores valores en la CRA. Por su parte, Katari *et al.* (2014) estudiaron el efecto de la incorporación de polvo de celulosa Vitacel L200 (CHAHIA, Sfax, Tunisia), concentrado de betaglucano de cebada y fibra de papa Vitacel KF500 (CHAHIA, Sfax, Tunisia), en salchichas Tunisianas, mostrando también que la CRA de las salchichas sufre un incremento significativo con las fibras añadidas, que puede atribuirse a la alta CRA de las fibras.

Es importante mencionar que otros autores señalan que es casi improbable que un solo ingrediente produzca el efecto deseado en la formulación de productos cárnicos bajos en grasa, y que para lograrlo debe utilizarse una combinación de ingredientes (Cofrades *et al.*, 2000). Kumar *et al.* (2011) y Aleson-Carbonell (2005) evaluaron la adición de mezclas de harinas de banana y cáscara de soya

en nuggets de pollo y betaglucano y harina de trigo en salchichas para desayuno, respectivamente. Ambos grupos encontraron que hubo un mayor contenido de humedad y mayor CRA cuando se emplearon las mezclas mencionadas. Con respecto a la forma individual, lo que podría sugerir a que la interacción de las dos harinas mejora la CRA.

Schmiele *et al.* (2015) reemplazaron grasa de cerdo por fibra de celulosa amorfa en salchichas fermentadas y encontraron que las pérdidas por cocción disminuyeron al incrementar el contenido de grasa debido a una mejor emulsificación de la pasta y un menor contenido de agua añadido a la fórmula. Este mismo comportamiento se ha encontrado en otros productos como los nuggets de pollo, donde se reemplazó grasa por harinas de banana y cáscara de soya, y en salchichas para desayuno adicionadas con albedo, y betaglucanos y harina de trigo, siendo aún más notable el resultado en las muestras con combinación de harinas (Aleson-Carbonell *et al.*, 2005; Kumar *et al.*, 2011).

Por el contrario, Bis-Souza *et al.* (2018) y Angiolillo *et al.* (2014) determinaron que al incorporar 6 % de inulina a hamburguesas de res bajas en grasa y 9 g de inulina a hamburguesas sin reducción de grasa, se produce una disminución significativa en el rendimiento por cocción, que se atribuye a la mayor cantidad de agua necesaria para lograr la disolución previa de la fibra. Verma *et al.* (2013) también observaron este comportamiento en nuggets de carne de oveja adicionadas con 1 % de polvo de guayaba, que fue posiblemente debido a la formación de una emulsión comparativamente menos estable que la de las muestras control.

2.4. Cambios en los parámetros de color en los productos cárnicos

El color de la carne es una característica importante en la aceptación de los productos cárnicos por parte del consumidor e influye significativamente en el comportamiento de compra. Sin embargo, puede variar mucho entre productos frescos y procesados, y está fuertemente influenciado por la manipulación durante el almacenamiento y la exhibición (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2009).

El desarrollo del color depende de las condiciones de procesamiento, el nivel de grasa y algunos aditivos, como pigmentos naturales y antioxidantes presentes en fibras dietéticas, que afectan no sólo el color final del producto cárnico, sino también su estabilidad, dependiendo del tipo y cantidad en que se adicionen. Dichos procesos son comunes en la elaboración de productos cárnicos y juegan un papel fundamental en el desarrollo de las características esenciales de cada producto. Aunque se trata de operaciones muy habituales, son, desde un punto de vista teórico, bastante complejas y no existe una descripción completa de su influencia sobre el color (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2009; Hyun-Wook *et al.*, 2015).

En productos de carne molida el color puede verse alterado significativamente por la proporción de ingredientes no cárnicos en la formulación, así como con el decremento en el contenido de grasa, que tiende a generar productos más oscuros y rojos. Varios autores mencionan que la adición de fibras dietéticas como la linaza y el nopal en hamburguesas de res y salchichas bajas en grasa, producen diferencias significantes en los parámetros de luminosidad y color amarillo, pero no para el rojo (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014; Diego-Zárate *et al.*, 2021).

También se ha reportado que en productos similares el reemplazo de grasa por fibras de celulosa y fructooligosacáridos no influencia de manera significativa los parámetros L^* , a^* y b^* , aunque se observan mayores valores b^* a mayor contenido de grasa, y tendencia a aumentar el color rojo y el amarillo al incrementar la concentración de fibra (Cáceres *et al.*, 2004; Schmiele *et al.*, 2015).

Es importante mencionar que las técnicas de procesamiento en la producción de ingredientes de fibra también pueden modificar su color para cumplir una función particular dentro del sistema alimentario (Gelroth y Ranhotra, 2001). Por mencionar un ejemplo, Hyun-Wook *et al.* (2015) analizaron el impacto de la adición de 3 % de fibras de cáscara y pectina de soya, con diferentes tipos de tratamiento de extracción (crudo, alcalino y ácido-alcalino) sobre sistemas de emulsión cárnica, señalando que las emulsiones cárnicas formuladas con tratamientos alcalino y ácido-alcalino mostraron color rojo similar al control, mientras que el color rojo de las emulsiones preparadas con fibra cruda y pectina disminuyeron significativamente.

2.5. Cambios en los parámetros de textura de los productos cárnicos

La textura del producto cárnico es un atributo importante que tiene relevancia tanto tecnológica como sensorial. La adición de fibra en los productos cárnicos, así como la cantidad y su naturaleza, pueden tener una influencia tanto positiva como negativa en los parámetros de textura (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014; Mehta *et al.*, 2019; Diego-Zárate *et al.*, 2021). En productos cárnicos buena parte de la aceptabilidad está basada en la textura, principalmente la dureza, que se asocia con la calidad de la carne, por lo que el consumidor los rechazará tanto si son muy duros como si son muy blandos (Torres-González *et al.*, 2014).

Para medir la textura de la carne y los productos cárnicos de manera objetiva se han desarrollado diferentes métodos instrumentales, como la prueba de Warner-Bratzler, la prueba de Allo-Kramer y el análisis del perfil de textura (APT), que dependiendo del procedimiento y las condiciones de las mediciones permiten obtener características de la muestra como dureza, elasticidad y gomosidad, entre otras, de manera que puedan correlacionarse con los atributos sensoriales. En esta prueba la muestra se comprime dos veces y se analizan las curvas fuerza-tiempo para proporcionar los parámetros de dureza, fragilidad, masticabilidad, gomosidad y adhesividad percibidas por un panel sensorial.

En salchichas reducidas en grasa y adicionadas con fibra varios autores han reportado cambios significativos en los parámetros de textura. Con fibras de cítricos y fructooligosacáridos hay un incremento en la dureza y la masticabilidad, mismos que aumentan con el contenido de fibra, mientras que con fibras de nopal, soya y pectina la dureza incrementa, pero la masticabilidad permanece sin diferencia significativa entre tratamientos (Caceres *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2012; Hyun-Wook *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2016; Diego-Zárate *et al.*, 2021).

La concentración de la fibra es un factor que influye de manera significativa en la dureza de los productos desarrollados, sin existir una relación concentración-dependiente creciente o decreciente. Diego-Zárate *et al.* (2021) encontraron un incremento en la dureza de salchichas Viena al aumentar el contenido de fibra de nopal hasta un 4 %, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos.

Sin embargo, una concentración del 6 % de la fibra produce un decremento de 29.73 N a 16.84 N. Este mismo comportamiento fue observado por Flores *et al.* (2005) y Schmiele *et al.* (2015), quienes señalan una tendencia creciente de los niveles de dureza al incrementar las concentraciones de fibras del 1 % al 1.5 %, pero con una reducción en el valor de este parámetro en concentraciones de 1.3 g.

Respecto a la cohesividad todas las muestras de salchichas bajas en grasa adicionadas con diferentes fibras (de banana y de nopal) presentan una disminución respecto al control a mayor incorporación de la fibra, a excepción de cuando se añaden fructooligosacáridos o polvo de guayaba, donde este valor es mayor posiblemente debido a la formación de enlaces más fuertes entre las partículas de la carne, provocadas por la reducción de grasa (Caceres *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2012; Verma *et al.*, 2013; Diego-Zárate *et al.*, 2021).

En otros productos como nuggets de pollo donde se añade harina de banana se presenta un comportamiento similar al de las salchichas, donde de forma significativa incrementan los valores de dureza y elasticidad, y decrece la cohesividad (Kumar *et al.*, 2011); mientras que en hamburguesas de cerdo crudas incorporadas con albedo de maracuyá se observa mayor dureza a mayor concentración de la fibra, sin cambios significativos en cohesividad y elasticidad, aunque posterior al proceso de cocción los parámetros de dureza, gomosidad y masticabilidad aumentan, y la elasticidad disminuye de forma significativa (López-Vargas *et al.*, 2014).

2.6. Influencia de la fibra en los atributos sensoriales

La evaluación sensorial y la investigación del consumidor son herramientas relevantes en el desarrollo de productos cárnicos mejorados. Las pruebas sensoriales tradicionales, principalmente las pruebas hedónicas, son comúnmente utilizadas para evaluar las propiedades organolépticas de nuevos productos cárnicos en los estudios de investigación, siendo la terneza y la jugosidad los atributos más analizados sensorialmente. Sin embargo, se ha observado que el uso de estos dos parámetros limita la evaluación general de los productos y se consideraron atributos extra relevantes: apariencia, color, terneza, jugosidad, aroma y sabor, permitiendo así tener un juicio más objetivo y preciso, que puede dar una mejor indicación de la aceptación del consumidor (Ruiz-Capillas *et al.*, 2021).

Varios autores han evaluado distintos aspectos sensoriales en productos cárnicos adicionados con fibra dietética. Por ejemplo, Schmiele *et al.* (2015) reportaron que al incorporar fibra de celulosa amorfa a salchichas fermentadas bajas en grasa obtuvieron un producto percibido como de menor jugosidad y suavidad. Kumar *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la adición de harina de banana y cáscara de soya en nuggets de pollo señalando que los tratamientos con harina sola o en combinaciones no tuvieron ventajas adicionales en los atributos sensoriales, aunque las muestras con mezcla de harinas 50:50 fueron óptimas considerando los diferentes parámetros fisicoquímicos y sensoriales.

Pietrasik y Janz (2010) señalaron que la aceptabilidad de salchichas Bologna bajas en grasa y adicionadas con fibra de chícharo disminuye al disminuir el contenido de grasa, pero, a su vez, aumenta a mayor adición de fibra; inclusive las muestras bajas en grasa y con fibra adicionada

obtuvieron mejor evaluación y aceptabilidad por parte de los panelistas. Ayadi *et al.* (2009) incorporaron carragenano a salchichas de pavo, mostrando que su contenido hasta en 1 % no tiene efecto significativo sobre el sabor de las salchichas. Así mismo, las puntuaciones promedio para “aspecto” muestran que la aceptabilidad de los panelistas hacia las salchichas formuladas con carragenanos incrementa con la concentración de la goma.

La adición de fibra de cítricos o fructooligosacáridos en salchichas cocidas tiene un potencial importante en la aceptación y percepción general por parte de los panelistas, ya que, aunque se han encontrado diferencias en color, olor, sabor, aroma y textura, éstas no resultan significativas y las muestras fueron bien calificadas con respecto a la aceptabilidad general, independientemente de su contenido de grasa y la cantidad de fibra añadida (Caceres *et al.* 2004; Aleson-Carbonell *et al.* 2005).

De forma contraria, otros autores reportan que la aceptabilidad general y por atributos de salchichas adicionadas con diferentes fibras disminuye de forma significativa al incrementar su proporción en la muestra. No obstante, la influencia de la fibra en la salchicha difiere para cada parámetro según la fuente; por ejemplo, Diego-Zarate *et al.* (2021) señalan que adicionar 2 % de fibra de nopal no produce diferencias significativas en la apariencia, el color y el sabor respecto al control, pero sí con 4 % de la fibra. Turhan *et al.* (2005) incorporaron cubierta de avellana y encontraron que existen diferencias significativas entre apariencia, jugosidad y sabor cuando el porcentaje de fibra es del 2 %, pero dichos cambios no se perciben cuando se emplea únicamente el 1 %.

2.7. Expectativas

Hoy en día existe una amplia variedad de reportes de investigaciones y estudios científicos en los que se demuestra que diversas fuentes de fibras dietéticas ya sean provenientes de frutas, cereales, legumbres e incluso de subproductos de otras industrias, son utilizadas en la formulación de distintos productos cárnicos con resultados favorables debido a las características funcionales que desempeñan de forma particular en cada matriz alimentaria (Fig 1).

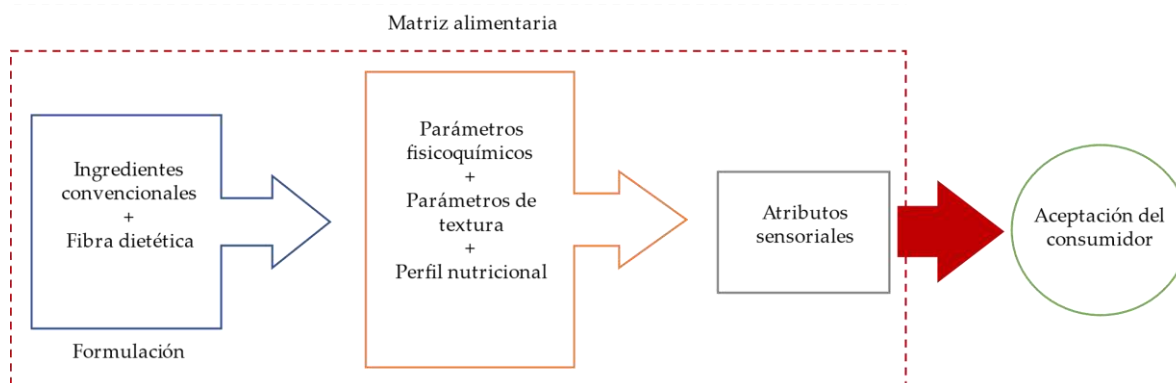


Fig 1. Relación efecto-incorporación de fibra dietética en productos cárnicos.

Fig 1. Effect-incorporation relationship of dietary fiber in meat products.

Aunque en la mayoría de los estudios se evalúa la incorporación de un solo tipo de fibra es relevante considerar otros aspectos para futuras investigaciones, entre ellos: (1) los posibles efectos sinérgicos de mezclas de fibras dietéticas, que brinden las mejores características texturales y los atributos sensoriales deseables para el consumidor; (2) la influencia del método de obtención de la fibra dietética; (3) la forma y el momento de inclusión en la matriz alimentaria; (4) la posible interacción entre la formulación y las condiciones de procesamiento. Sin duda alguna, el uso de fibras dietéticas representa un área de investigación en crecimiento y una oportunidad para el desarrollo de nuevos productos con un mayor valor agregado.

3. Conclusiones

La fibra dietética es un ingrediente que, al ser incorporado a distintos productos cárnicos, presenta propiedades funcionales y nutricionales benéficas que permiten su reformulación, ya sea enfocada a incrementar el consumo de este componente de la dieta o a una reducción en la ingesta de grasa. Cabe resaltar que, aun obteniendo buenos resultados a nivel tecnológico la aceptación del consumidor sigue siendo el factor decisivo para su consumo.

Diferentes fuentes de fibras han sido utilizadas en alimentos cárnicos, ya sea del tipo emulsionados, frescos o empanizados, como las salchichas, las hamburguesas o los nuggets, con resultados favorables. Por mencionar algunos ejemplos están el incremento en la CRA, disminución de las pérdidas por cocción y capacidad antioxidante a nivel tecnológico; reducción del contenido de grasa e incremento en el contenido de fibra dietética a nivel nutricional; y puntuaciones de aceptabilidad global comparables con un control en el nivel sensorial.

Aunque se han estudiado los efectos de una gran cantidad de fibras de forma aislada, es decir, incorporando un solo tipo de fibra, se ha observado que existe un efecto sinérgico cuando se emplean mezclas, de modo que el campo de investigación sigue siendo muy amplio.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés con respecto al presente trabajo.

4. Referencias

- Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J. A., & Kuri, V. (2005). Functional and sensory effects of fibre-rich ingredients on breakfast fresh sausages manufacture. *Food Science and Technology International*, 11(2): 89-97. <http://dx.doi.org/10.1177/1082013205052003>
- Angiolillo, L., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2014). Technological strategies to produce functional meat burgers. *LWT - Food Science and Technology*, XXX: 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.lwt.2014.08.021>

- Aruwa, C., Amoo, S., & Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International*, 112: 328-344. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.047>
- Ayadi, M., Kechaou, A., Makni, I., & Attia, H. (2009). Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of Food Engineering*, 93: 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.033>
- Barber, T., Kabisch, S., Pfeiffer, A., & Weickert, M. (2020). The health benefits of dietary fiber. *Nutrientes*, 12, 3209. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fnu12103209>
- Bis-Souza, C.V., Henck, J. M. M., & Barreto, A. C. S. (2018). Performance of low-fat beef burger with added soluble and insoluble dietary fibers. *Food Science and Technology, Campinas*, 38(3): 522-529. <https://doi.org/10.1590/fst.09217>
- Biswas, A. K., Kumar, S., Bhosle, S., Sahoo, J., & Chatli, M. K. (2011). Dietary fiber as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, 2(4): 45-54. <https://doi.org/10.5897/IJLP.9000007>
- Caceres, E., García, J., Toro, T., & Selgas, M. (2004). The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages. *Meat Science*, 68: 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.008>
- Cofrades, S., Guerra, M., Carballo, J., Fernández-Martín, F., & Jiménez, F. (2000). Plasma protein and soy fiber content effect on Bologna sausage properties as influenced by fat level. *JFS: Food Chemistry and Toxicology*, 65(2): 281-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15994.x>
- Cui, S.W., Nie, S., & Roberts, K. T. (2011). Functional Properties of Dietary Fiber. En M. Moo-Young (ed.), *Comprehensive Biotechnology* (pp. 517-525). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00240-8>
- Diego-Zarate, L. M., Méndez-Zamora, G., Rivera-De Alba, J. A., & Flores-Girón, E. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia* spp.) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biocencia*, XXII (2): 89-95. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v23i2.1377>
- Dos-Santos, B., Bastianello-Campagnol, P. C., Bertoldo-Pacheco, M., & Rodrigues-Pollonio, M. (2012). Fructooligosaccharides as a fat replacer in fermented cooked sausages. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6): 1183-1192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02958.x>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbe, S., & Blecker, C. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124: 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Flores, E. A., Burciaga, A. A., Soriano, T.C., Alonso, N. M., & Ramírez, B.P. (2005). Uso de fibra de avena y trigo en salchicha Viena evaluando nivel de agrado y perfil de textura. <https://bit.ly/3knxdok>
- Gelroth, J. & Ranhotra, G. S. (2001). Food Uses of Fiber. En S. Sungsoo & M. Dreher. (ed.), *Handbook of dietary fiber* (pp. 465-481). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/9780203904220>
- Gill, S., Rossi, M., Bajka, B., & Whelan, K. (2020). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18: 101-116. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4>

- Hu, J., La Vecchia, C., Morrison, H., Negri, E., & Mery, L. (2011). Salt, processed meat and the risk of cancer. *European Journal of Cancer Prevention*, 20(2): 132-139. <https://doi.org/10.1097/cej.0b013e3283429e32>
- Huber, E., Francio, D. L., Biasi, V., Mezzomo, N., & Salvador-Ferreira, S. R. (2016). Characterization of vegetable fiber and its use in chicken Burger formulation. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7): 3043–3052. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2276-y>
- Hyun-Wook, K., Yong, J. L., & Yuan, B. K. (2015). Efficacy of pectin and insoluble fiber extracted from soy hulls as a functional non-meat ingredient. *LWT - Food Science and Technology*, 64: 1071-1077. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.030>
- Jiménez-Colmenero, F., & Delgado-Pando, G. (2013). Fibre-enriched meat products. En J. Delcour & K. Poutanen (ed.), *Fibre-rich and wholegrain foods. Improving quality* (pp. 329-347). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095787.4.329>
- Katari, N., Samoui, S., Trabelsi, I., Nasri, M., & Ben-Salah, R. (2014). Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. *Meat Science*, 96: 521-525. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.038>
- Keenan, D., Resconi, V., Kerry, J., & Hamill, R. (2014). Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach. *Meat Science*, 96: 1384–1394. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.025>
- Kim, H. J., & Paik, H. D. (2012). Functionality and application of dietary fiber in meat products. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(6): 695-705. <http://dx.doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.6.695>
- Kumar, A., & Banerjee, R. (2010). Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3): 247–257. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs13197-010-0039-8>
- Kumar, V., Kumar, A., Sahoo, J., Kumar, M., & Sivakumar, S. (2011). Quality and storability of chicken nuggets formulated with green banana and soybean hulls flours. *Journal of Food Science and Technology*, 50: 1058-1068. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0442-9>
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J.A., & Viuda-Martos, M. (2014). Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Meat Science*, 97: 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.010>
- Matos-Chamorro, A., & Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 4-17. <https://bit.ly/3OHNFOC>
- Mehta, N., Kumar, M., Kumar, P., Prakash-Malav, O., Kumar, A., & Kumar, D. (2019). Development of dietary fiber-rich meat products: Technological advancements and functional significance. En J.M. Mérillon & K. Ramawat (ed.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 763-795). Springer Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_9

- Ospina-Meneses, S. M., Restrepo-Molina, D. A., & López-Vargas, J. H. (2011a). Derivados cárnicos como alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2): 163-172. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69522607018>
- Ospina-Meneses, S. M., Restrepo-Molina, D. A., & López-Vargas, J.H. (2011b). Caracterización microbiológica y bromatológica de hamburguesas bajas en grasa con adición de fibra de banano verde íntegro. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 64(1): 5993-6005. <https://bit.ly/3vITqd8>
- Otles, S., & Nakilcioglu, E. (2019). Total dietary fiber intake, whole grain consumption, and their biological effects. En J.M. Mérillon & K. Ramawat (ed.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 701-722). Springer Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_7-1
- Ozturk, I., Sagdic, O., Tornuk, F., & Yetim, H. (2014). Effect of wheat sprout powder incorporation on lipid oxidation and physicochemical properties of beef patties. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 1112-1121. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.12407>
- Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2009). Color characteristics of meat and poultry processing. En L. Nollet & F. Toldrá (ed.), *Handbook of processed meats and poultry analysis* (pp. 355-373). CRC Press Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420045338>
- Pietrasik, Z., & Janz, J. A. M. (2010). Utilization of pea flour, starch-rich and fiber-rich fractions in low fat bologna. *Food Research International*, 43: 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.017>
- Rippe, J., & Angelopoulos, T. (2016). Relationship between added sugars consumption and chronic disease risk factors: Current understanding. *Nutrients*, 8(11): 697. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fnu8110697>
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2021). Sensory analysis and consumer research in new meat products development. *Foods*, 10: 429. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C. M., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Effect of tiger nut fiber on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85: 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>
- Schmiele, M., Chiarinelli, M., da Silva, A., & Rodrigues, M. (2015). Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. *Food Science and Technology*, 61: 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.037>
- Sinha, R., Cross, A., Graubard, B., Leitzmann, M., & Schatzkin, A. (2009). Meat intake and mortality: A prospective study over half a million people. *Archives of Internal Medicine*, 169(6): 562-571. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.6>
- Song, J., Pan, T., Wu, J., & Ren, F. (2016). The improvement effect and mechanism of citrus fiber on the water-binding ability of low-fat frankfurters. *Journal of Food Science and Technology*, 53: 4197-4204. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs13197-016-2407-5>
- Talukder, S. (2015). Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7): 1005-1011. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>

- Torres-González, J. D., González-Morales, K. J., & Acevedo-Correa, D. (2014). Análisis de Perfil de Textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 14(2): 63-75. <https://bit.ly/3KvNAKx>
- Turhan, S., Sagir, I. & Sule, N. (2005). Utilization of hazelnut pellicle in low-fat beef burgers. *Meat Science*, 71: 312-316. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.027>
- Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Torrentera-Olivera, N. G., Álvarez-Almora, E., González-Mendoza, D., Avendaño-Reyes, L., & González-Ríos, H. (2014). Response surface methodology for predicting quality characteristics of beef patties added with flaxseed and tomato paste. *Meat Science*, 97: 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.007>
- Verma, A., Rajkumar, V., Banerjee, R., Biswas, S., & Das, A. (2013). Guava (*Psidium guajava* L.) powder as an antioxidant dietary fibre in sheep meat nuggets. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 26: 886-895. <https://dx.doi.org/10.5713%2Fajas.2012.12671>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. (2010). Effect of adding citrus fibre washing water and rosemary essential oil on the quality characteristics of a bologna sausage. *LWT – Food Science and Technology*, 43: 958-963. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.003>
- Warner, R. (2017). Chapter 14 The Eating Quality of Meat – IV Water-Holding Capacity and Juiciness. En F. Toldrá (ed.), *Lawrie's meat Science* (pp. 419-459). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00014-5>
- Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(3): 13-23. <https://doi.org/10.12691/jfnr-1-3-1>
- Yun-Sang, C., Ji-Hun, C., Doo-Jeong, H., Hack-Youn, K, Mi-Ai, L., Hyun-Wook, K. Ju-Woon, L., Hai-Jung, C., & Cheon-Jei, K. (2010). Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems. *Meat Science*, 84(1): 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.048>

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Desempeño agronómico y fisiológico de variedades nativas de tomate mexicano sometidas a deficiencias de agua y nutrientes

Performance of native varieties of Mexican tomatoes submitted to water and nutrient deficiencies

Ramiro Maldonado-Peralta^{1,2}, Nicacio Cruz-Huerta², Iván Ramírez-Ramírez², Fernando Castillo-González³, Manuel Livera-Muñoz³, Manuel Sandoval-Villa⁴, y Víctor A. González-Hernández^{2*}

¹ Instituto Tecnológico Superior de Guasave, antes en ²Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal, ³PREGEP-Genética, y ⁴Edafología. Colegio de Postgraduados. km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, MÉXICO. C. P. 56230.

*Correspondencia: vagh@colpos.mx (Víctor A. González-Hernández)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.882>

Recibido: 31 de octubre de 2021; Aceptado: 23 de marzo de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El agua y los nutrimentos minerales son factores esenciales para el crecimiento vegetal y la producción agrícola. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de variedades nativas de tomate en respuesta a la reducción combinada de agua y de nutrientes (25 %) aplicada a cuatro variedades de tomates nativos y un híbrido comercial, en comparación con un régimen de riego y nutrición suficiente (100 %). Las principales variables evaluadas durante el ciclo de cultivo fueron: área foliar, biomasa, rendimiento, tamaño y número de frutos por planta, número de lóculos por fruto, firmeza, sólidos solubles totales, tasa fotosintética y eficiencia en el uso del agua (EUA). Se encontró que el híbrido comercial superó a los tomates nativos en área foliar, biomasa total, y en rendimiento de fruto, con y sin déficit hídrico. Entre los tomates nativos (que no han sido sometidos al mejoramiento genético formal) sobresalió la variedad de Oaxaca (OAX) por su alto potencial de rendimiento de fruto (estadísticamente similar al del híbrido) y por su alta EUA, tanto en ambiente favorable como en estrés hídrico-nutricional. La variedad del Edo. de México (EMX) destacó por su tolerancia al estrés expresada en rendimiento de fruto y en tasa de fotosíntesis. La variedad de Puebla (PUE) mostró tolerancia al estrés en área foliar y en biomasa total, así como buen rendimiento. Por su parte la variedad de Campeche (CAM) obtuvo el más alto contenido de sólidos solubles totales, tanto con y sin estrés. Estos resultados evidencian el potencial de estos tomates nativos en

productividad y calidad de fruto, potencial que podría ser utilizado para producción comercial y para formar nuevas variedades mejoradas.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., variedades nativas, área foliar, rendimiento, biomasa, eficiencia en uso del agua.

Abstract

Water and mineral nutrients are essential factors for plant growth and agricultural production. The objective of this work was to compare the response to a combined reduction (25 %) of water and mineral nutrition on four native tomato varieties and a commercial hybrid, compared to a sufficient irrigation and nutrition regime (100 %). The main variables evaluated during the growing cycle were: leaf area, biomass, yield, fruit size and number of fruits per plant, number of locules per fruit, and fruit firmness, total soluble solids, photosynthetic rate, and water use efficiency (WUE). It was found that the commercial hybrid outperformed the native tomatoes in leaf area, total biomass, and fruit yield, with and without water deficit. Among the native tomatoes (which have not been subjected to formal plant breeding), the variety from Oaxaca state (OAX) stood out for its high fruit yield potential (statistically similar to the hybrid) and its high WUE, both in a favorable environment and under water-nutrients stress. The variety from Mexico state (EMX) stood out for its tolerance to water and nutrient stress expressed in fruit yield and photosynthesis rate. Native variety from Puebla state (PUE) showed stress tolerance in leaf area and total biomass, as well as a good yield. Likewise, the variety from Campeche state (CAM) had the highest total soluble solids content, both with and without stress. These results show the potential of native tomatoes in productivity and fruit quality, which can be exploited directly for commercial production and as gene donors to form new improved varieties.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., native tomatoes, leaf area, yield, biomass, water use efficiency.

1. Introducción

La seguridad alimentaria mundial es amenazada por el rápido aumento de la población y los cambios drásticos en el clima (Fang y Xiong, 2015; Lesk *et al.*, 2016). El conocimiento de la diversidad genética de los tomates nativos (*Solanum lycopersicon* L.) y su desempeño ante los factores bióticos y abióticos coadyuva para realizar una agricultura sustentable que también permita su conservación y aprovechamiento (Monge-Pérez, 2014; Ripoll *et al.*, 2016, Tembe *et al.*, 2017; Kapoor *et al.*, 2020). Los tomates nativos mexicanos constituyen una fuente de riqueza genética, porque se ha demostrado que hay colectas nativas que toleran las condiciones adversas de cultivo en campo e incluso superan a híbridos comerciales (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

El cultivo comercial de tomate es una actividad agrícola de alta demanda de agua durante todo el ciclo, de modo que la falta de agua le induce estrés hídrico que afecta su calidad de fruto (Takács *et al.*, 2020), después de haberle provocado disminución en clorofilas y en asimilación de CO₂, a la vez de aumento en respiración, así como menor crecimiento y rendimiento (Zlatev y Cebola, 2012; Yuan *et al.*, 2016.). La sequía también afecta la absorción, el transporte y la distribución de nutrientes en la

planta (Rouphael *et al.*, 2012). Es de suponer que estos efectos adversos de la falta de agua serían agravados por una deficiencia nutrimental en el sustrato.

Asimismo, la sequía estimula la producción de ácido abscísico (ABA), ácido jasmónico y poliaminas en la raíz como medidas de protección contra el estrés, compuestos que reducen su crecimiento y actividad metabólica (Zhang y Huang, 2013; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2016.). La subsecuente acumulación de ABA en el tallo provoca cierre de estomas y disminución de transpiración y fotosíntesis, lo que restringe aún más la absorción de nutrimentos por la raíz y su transporte a la parte aérea (Caspar *et al.*, 2015). Todo ello reduce el crecimiento de la planta (Lynch *et al.*, 2012) y el rendimiento de fruto (Tembe *et al.*, 2017).

A través de su evolución las plantas han desarrollado mecanismos de defensa a nivel morfológico, fisiológico, bioquímico, celular y molecular, para poder superar las condiciones de déficit hídrico y el estrés por sequía (Lesk *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2021). La resistencia a la sequía de las plantas se puede clasificar en cuatro tipos básicos: prevención de la sequía, tolerancia a la sequía, escape a la sequía y recuperación de la sequía (Fang y Xiong, 2015). Las plantas de tomate poseen el mecanismo fisiológico de ajuste osmótico mediante acumulación de osmolitos como prolina, glicina, y betaina (Al Hassan *et al.*, 2015), para mantener la turgencia celular y evadir la sequía. Este y otros mecanismos de tolerancia a sequía sirven para enfrentar los efectos del cambio climático asociado con el aumento del CO₂ y otros gases de efecto invernadero que provocan calentamiento global, lluvias escasas o torrenciales.

Por tanto, conviene seleccionar variedades tolerantes al estrés (Hatfield y Dold, 2019), que posean altos valores de rendimiento y de eficiencia en el uso del agua y nutrientes, mediante evaluación de genotipos en condiciones de riego y nutrición deficitaria (Liu *et al.*, 2019). Un índice usado para medir el consumo de agua por la planta es la eficiencia del uso del agua (EUA), que representa los gramos de agua evapotranspirada por cada gramo de materia seca producida (Aspiazú *et al.*, 2010). El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de algunas variedades nativas de tomate y de un híbrido comercial a la reducción combinada de agua y nutrientes, bajo la hipótesis de que algunos de estos cultivares podrían ser tolerantes al estrés causado por la falta de agua y de nutrientes.

2. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en un invernadero de cubierta plástica UVII-720 ubicado en Texcoco, Estado de México (19° 28' LN y 98° 50' LW, altitud de 2250 m), donde se cultivaron cuatro variedades locales provenientes de diferentes estados del país: Campeche (CAM, colecta C-271), con fruto tipo calabaza; Estado de México (EMX, colecta M-428), con fruto en forma de pera; Oaxaca (OAX, colecta O-424), con fruto en forma de riñón; y Puebla (PUE, colecta P-447), con fruto en forma de pimiento. Como testigo se usó el híbrido Cid F1 (HIB, Harris Moran®) con fruto tipo saladette.

Las plántulas de 30 d de edad (provenientes de semillas sembradas el 26 de junio de 2016 en charolas germinadoras rellenas con turba como sustrato), se trasplantaron a bolsas negras de polietileno de 10 L (40 x 40 cm, 13 L) rellenas con grava fina (partículas de 2 a 5 mm de diámetro) de tezontle rojo como sustrato.

Las plantas fueron regadas y nutridas con una solución nutritiva (Steiner, 1961) aplicada mediante riego por goteo, con dos regímenes hídrico-nutricionales contrastantes en la disponibilidad de agua y de nutrientes (RHN): 1.2 L d⁻¹ por planta (100 %, testigo) y 0.3 L d⁻¹ por planta (25 % del testigo). Estos dos tratamientos se definieron de acuerdo con Flores *et al.* (2007), quienes reportaron que el consumo de agua del tomate varía de 0.2 L d⁻¹ en la etapa inicial y hasta 1.5 L d⁻¹ por planta en la etapa adulta.

Cada régimen hídrico y nutrimental (RHN) se preparó en un tinaco para poder aplicar simultáneamente las dos tasas de riego a sus respectivos tratamientos: RHN 100% (1.2 L d⁻¹) y RHN 25% (0.3 L d⁻¹). Estos dos RHN se iniciaron a partir de los 60 ddt. El diseño experimental usado para comparar los 10 tratamientos (cinco variedades por dos regímenes RHN) fue uno completamente al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones y con una planta por repetición.

Las variables del crecimiento y calidad de planta medidas a los 135 ddt, fueron: 1) Biomasa total por planta, en g de peso seco después de secado hasta peso constante en estufa con circulación forzada (Riossa®, México) a 70 °C por 72 h; 2) Área foliar (m²) por planta, con la suma del área de todas las hojas frescas de las mismas plantas muestreadas para biomasa, medida con el aparato LI-3100 (Licor, Inc., Lincoln, Nebraska, Estados Unidos); 3) Lecturas SPAD (contenido de clorofila) en la hoja madura más joven, reportada como el promedio de mediciones hechas cada 7 d con el SPAD-Konica Minolta 502 (Japan) portátil. Las variables agronómicas cuantificadas fueron el rendimiento de fruto y sus componentes: 4) Rendimiento de fruto (kg por planta), obtenido con la suma de los frutos recolectados en cada corte; 5) Número de frutos por planta, suma de los frutos cosechados en cada muestreo; y 6) Peso por fruto (g), igual al cociente del peso total de frutos entre el número de frutos. Se midieron cuatro frutos muestreados al azar para determinar calidad del fruto en cada repetición de cada tratamiento: 7) Número de lóculos, en corte transversal; 8) Grosor de mesocarpio (mm), con vernier (Trupper, modelo digital, México) en los frutos cortados a la mitad; 9) Firmeza (kg cm⁻²), con un texturómetro de Chatillón (Wagner, modelo FDV-30, Estados Unidos), adaptado con un puntal cónico de 2 mm; 10) Contenido de sólidos solubles totales, con un refractómetro digital ATAGO PR-100® (Japan), en tres gotas de jugo de fruto, los resultados se reportan en porcentaje (AOAC, 2012); 11) pH, con un potenciómetro (Corning, modelo 12, Estados Unidos) en la pulpa de los frutos molidos y homogenizados.

Las variables fisiológicas se midieron entre las 11:00 y 14:00 horas en hojas maduras jóvenes, a partir de los 60 ddt, en cuatro plantas de cada tratamiento, y luego cada 7 d hasta los 135 ddt. La tasa de asimilación de CO₂ con un aparato portátil de fotosíntesis Licor-6400 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, Estados Unidos), en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (variable 12). Las dos variables de eficiencia en uso de agua fueron las propuestas por Salazar-Moreno *et al.* (2014) y Yang *et al.* (2019), aquí adaptadas a solución nutritiva en lugar de agua: 13) Eficiencia en el uso del agua para producir biomasa (EUAb), en gramos de biomasa total por litro de solución nutritiva utilizada (g L⁻¹); y 14) Eficiencia en el uso del agua para producir fruto (EUAf), en litros de solución nutritiva usada para producir 1 kg de fruto fresco (L kg⁻¹).

Los análisis estadísticos que se aplicaron en las variables agronómicas, calidad del fruto y de biomasa, fueron análisis de varianza conforme a un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de dos factores, y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Estos análisis se ejecutaron con el programa estadístico SAS (versión 9.0). La comparación de medias de la tasa neta de fotosíntesis y los índices de EUA se compararon mediante desviaciones estándar en gráficos.

3. Resultados y discusión

Las variedades (Var) de tomate aquí estudiadas mostraron diferencias significativas (Prueba de F, $P \leq 0.05$), y fueron afectadas por RHN y por la interacción Var x RHN tanto en las variables de crecimiento y rendimiento de la planta como en las de calidad de fruto. En el tratamiento RHN 100 % (sin estrés), el HIB (testigo) y la variedad nativa OAX acumularon la mayor cantidad de biomasa, 248 y 249 g/planta, a los 135 ddt (Tabla 1). La reducción de agua y nutrientes del RHN 25 % perjudicó en mayor proporción a la variedad OAX (con pérdida de 30 %), mientras que la nativa EMX tuvo la menor pérdida (12 %), lo cual muestra que las variedades de tomate poseen diferentes grados de tolerancia al estrés hídrico y nutrimental. Según Farooq *et al.* (2009), el estrés hídrico reduce la asimilación de nitrógeno, fósforo y azufre, nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas.

En las variables contenido de clorofila medido con SPAD, área foliar, número de frutos por planta, biomasa total, grosor del mesocarpio y número de lóculos por fruto, la fuente de variación más importante fue el efecto genético (Var), mientras que, en tamaño y rendimiento de fruto, firmeza y pH del fruto, la variación más importante fue por el RHN, por la interacción Var x RHN, o por ambas.

Los valores de SPAD fueron similares en todas las variedades evaluadas (Tabla 1), excepto en la variedad nativa de Campeche (CAM) cuyas hojas son de color verde pálido y cuyo valor SPAD fue de apenas 60 % respecto a las demás variedades. En tres variedades nativas (PUE, EMX y CAM), el verdor foliar no se modificó significativamente por el estrés aplicado en el RHN 25 %, pero el híbrido comercial y la variedad nativa OAX tuvieron bajas de 6 %. Los bajos valores SPAD asociados al follaje verde pálido de la variedad CAM indican un menor contenido de pigmentos fotosintéticos, como demostraron Yuan *et al.* (2016) en tomate. Dado que el régimen RHN 25 % involucró menor disponibilidad de agua y de todos los nutrimentos, se puede inferir que también disminuyó el flujo de savia que es el principal medio de transporte interno de agua y de estos nutrientes.

Las cinco variedades de tomate evaluadas redujeron ($P \leq 0.05$) su crecimiento (Tabla 1) en biomasa total (BT) y sobre todo en área foliar (AF) cuando fueron sometidos a RHN 25 % que representa una deficiencia de 75 % combinada de agua y de nutrientes minerales. Expresadas en porcentajes, las pérdidas relativas fueron diferentes entre variedades pues las más severas en AF ocurrieron en el híbrido comercial que tuvo una reducción de 38 %, y las menores pérdidas que fueron de 19 % se dieron en la variedad nativa EMX; en BT la pérdida más grande fue de 30 % en la variedad nativa OAX y la menos afectada fue de 12 % en la nativa EMX por lo que ésta destacó por su tolerancia al estrés al haber tenido menos disminución en crecimiento foliar y en producción de biomasa. Al respecto, el mantenimiento de un área foliar adecuada es vital para la fotosíntesis como principal impulsor del crecimiento de las plantas (Deka *et al.*, 2018).

Tabla 1. Efecto de dos regímenes hídrico-nutrientales (RHN, 100 % [1.2 L] y 25 % [0.3 L] de solución nutritiva aplicada por día a cada planta, mediante riego por goteo), en el crecimiento de planta y lecturas SPAD de cinco variedades de tomate (cuatro nativas y un híbrido comercial), cultivadas a un tallo y a cuatro racimos en invernadero. Entre paréntesis se muestran los efectos relativos (en %) del déficit hídrico-nutricional en comparación con el testigo sin déficit, en cada variedad y en cada variable medida.

Table 1. Effect of two water-nutrient regimes (RHN, 100 % [1.2 L] and 25 % [0.3 L] of nutrient solution applied per day to each plant, by drip irrigation), on plant growth and SPAD readings of five tomato varieties (four native and one commercial hybrid), grown to one stem and four bunches in greenhouse. Relative effects (in %) of water-nutrient deficit compared to the control without deficit are shown in parentheses for each variety and for each variable measured.

Trat.Var- RHN	Biomasa total (g)	Área foliar (m ² /planta)	Lecturas SPAD
HIB 100	248.1 a	0.78 a	58.5 a
HIB 25	195.5 b (80 %)	0.48 c (61.5 %)	53.1 c (91 %)
OAX 100	249.4 a	0.60 b	55.8 b
OAX 25	175.4 c (70 %)	0.39 e (65 %)	52.7 c (94 %)
PUE 100	194.9 b	0.59 b	57.5 ab
PUE 25	157.3 e (81 %)	0.45 cd (76 %)	57.4 ab (100 %)
EMX 100	143.9 f	0.43 d	58.2 a
EMX 25	126.4 g (88 %)	0.35 e (81 %)	58.4 a (100 %)
CAM 100	167.8 d	0.39 e	34.2 d
CAM 25	145.1 f (86 %)	0.28 f (72 %)	33.6 d (98 %)

Variedades: Híbrido (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Varieties: Hybrid (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); State of Mexico (EMX) and Campeche (CAM). Means with different letters indicate significant differences (Tukey, 0.05).

Estos resultados confirman que hay diversidad genética entre las variedades aquí estudiadas en cuanto a su grado de tolerancia a los factores probados (75 % de falta de agua y de nutrición mineral). Tal diversidad podría atribuirse a diferencias genéticas entre las variedades de tomate, asociadas con su potencial genético y adaptación a los sitios de procedencia. También autores como Tembe *et al.* (2017) y Shamim *et al.* (2013) detectaron variabilidad en tolerancia a sequía por ajuste osmótico entre accesiones de tomate. Según Zanne *et al.* (2014), mediante cambios genéticos las plantas logran los ajustes evolutivos necesarios para adaptarse a los ambientes donde crecen. Al respecto, Zhang y Huang (2013) observaron que la planta produce ácido abscísico, ácido jasmónico y poliaminas libres, que le sirven para tolerar el estrés hídrico.

Las variedades de tomate también difirieron significativamente ($P \leq 0.05$) en tamaño y rendimiento de fruto, este último medido por su peso individual (Tabla 2; Figura 1). Los mayores rendimientos y valores de los componentes, peso de fruto y número de frutos por planta, se registraron en el híbrido comercial y en la variedad nativa OAX en el tratamiento RHN 100 %; en este tratamiento el tomate OAX obtuvo los frutos más grandes y pesados. Estas características de producción de fruto resultaron disminuidas ($P \leq 0.05$) por el estrés combinado que se aplicó (RHN 25 %), excepto en la variedad nativa EMX en la que la pérdida no fue significativa. El rendimiento de la variedad CAM tuvo pérdida de 27 %, mientras que 64 % en la variedad OAX, y en el híbrido CID las pérdidas por el estrés impuesto fueron de 64 % y 55 %. Según la clasificación de calibre del fruto de tomate para exportación (Premier Horticultura Group, http://www.premierhorticultura.com/exportacion_premier_horticultura_group.html), en el tratamiento RHN 100 % casi todas las variedades formaron frutos de tamaño grande (100 a 135 g por fruto), mientras que en el tratamiento RHN 25 % los frutos de cuatro variedades fueron de tamaño pequeño (43 g en OAX, 50 g en HIB, 53 g en EMX, y 57 g en CAM), y solo una variedad produjo frutos de tamaño mediano (72 g en variedad PUE).

Por otro lado, el número de frutos por planta (NFP) no fue modificado en grado significativo ($P \leq 0.05$) por el tratamiento RHN 25 %, aunque hubo desde una pérdida de 24 % en la variedad PUE hasta una ganancia de 11 % en la variedad OAX (Tabla 2). Respuestas similares del tomate al estrés hídrico fueron reportadas por Ripoll *et al.* (2016). El escaso efecto de la deficiencia hídrica-nutricional en el NFP podría atribuirse al ajuste osmótico celular (Al Hassan *et al.*, 2015), especialmente en tejidos meristemáticos e inmaduros como demostraron Barlow *et al.* (1980), de modo que la iniciación de los frutos, que ocurre en los meristemas florales, resultó inafectada. Recientemente, Nusrat *et al.* (2018) revelaron que el silicio puede mejorar la capacidad de ajuste osmótico del tomate y con ello aumentar su tolerancia a sequía.

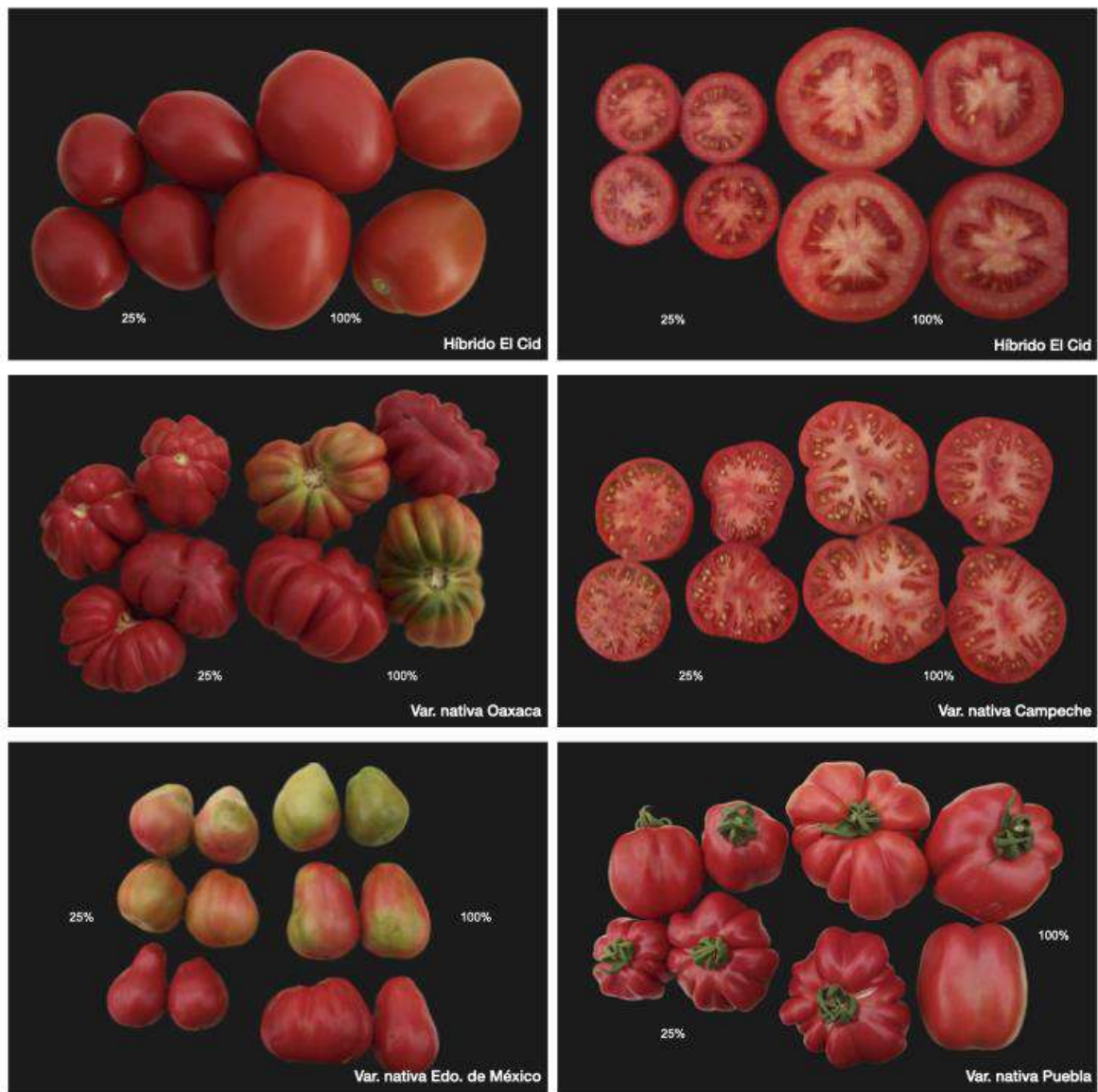


Figura 1. Frutos de los tomates cosechados en dos regímenes hídrico-nutricionales (25 % y 100 %), que ilustran sus diversas formas.

Figure 1. Fruits of tomatoes harvested in two water-nutrient regimes (25 % and 100 %), illustrating their various shapes.

Tabla 2. Efecto de dos regímenes hídricos-nutricionales (RHN, 100 % [1.2 L] y 25 % [0.3 L] de solución nutritiva aplicada por día y por planta, mediante riego por goteo) en el rendimiento de fruto y sus componentes (número de frutos por planta y peso por fruto), de cuatro variedades nativas de tomate y un híbrido comercial, cultivados a cuatro racimos en invernadero. Entre paréntesis se muestran los efectos relativos del déficit hídrico y nutricional en comparación con el testigo sin déficit, en cada variedad y en cada variable.

Table 2. Effect of two water-nutrient regimes (RHN, 100 % [1.2 L] and 25 % [0.3 L] of nutrient solution applied per day and per plant, by drip irrigation) on fruit yield and its components (number of fruits per plant and weight per fruit), of four native tomato varieties and one commercial hybrid, grown to four clusters in greenhouse. The relative effects of water and nutrient deficit compared to the control without deficit are shown in parentheses for each variety and for each variable.

Trat. Var-RHN	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento
			(kg/planta)
HIB 100	34.0 a	112.6 b	3.77 a
HIB 25	33.5 a (98 %)	50.4 ef (45 %)	1.70 d (45 %)
OAX 100	27.5 ab	154.8 a	3.63 ab
OAX 25	30.5 a (111 %)	43.5 e (28 %)	1.30 d (36 %)
PUE 100	22.2 bc	147.8 a	3.20 b
PUE 25	17.0 c (76 %)	72.4 cde (49 %)	1.20 d (37.5 %)
EMX 100	31.0 a	87.1 c	2.65 d
EMX 25	27.2 ab (88 %)	53.4 def (61 %)	1.82 d (69 %)
CAM 100	30.5 a	76.8 cd	2.28 c
CAM 25	30.0 ab (98 %)	56.7 def (74 %)	1.67 d (73 %)

Variedades: Híbrido comercial (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Varieties: Commercial hybrid (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); State of Mexico (EMX) and Campeche (CAM). Means with different letters indicate significant differences (Tukey, 0.05).

Las pérdidas en rendimiento registradas en el RHN 25 % podrían atribuirse a las reducciones en turgencia celular y en nutrición de los frutos con las consecuentes disminuciones en su crecimiento, como señalaron Deka *et al.* (2018). Otros autores como, Sibomana *et al.* (2013) reportaron que en condiciones de 40 % de la capacidad de campo hubo una disminución del 69 % en el rendimiento en tomate. Por su parte, Barraza (2012) reportó que al reducir la disponibilidad de nutrimentos en la

solución nutritiva de 175 % a 25 %, el rendimiento de fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.) disminuyó de 8.2 a 3.3 kg/planta, lo que representa un decremento de 60 %. Las reducciones en rendimiento, así como en calidad y crecimiento de las plantas causadas por déficit hídrico, se deben a reducciones de la elongación celular, así como de fotosíntesis, transpiración y distribución de nutrientes en la planta (Rouphael *et al.*, 2012).

Es de destacar el alto potencial de rendimiento de la variedad nativa OAX que en ausencia de estrés dio casi el mismo rendimiento de fruto (96 %) que el híbrido mejorado. La variedad PUE también logró un alto rendimiento de fruto con 3.2 kg/planta, que equivale a 85% del híbrido. Es decir, en esta pequeña muestra de cuatro variedades nativas, dos de ellas mostraron alto potencial de rendimiento, aún sin haber sido sometidas a fitomejoramiento genético formal, como en el caso del híbrido. En tamaño de fruto destacaron las variedades nativas OAX y PUE que en ausencia de estrés (RHN 100 %) superaron ($P \leq 0.05$) al híbrido comercial. Al respecto, Klunklin y Savage (2017) también reportaron diferencias entre cultivares de tomate en tamaño de fruto. En este contexto, se puede inferir que OAX y PUE superan a otras variedades de tomate en capacidad de demanda del fruto para alcanzar altos rendimientos (Tabla 2), y también que su área foliar es suficiente (Tabla 1) para abastecer los fotoasimilados a los frutos en crecimiento.

Sin embargo, en condiciones de deficiencia hídrica y nutricional (RHN 25 %) la variedad OAX tuvo la mayor pérdida de peso de fruto (72 %), por lo que este tomate nativo de alto potencial de rendimiento también es sensible al estrés hídrico-nutricional. Esta baja en tamaño del fruto por efecto del estrés hídrico podría afectar su exportación en caso de que se llegara a establecer una demanda internacional de este tipo de fruto, pero no afectaría a su comercialización nacional en donde el calibre del fruto no es tan importante, y menos aún para la elaboración de purés y para extracción de antioxidantes, ya que el tomate eleva su contenido de antioxidantes en respuesta al estrés (Al Hassan *et al.*, 2015; Yuan *et al.*, 2016; Kunklin y Savage, 2017). Según Sibomana *et al.* (2013), la falta de agua es el principal factor que restringe el crecimiento y rendimiento del tomate. Además de reducir los parámetros fotosintéticos y el crecimiento del tomate, la sequía hace que las plantas sean más sensibles a la infestación del ácaro *Tetranychus evansi*, efecto asociado a la acumulación de azúcares libres y aminoácidos en los tejidos (Ximénez-Embún *et al.*, 2016). Por su parte, Liu *et al.* (2019) reportaron que una dosis moderada de K de 0.46 g por kg de suelo (50 % de la dosis óptima) puede aliviar el efecto de sequía en tomate durante la etapa de maduración del fruto. Bista *et al.* (2018) consideran que la sequía provoca absorción restringida de nutrientes y menor concentración en frutos y hojas.

Las variedades evaluadas también difirieron ($P \leq 0.05$) en tipo y calidad del fruto (Tabla 3; Figura 1). En este trabajo, el número de lóculos por fruto varió desde un promedio de 2.5 (2 a 3) en el HIB hasta un promedio de 13.7 (13 a 14) en la variedad nativa CAM. Pero esta característica no fue modificada por el tratamiento de estrés RHN 25 %, ello atribuible a que la cantidad de lóculos es definida genéticamente desde etapas muy tempranas del desarrollo floral que ocurren en los meristemos a escala microscópica, que están protegidos del déficit hídrico mediante el ajuste osmótico. El número de lóculos del tomate define la forma del fruto, como señalaron Vásquez-Ortiz *et al.* (2010). En cambio, el grosor del mesocarpio que se determina durante el crecimiento del fruto resultó reducido ($P \leq 0.05$) por dicho estrés, con pérdidas desde 12 % (no significativa) en la variedad nativa EMX, hasta de 35 % (significativa) en el HIB.

Tabla 3. Efecto de dos regímenes hídrico-nutrientales (RHN, 100 % [1.2 L] y 25 % [0.3 L] de solución nutritiva aplicada por día y por planta, mediante riego por goteo) en cinco características de la calidad de fruto medidas en cuatro variedades nativas de tomate y un híbrido comercial, todos cultivados a cuatro racimos en invernadero. Las cifras entre paréntesis son los efectos relativos del déficit hídrico y nutricional en comparación con el testigo sin déficit, para cada variedad y en cinco variables medidas.

Table 3. Effect of two water-nutrient regimes (RHN, 100 % [1.2 L] and 25 % [0.3 L] of nutrient solution applied per day per plant by drip irrigation) on five fruit quality characteristics measured on four native tomato varieties and one commercial hybrid, all grown to four bunches in greenhouse. Figures in parentheses are the relative effects of water and nutrient deficit compared to the no-deficit control, for each variety and on five measured variables.

Trat. Var-	Número de	Grosor de	Sólidos	Firmeza	pH
		mesocarpio	solubles totales		
RHN	lóculos	(mm)	(%)	(kg cm ⁻²)	
HIB 100	2.5 f	9.9 a	5.8 cd	3.75 a	5.05 ab
HIB 25	2.5 f (100 %)	6.4 bc (65 %)	8.8 a (3 %)	3.80 a (101 %)	4.80 d (95 %)
OAX 100	10.7 bc	6.8 b	5.7 de	1.63 bc	5.00 b
OAX 25	10.5 c (98 %)	5.8 bc (85 %)	8.3 a (2.6 %)	1.91 bc (117 %)	5.00 b (100 %)
PUE 100	6.0 de	8.9 a	6.4 cd	2.26 b	5.05 ab
PUE 25	6.5 d (108 %)	6.4 b (72 %)	8.6 a (2.2 %)	3.10 a (137 %)	5.15 a (102 %)
EMX 100	4.0 ef	6.7 b	4.8 e	1.23 bc	4.95 bc
EMX 25	3.8 ef (95 %)	5.9 bc (88 %)	6.8 bc (2 %)	0.69 c (56 %)	4.85 cd (98 %)
CAM 100	13.7 a	4.8 c	6.5 bc	1.26 bc	4.60 e
CAM 25	13.0 ab (95 %)	3.5 d (73 %)	7.8 ab (1.3 %)	0.94 bc (75 %)	5.00 b (109 %)

Variedades: Híbrido comercial (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

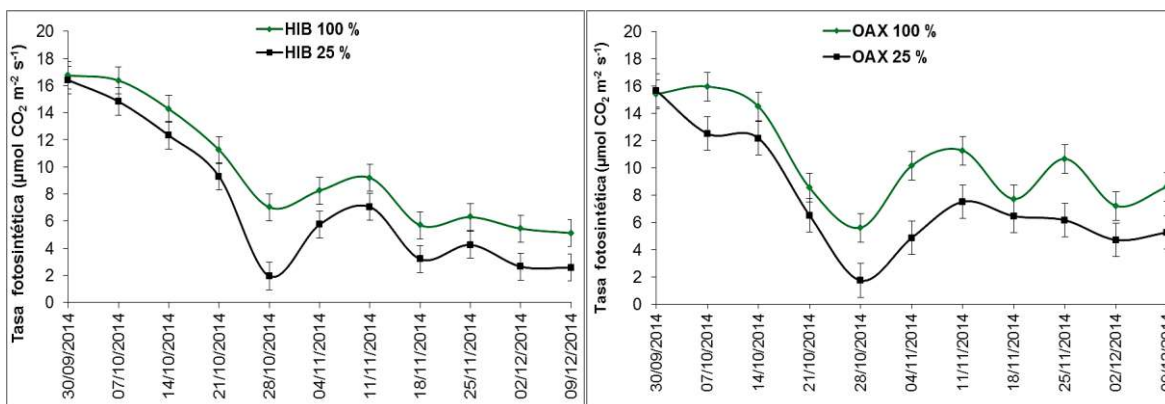
Varieties: Commercial hybrid (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); State of Mexico (EMX) and Campeche (CAM). Means with different letters indicate significant differences (Tukey, 0.05).

En las varias propiedades fisicoquímicas del fruto se encontró que en todas las variedades el estrés indujo aumentos significativos ($P \leq 0.05$) en el contenido de sólidos solubles totales (de los cuales predominan los azúcares), desde 1.3 % en la variedad nativa CAM (que pasó de 6.5 % sin estrés a 7.8 % con estrés) hasta un aumento de 3 % en el híbrido comercial (que subió de 5.8 a 8.8 %). Debido a que el estrés hídrico aumentó el dulzor del fruto en todas las variedades, en estas condiciones hubo menos diferencias entre variedades. En cuanto a la firmeza del fruto destacó el HIB en ausencia de estrés (RHN 100 %) con un valor de 3.8 kg cm⁻² que supera a todas las variedades nativas, las que fluctuaron de 1.23 kg cm⁻² en EMX hasta 2.26 kg cm⁻² en PUE. Las condiciones de estrés indujeron aumento de firmeza en dos variedades nativas, OAX y PUE con ganancias de 17 y 37 %, mientras que en las otras dos el estrés causó pérdidas de firmeza (de 44 % en EMX y de 25 % en CAM). Las diferencias en pH del jugo del fruto fueron pequeñas entre variedades y entre tratamientos de RHN.

Las respuestas varietales descritas evidencian la diversidad genética en propiedades cualitativas del fruto, incluyendo características de la cutícula del fruto que influyen en la firmeza y en sus respuestas a los dos niveles hídrico-nutricionales. En este rubro destaca la variedad nativa CAM por tener un pH más bajo que el resto de tomates, los que en ausencia de estrés tuvieron pH de 5 o valores muy cercanos.

Tasa de fotosíntesis neta

Las cinco variedades de tomate cultivadas bajo dos RHN disminuyeron sus tasas fotosintéticas netas a lo largo del ciclo, por efecto del estrés (Figura 2). La variedad nativa EMX se mostró tolerante al estrés porque presentó una tasa fotosintética igual que sus plantas testigo del tratamiento RHN 100 %. En contraste, las variedades nativas OAX y PUE resultaron ser las más susceptibles al tener la mayor pérdida fotosintética. El HIB y la variedad nativa CAM tuvieron pérdidas intermedias. Al respecto, es sabido que las respuestas a la falta de agua dependen del genotipo, la edad de la planta, y de la intensidad y duración de la sequía (Grzesiak *et al.*, 2013; Cui *et al.*, 2020).



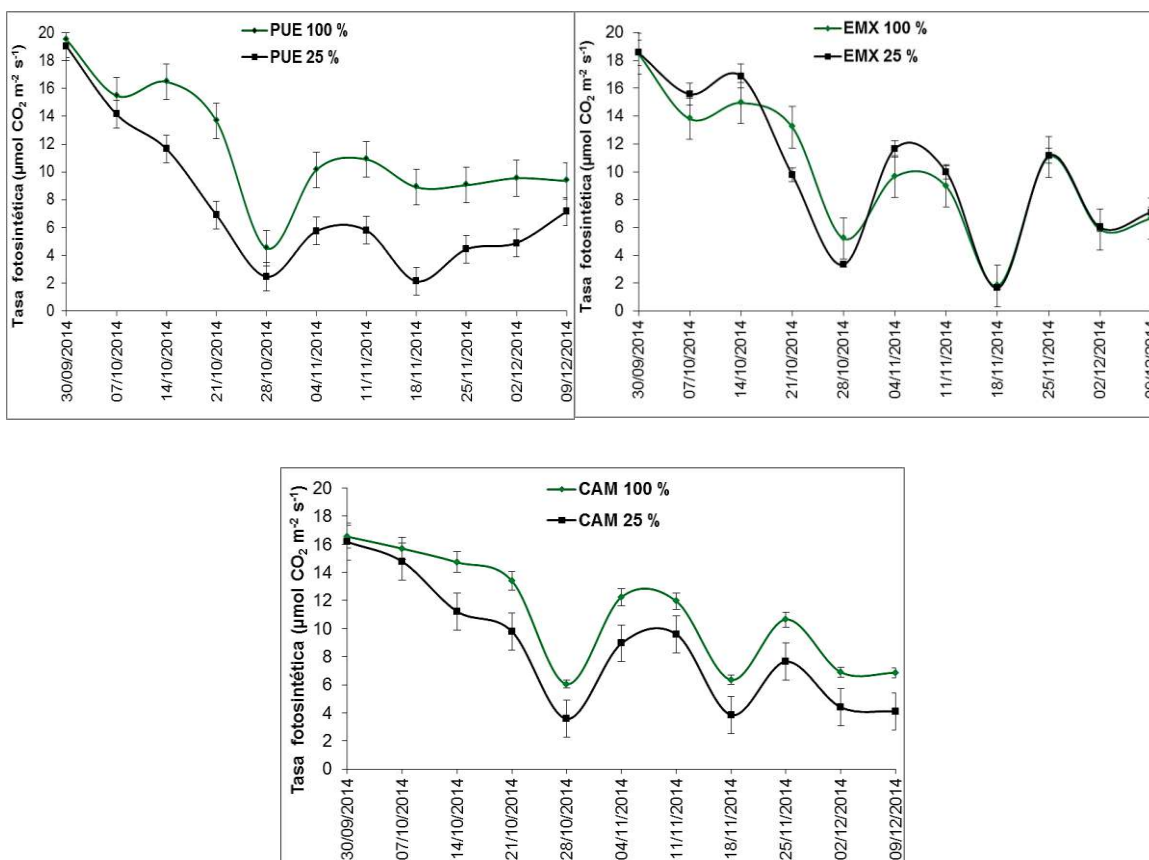


Figura 2. Tasa fotosintética en cinco variedades de tomate crecidas en invernadero y regadas con solución nutritiva mediante riego por goteo, bajo dos regímenes (RHN, 100 % [1.2 L] y 25 % [0.3 L] de solución nutritiva aplicada por día y por planta, mediante riego por goteo). Las variedades evaluadas son: El CID (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM).

Figure 2. Photosynthetic rate in five tomato varieties grown in greenhouse and irrigated with nutrient solution by drip irrigation, under two regimes (RHN, 100 % [1.2 L] and 25 % [0.3 L] of nutrient solution applied per day and per plant, by drip irrigation). The varieties evaluated are: El CID (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), State of Mexico (EMX) and Campeche (CAM).

La reducida capacidad fotosintética registrada en el tratamiento RHN 25 % se reflejó en menor acumulación de biomasa, pero con diferentes magnitudes en las variedades. Por ejemplo, la variedad nativa OAX perdió 74 g por planta, mientras que la nativa EMX solo bajó 17 g. Este contraste varietal podría mostrar que la tolerancia al estrés hídrico depende del genotipo. Algunos autores mencionan que el estrés por sequía disminuye la tasa fotosintética (Liang *et al.*, 2019). Además, induce cierre de estomas, reduce el flujo de savia en xilema y el transporte de nutrientes (Yuan *et al.*, 2016), de lo cual se infiere que en consecuencia también se reduce el flujo de savia en xilema y el transporte interno de nutrimentos.

La deficiencia hídrica y nutrimental afectó diversos aspectos del crecimiento de la planta, que involucraron cambios de anatomía, morfología, fisiología y bioquímica, como también apuntaron Florido y Bao (2014) y Kapoor *et al.* (2020). El conocimiento de los efectos del estrés en las

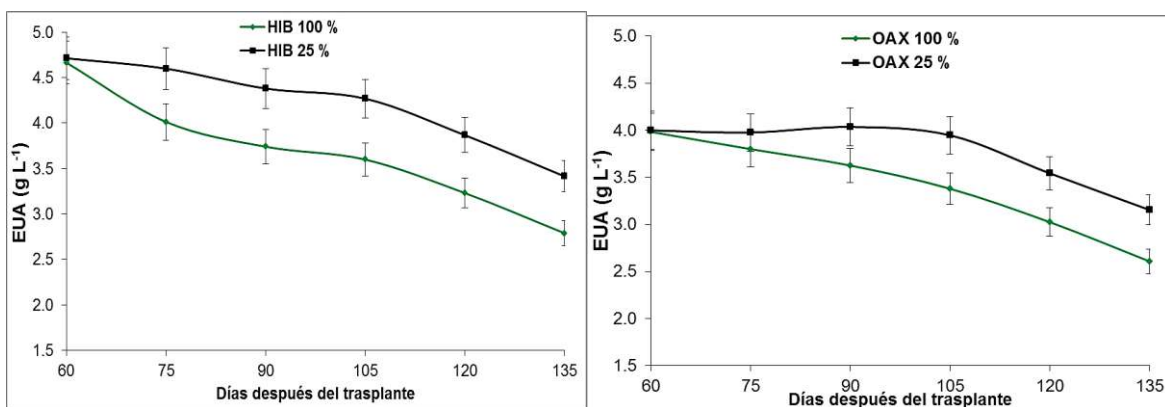
características de los tomates es importante, porque la agricultura sustentable requiere la explotación racional de variedades eficientes y tolerantes a los factores limitantes de la producción (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

En este estudio se encontró que el rendimiento de fruto correlacionó más con el número de frutos por planta ($r = 0.40$) que con el peso individual del fruto ($r = 0.20$), lo que sugiere que el número de frutos tiene el doble de efecto que el tamaño del fruto. En cambio, otros autores (Anuradha *et al.*, 2018) reportaron que el tamaño del fruto correlaciona en alto grado ($r = 0.75$) con el rendimiento de tomate.

Eficiencia en el uso de agua

En las cinco variedades de tomate el estrés causado por RHN 25 % elevó su eficiencia en uso del agua para producir biomasa (EUAb, en g de materia seca acumulada por litro de agua consumida), en comparación con el RHN 100 % (Figura 3). Tal ganancia en EUAb fue más notoria en las variedades nativas OAX y PUE, lo que indica que estas variedades toleran mejor la deficiencia de agua. Durante su ciclo, las cinco variedades disminuyeron su EUAb con la edad, sobre todo durante fructificación (>90 ddt), mientras que en los primeros 90 días las variedades EMX y PUE incrementaron su EUAb, para luego disminuirla durante fructificación.

El HIB tuvo la mayor EUAb al inicio (4.7 g L^{-1}), que luego declinó a 3.4 g L^{-1} en RHN 25% y a 2.7 g L^{-1} en RHN 100 % sin estrés. Aún así, este HIB tuvo una EUAb inferior (12 a 18 g L^{-1}) reportada por Fernández y Camacho (2005) en tomate también cultivado en invernadero en Almería, España. Entre las variedades nativas la de mayor EUAb fue OAX que inició con 4 g L^{-1} y finalizó con 3 g L^{-1} en RHN 25 %, y 2.5 g L^{-1} en RHN 100 %. De igual manera, Morad *et al.* (2009) reportaron que en condiciones de estrés hídrico un cultivo eleva su eficiencia en el uso del agua, en comparación con la ausencia de tal estrés. Por su parte, Liu *et al.* (2019) observaron que una dosis media de K puede mitigar el efecto de sequía en tomate durante la etapa de cuajado del fruto, lo cual indica que una baja en la nutrición de K puede ser benéfica al cultivo.



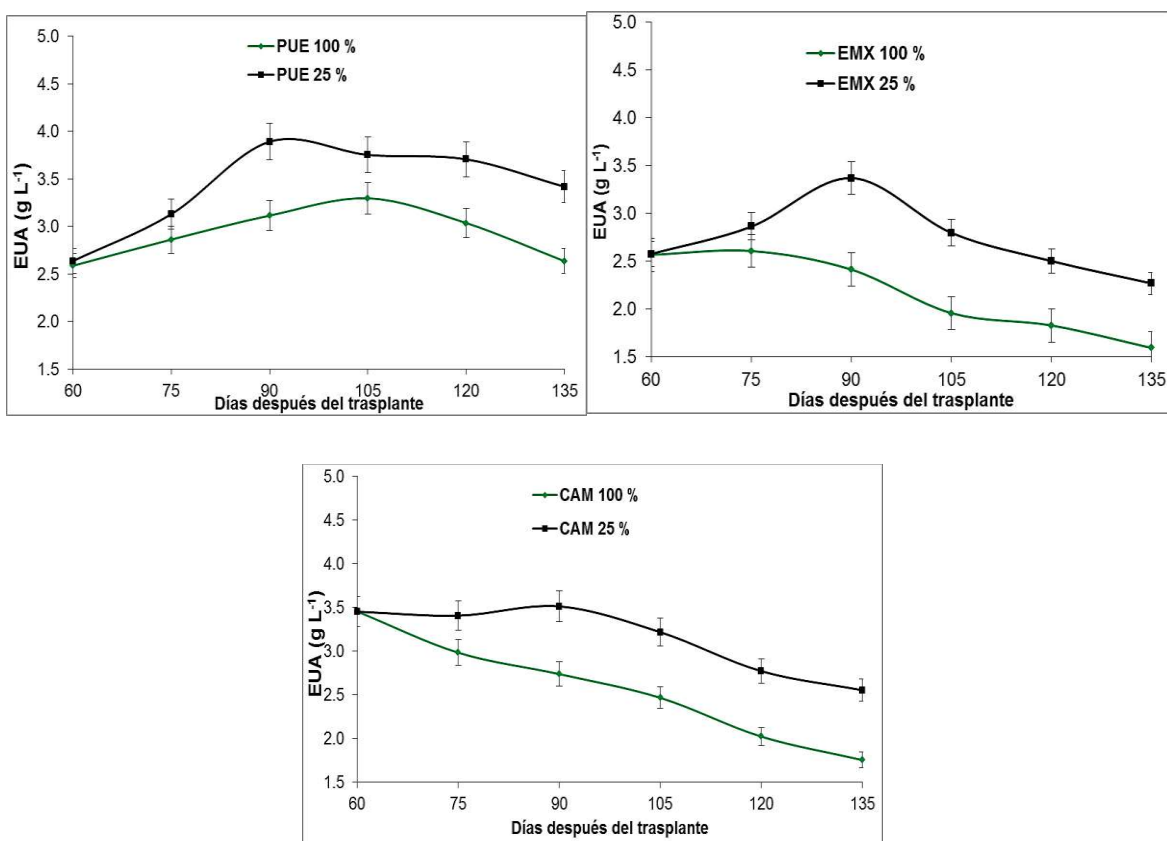


Figura 3. Eficiencia en uso de agua para producir biomasa (EUAb, en g de biomasa por litro de solución nutritiva consumida) de cinco variedades de tomate crecidas en invernadero con riego por goteo, bajo dos regímenes hídricos (100 y 25 % de 1.2 L d⁻¹ por planta). Las variedades son: El CID (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM).

Figure 3. Water use efficiency to produce biomass (EUAb, in g of biomass per liter of nutrient solution consumed) of five tomato varieties grown in drip irrigated greenhouses under two water regimes (100 and 25 % of 1.2 L d⁻¹ per plant). The varieties are: El CID (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), State of Mexico (EMX) and Campeche (CAM).

Mediante valores de eficiencia en el uso del agua para producir fruto (EUAF) se encontró que en riego las variedades de tomate con mayor rendimiento y menor requerimiento de agua para producir 1 kg de fruto (Cuadro 4), fueron el HIB (27 L kg⁻¹) y la variedad OAX (29 L kg⁻¹) que presentaron valores similares a los 27 L kg⁻¹ reportados por Stanghellini (2005) para tomate crecido en invernadero en Almería. En Nigeria, Agele *et al.* (2011) estimaron que el tomate requiere de 9 a 13 L de agua para producir 1 kg de fruto, basados en tasas de evapotranspiración. En este estudio, la variedad nativa PUE tiene la menor EUAF (45 L kg⁻¹) debido a que el déficit hídrico-nutricional le redujo severamente el rendimiento de fruto. En contraste, el tomate nativo EMX incrementó en 25 % su EUAF al pasar de riego (39 L kg⁻¹) a sequía (30 L kg⁻¹); destaca que esta variedad fue también la menos afectada por el régimen de déficit hídrico-nutricional 25 % en tasa de fotosíntesis (Figura 2).

Cuadro 4. Eficiencia en el uso del agua para producir fruto (EUAf), en cuatro variedades nativas y un híbrido comercial de tomate expuestos a dos regímenes hídrico-nutricionales (100 y 25 % de 1.2 L d⁻¹ por planta), crecidas en condiciones de cultivo hidropónico en invernadero.

Table 4. Water use efficiency to produce fruit (EUAf), in four native varieties and one commercial tomato hybrid exposed to two water-nutrient regimes (100 and 25 % of 1.2 L d⁻¹ per plant), grown under greenhouse hydroponic culture conditions.

Variedad	Regímenes de agua y nutrientes	
	Testigo	Tratamiento de estrés
HIB	27 c	34 bc
OAX	29 c	43 a
PUE	32 bc	47 a
EMX	39 ab	30 ab
CAM	45 a	33 bc

4. Conclusiones

El déficit hídrico-nutricional de 75 % redujo el área foliar en todas las variedades de tomate estudiadas, en mayor grado al híbrido comercial local El Cid (39 % de pérdida) y en menor grado a la variedad nativa del estado de México (19 % de reducción). En biomasa total el estrés impuesto afectó en mayor proporción a la variedad nativa de Oaxaca con 30 % de pérdida, en contraste con la variedad nativa del Estado de México que tuvo la menor pérdida (12 %). La variedad nativa del Estado de México bajo estrés también destacó por tener una tasa fotosintética neta igual a las plantas sin estrés, lo que denota su tolerancia fisiológica a tal adversidad. Estos resultados muestran diversidad genética entre las variedades nativas de tomate en tolerancia a estrés hídrico y nutricional, diversidad que puede aprovecharse para formar nuevas variedades de tomate más tolerantes al estrés y más adaptadas a diversos sistemas de producción. Todos los tomates evaluados fueron más eficientes en el uso del agua cuando crecieron en déficit hídrico-nutricional que cuando recibieron la dotación completa de solución nutritiva, lo que indica que es posible ahorrar agua en el cultivo hidropónico del tomate. Además, la reducción del riego y nutrientes resultó ser una estrategia promisorio para mejorar el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua del tomate.

5. Referencias

AOAC 2012. Official Methods of Analysis. 19th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 220p.

Agele, S.O., G.O. Iremiren & S.O. Ojeniyi, 2011. Evapotranspiration, water use efficiency and yield of rainfed and irrigated tomato. International Journal of Agriculture & Biology 13: 469–476.
<https://bit.ly/3uQmsOr>

- Al Hassan M., M. Martínez F., F.J. Ramos S., O. Vicente, & M. Boscaiu. 2015. Effects of salt and water stress on plant growth and on accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in cherry tomato. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43(1): 1-11. <https://doi.org/10.15835/nbha4319793>
- Anuradha B., P. Saidaiah, H. Sudini, A. Geetha & K. R. Reddy 2018. Correlation and path coefficient analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(5): 2748-2751. ISSN 2278-4136 <https://bit.ly/3DuvfLY>
- Aspiazú I., T. Sedyama, T., J.I. Rribeiro jr., A.A. Silva, G. Concenco, E.E. Ferreira, L. Galon, A.F. Silva, E.T. Borges, & W.F. Araujo. 2010. Water use efficiency of cassava plants under competition conditions. *Planta Daninha* 28(4):699-703. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000400001>
- Barlow E.W.R., R.E. Munns, & C.J. Brady. 1980. Drought responses of apical meristems. In: *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. N.C. Turner and P.J. Kramer (eds.). John Wiley & Sons, New York. Pp: 191-206.
- Barraza A., F.V. 2012. Acumulacion de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Revista Temas Agrarios* 17(2):1-18. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i2.699>
- Bista D. R., S. A. Heckathorn, D. M. Jayawardena, S. Mishra, & J. K. Boldt. 2018. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and -tolerant grasses. *Plants (Basel)* 7(2):28. <https://doi.org/10.3390/plants7020028>
- Caspar C., K. Peng, M. Movahedi, J.A. Dunn, H.J. Walker, Y-K. Liang, D.H. McLachlan, S. Casson, J.C. Isner, I. Wilson, S.J. Neill, R. Hedrich, J.E. Gray, & A.M. Hetherington. 2015. Elevated CO₂-induced responses in stomata require ABA and ABA signaling. *Current Biology* 25 (20): 2709-2716. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.09.013>
- Cui J., G. Shao J. Lu, L. Keabetswe & G. Hoogenboom. 2020. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola* 77 (2). <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0390>
- Deka D., A. K. Singh, & A. Singh, 2018. Effect of drought stress on crop plants with special reference to drought avoidance and tolerance mechanisms: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(9): 2703-2721. <https://doi.org/10.20546/ijcmas>
- Fang, Y. J. & L.Z. Xiong. 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 72, 673-689. <http://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>
- Farooq M., A. Wahid, N. Kobayashi D. Fujita & S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29 (1):185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Fernández R. E. y F. Camacho. 2005. Eficiencia en el uso del agua. *Revista Viveros* 86-89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531987011>
- Flores J., W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano e I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25(2):127-134. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325204>
- Florido B. M. y F. L. Bao. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales* 35(3):70-88. <https://bit.ly/3DCoasI>

- Grzesiak S., M.T. Grzesiak, T. Hura, I. Marcinska & A. Rzepka. 2013. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany* 88:2-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.01.010>
- Hatfield J.L. & C. Dold. 2019. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science* 10:103. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- Kapoor D., S. Bhardwaj, M. Landi, A. Sharma, M. Ramakrishnan & A. Sharma. 2020. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences* 10:1-19. doi: <https://doi.org/10.3390/app10165692>
- Klunklin W. & G. Savage. 2017. Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods* 6(8):56. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6080056>
- Lesk C., P. Rowhani & N. Ramankutty. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529:84-87. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Liang G., J. Liu, J. Zhang, & J. Guo. 2019. Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 145(1):12-17 DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS04725-19>
- Liu J, T. Hu, P. Feng, L. Wang, & S. Yang. 2019. Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. *PLoS ONE* 14(3): e0213643. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213643>
- Lynch J., P. Marschner, & Z. Rengel. 2012. Effect of internal and external factors on root growth and development. In: Marschner P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press, London. 643 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00013-3>
- Maldonado-Peralta R., P. Ramírez-Vallejo†, V.A. González Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz y N. Cruz-Huerta. 2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad* 12:68-75. <https://bit.ly/3J3lswp>
- Monge-Pérez J. E. 2014. Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 27(4):59-68. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i4.2086>
- Morad H. A., M. A. Ebrahimizadeh & S. Beecham. 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. *Agricultural Water Management* 96: 93-99. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.07.004>
- Nusrat A., A. Schwarzenberg, J-C. Yvin, A. H. Seyed. 2018. Regulatory role of silicon in mediating differential stress tolerance responses in two contrasting tomato genotypes under osmotic stress. *Frontiers in Plant Science* 9:1475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01475>
- Ripoll J., L. Urban, B. Brunel, & N. Bertin. 2016. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *Journal of Plant Physiology* 190:26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.006>
- Rouphael Y., M. Cardarelli, D. Schwarz, P. Franken & G. Colla. 2012. Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In: *Plant Responses to Drought Stress*. Pp:171-198. http://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_7

- Salazar-Moreno R., A. Rojano-Aguilar, e I.L. López-Cruz. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencia del Agua* 5(2):177-183. <https://bit.ly/3DEOjaj>
- Sánchez-Rodríguez E., L. Romero, J.M. Ruiz. 2016. Accumulation of free polyamines enhances the antioxidant response in fruits of grafted tomato plants under water stress. *Journal of Plant Physiology* 90:72-78. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.010>
- Shamim F., H. Athar, & A. Waheed. 2013. Role of osmolytes in degree of water stress tolerance in tomato. *Pakistan Journal of Phytopathology* 25(1):37-42. <https://bit.ly/3DCbZfu>
- Sibomana I. C., J. N. Aguyoh & A. M. Opiyo. 2013. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology* 2(4):461-466. <https://bit.ly/3DEQ3QT>
- Stanghellini, C. 2005. Irrigation water: use, efficiency and economics. In: *Improvement in Water Use Efficiency in Protected Crops*. Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp. 23-33.
- Steiner A., A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01347224>
- Takács S., Z. Pék, D. Csányi, H.G. Daood, P. Szuvandzsiev, G. Palotás, & L. Helyes. 2020. Influence of water stress levels on the yield and lycopene content of tomato. *Water* 12:2165. <https://doi.org/10.3390/w12082165>
- Tembe K., G.N. Chemining'wa, J. Ambuko, & W. Owino W. 2017. Effect of water stress on yield and physiological traits among selected African tomato (*Solanum lycopersicum*) land races. *International Network for Natural Sciences – Research Journal* 10(1):78-85. <https://bit.ly/3LINC2S>
- Vásquez-Ortiz, R., J. C. Carrillo-Rodríguez y P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8(2): 49-64. <https://bit.ly/3LJrtR>
- Ximénez-Embún M.G., F. Ortego, & P. Castañera. 2016. Drought-stressed tomato plants trigger bottom-up effects on the invasive *Tetranychus evansi*. *PLoS ONE* 11(1): e0145275. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145275>
- Yang H, M.K. Shukla, X. Mao, S. Kang & T. Du. 2019. Interactive regimes of reduced irrigation and salt stress depressed tomato water use efficiency at leaf and plant scales by affecting leaf physiology and stem sap flow. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00160>
- Yuan, X.K., Z.Q. Yang, Y.X. Li, Q. Liu, & W. Han. 2016. Effects of different levels of water stress on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities of greenhouse tomato. *Photosynthetica* 54: 28–39. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0122-5>
- Zanne A. E., D. C. Tank, W. K. Cornwell, J. M. Eastman, S. A. Smith, R. G. FitzJohn, D. J. McGlinn, B. C. O'Meara, A. T. Moles, P. B. Reich, D. L. Royer, D. E. Soltis, P. F. Stevens, M. Westoby, I. J. Wright, L. Aarssen, R. I. Bertin, A. Calaminus, R. Govaerts, F. Hemmings, M. R. Leishman, J. Oleksyn, P. S. Soltis, N. G. Swenson, L. Warman & J. M. Beaulieu. 2014. Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature* 506: 89-92. <https://doi.org/10.1038/nature12872>

- Zhang C. & Z. Huang. 2013. Effects of endogenous abscisic acid, jasmonic acid, polyamines, and polyamine oxidase activity in tomato seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae* 159:172-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.013>
- Zhao X., L. Kang, Q. Wang, C. Lin, W. Liu, W. Chen, T. Sang & J. Yan. 2021. Water use efficiency and stress tolerance of the potential energy crop *Miscanthus lutarioriparius* grown on the Loess Plateau of China. *Plants* 13,10(3):544. <https://doi.org/10.3390/plants10030544>
- Zlatev Z. & F. L. Cebola. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24: 57-72. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i1.10599>

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Prevalence and factors associated with anxiety and depression symptoms in adults from Chihuahua City, Mexico during COVID-19 pandemic and lockdown measures

Prevalencia y factores asociados a síntomas de ansiedad y depresión en adultos de la ciudad de Chihuahua, México durante la pandemia COVID-19 y las medidas de aislamiento

María Fernanda Guerrero-Lara¹, Sandra Alicia Reza-López², Luis Eduardo Juárez-Nogueira³, Alva Rocío Castillo-González⁴, Carlos Arzate-Quintana⁴, Geovanni Alexis Gómez-Ortega¹, María Isabel Saad-Manzanera¹ & María Alejandra Favila-Pérez^{4*}

¹ Investigation Department, Autonomous University of Chihuahua. Faculty of Medicine and Biomedical Sciences. Circuito Universitario Campus II. Chihuahua, Chih., México. C. P. 31109.

² Embryology Laboratory, Autonomous University of Chihuahua. Faculty of Medicine and Biomedical Sciences. Circuito Universitario Campus II. Chihuahua, Chih., México. C. P. 31109.

³ Psychiatric Hospital Doctor Ignacio González Estavillo. Av. Zootecnia No. 13201, Col. Zootecnia, Chihuahua, Chih., México. C.P. 31253.

⁴ Microbiology and Parasitology Department, Autonomous University of Chihuahua. Faculty of Medicine and Biomedical Sciences. Circuito Universitario Campus II. Chihuahua, Chih., México. C. P. 31109.

*Correspondencia: afavila@uach.mx (María Alejandra Favila Pérez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.889>

Recibido: 28 de noviembre de 2021; Aceptado: 29 de marzo de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Abstract

Introduction: Worldwide, during the coronavirus disease (COVID-19) pandemic, cases of anxiety and depression increased among the population. **Objective:** To determine the prevalence of anxiety and depression symptoms and identify their associated factors, including lockdown measures in the population over 18 years from Chihuahua, Chihuahua, Mexico, during the COVID-19 pandemic. **Method:** Cross-sectional study, with an online survey and snowball sampling. The GAD-7 (anxiety), PHQ-9 (depression) and Social Distancing Likert-type scales were used. Frequencies, measures of central tendency, and dispersion were calculated; bivariate analyses were performed with prevalence odds ratio as a measure of association between those with the presence and absence of anxiety and depression symptoms; for the total of the sample and stratifying by sex, calculating the

degree of association between the categorical variables using Fisher's exact test and χ^2 , considering a $p < .05$. *Results:* From 377 participants, 46 % had anxiety symptoms and 43 % had depressive symptoms. Being a woman, single, young (<50 years), student, not exercising, smoking, consuming alcohol, practicing social distancing measures, a history of a previous mental disorder or mental health care, were associated with symptoms of anxiety and depression. *Discussion and conclusion:* High prevalence of anxiety and depression symptoms were found, justifying a follow-up of the population's mental health.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, mental health, quarantine, social distancing.

Resumen

Introducción: A nivel mundial, durante la pandemia por la enfermedad por coronavirus (COVID-19) aumentaron los casos de ansiedad y depresión entre la población. *Objetivo:* Determinar la prevalencia de síntomas de ansiedad y depresión e identificar sus factores asociados incluyendo las medidas de aislamiento en población adulta de Chihuahua, Chihuahua, México durante la pandemia COVID-19. *Método:* Estudio transversal con encuesta en línea y muestreo en bola de nieve. Se emplearon las escalas GAD-7 (ansiedad), PHQ-9 (depresión) y de distanciamiento social tipo Likert. Se calcularon frecuencias, medidas de tendencia central y dispersión; se realizaron análisis bivariados con razón de momios de prevalencias como medida de asociación entre aquellos con presencia y ausencia de síntomas de ansiedad y depresión para el total de la muestra y estratificado por sexo, calculando el grado de asociación entre las variables categóricas mediante la prueba exacta de Fisher y χ^2 , considerando una $p < .05$. *Resultados:* De 377 participantes, 46 % presentaron síntomas de ansiedad y 43 % síntomas depresivos. Ser mujer, soltero(a), joven (<50 años), estudiante, no realizar ejercicio, el tabaquismo, consumo de alcohol, practicar las medidas de distanciamiento social, el antecedente de un trastorno mental previo y de atención de salud mental, estuvieron asociados con la presencia de síntomas de ansiedad y/o depresión. *Discusión y conclusión:* Se encontraron prevalencias elevadas de síntomas de ansiedad y depresión, justificando un seguimiento de la salud mental de la población.

Palabras clave: COVID-19, SARS-CoV-2, salud mental, cuarentena, distanciamiento social.

1. Introduction

Since SARS-CoV-2 is a highly contagious virus, social distancing and quarantine measures were adopted; although they have been essential strategies to reduce the infection rate, the World Health Organization (WHO) recognizes that they may be linked to negative effects on mental health (WHO, 2020).

During the first two weeks of quarantine in Wuhan, China, depression, and anxiety in adults were reported in 26.47 % and 70.78 % respectively; the prevalence was significantly higher among quarantined subjects (Tang *et al.*, 2020). Similar results were obtained in adults in Italy (Rossi *et al.*, 2020), the United States (Marroquín *et al.*, 2020) and Mexico (Galindo-Vázquez *et al.*, 2020): quarantine and social distancing were independently associated with more severe symptoms of depression and anxiety, and the prevalence of these symptoms were even higher than in other pandemics. Contrary to the results in a Mexico City study, where the presence of depressive

symptoms and general anxiety were associated with non-adherence to public health directives. In addition, economic difficulties were associated with poor mental health (Flores-Torres *et al.*, 2021). An interesting scenario that has been described in a Mexican population sample is where those who had symptoms of depression before social isolation reported the disappearance of depressive symptoms due to the effect of social isolation. It is worth mentioning that during the lockdown measures, in this same study, 4.29 % increased their tobacco consumption, and the highest percentage (18.18 %) of increase in alcohol level consumption was in individuals who drank alcoholic beverages to the point of losing consciousness before social isolation (Genis-Mendoza *et al.*, 2021). Furthermore, in other Mexican sample during the period from May to June 2020, reported that, throughout their lives, 58.8 % of the population had received some type of mental health care, and the most prevalent pathologies found were depression and anxiety (Rodríguez-Hernández *et al.*, 2021).

Chihuahua was the first state in Mexico to return to red traffic light (monitoring system for epidemiological risk of COVID-19) in October 2020, causing stricter implementation of measures to prevent the transmission of the virus (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2020). In addition, Chihuahua is third place nationwide in depression (Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud [DGE], 2021), and has the highest suicide rate by state (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2019). Therefore, these COVID-19 preventive measures, in addition to causing a possible increase in the prevalence of psychiatric disorders such as depression, it could raise suicide rates in the same way.

This highlights the need to assess mental health in the population. However, to date, there are no studies (to our knowledge) where the mental health of the general population of Chihuahua has been investigated, associated with the pandemic, social distancing measures and quarantine. Therefore, the objective of this study was to determine the prevalence of symptoms of anxiety, depression and their associated factors in the population over 18 years from Chihuahua, Chihuahua, Mexico, one year after the implementation of social distancing measures and quarantine for the COVID-19; which were applied by the federal government of Mexico on March 23, 2020 (Suárez *et al.*, 2020).

2. Materials and Methods

2.1. Design of the study

An observational study was conducted with a cross-sectional design using an online survey.

2.2. Subjects

People over 18 who could read and write, and those who were residents of the city of Chihuahua during the COVID-19 pandemic, were included. Those who did not wish to participate were excluded; and the surveys of those who during or after filling it out decided not to continue participating or had missing data were eliminated. We had a total of $n = 377$ participants, however

because of the web-based design, no response rate could be estimated, as it was not possible to estimate how many persons were reached. The sampling method used was non probabilistic.

2.3. Procedures

The data was collected with a Google Forms online survey, with snowball sampling from February 11 to March 11, 2021. The survey was first distributed to college students from the Autonomous University of Chihuahua via social networks (WhatsApp, Email, Facebook, and Telegram) and they were encouraged to share it. When accessing the link, informed consent was included prior to the questionnaire, it indicated the purpose of the research, and assured that the information to be provided as confidential, anonymous and that the participant could withdraw at any time. In addition, an email was provided for those who had questions before or after filling in the survey.

The questionnaire consisted of 39 items divided into six sections: 1. Sociodemographic and general data (age, sex, marital status, household, employment status, chronic diseases, smoking and alcohol consumption [these last two factors were also asked to determine whether there was any increase in the consumption of such substances since the implementation of the COVID-19 restrictive measures]); 2. Quarantine and social distancing (with quarantine / without quarantine, social distancing Likert-type scale, isolation time); 3. Mental health (previous mental disorder, previous mental health care); 4. Scale for symptoms of depressive disorders (PHQ-9); 5. Scale for general anxiety disorder (GAD-7); and 6. Other factors (social support, use of telecommunications, financial concerns, frequency of exposure to information about COVID-19, home office and online classes, physical exercise, loss of a loved one [Appendix 1]). The questionnaire had an average duration of 10 minutes and could be done at any time within the established days. The data was collected automatically by the same Google Forms online survey collector via Excel Microsoft Office.

2.4. Measurements

The following evaluation tools were used:

a) *Patient Health Questionnaire (PHQ-9)* (Kroenke et al., 2001): an instrument with nine items, where the response is evaluated on a scale from 0 to 3, being 0 "not at all", 1 "several days", 2 "more than half the days" and 3 "nearly every day". It evaluates the possible presence of major depressive disorder and the severity of depression symptoms. They were validated in the Mexican population (Familiar et al., 2015). Symptom severity classification was used with the values established by the scale authors, where 0-4 points are minimal, 5-9 mild, 10-14 moderate, 15-19 moderately severe and 20-27 severe. In addition, the cut-off point ≥ 10 was used to consider the presence of depressive symptoms (Kroenke et al., 2001). In our sample, the Cronbach's alpha was $\alpha = 0.89$

b) *Generalized Anxiety Disorder (GAD-7)* (Spitzer et al., 2006): a seven items questionnaire, where the response is evaluated with the same 0 - 3 scale mentioned above. It assesses the presence of possible generalized anxiety disorder. Validated in Mexican population (Castro Silva et al., 2016). Symptom severity classification was used with the values established by the scale authors, where 0-

4 points are minimal, 5-9 mild, 10-14 moderate and 15-21 severe. In addition, the cut-off point ≥ 10 was used to consider the presence of anxiety symptoms (Spitzer *et al.*, 2006). In our sample, the internal consistency was $\alpha = 0.91$

c) *Social Distancing Likert-type scale*: the actions evaluated were: 1. Staying at least 1.5 meters away from other people. 2. Work from home (online classes or home office). 3. Avoid greeting someone by shaking hands, hugging or kissing. 4. Not attending social gatherings or conglomerate sites. These measures were assessed on a five point scale, in which 0 means "I do not follow the recommendation at all", 1 "I follow the recommendation some of the time", 2 "less than half the time", 3 "more than half the time", 4 "most of the time" and 5, "I follow the recommendation all the time"; to gather information about how individuals practiced social distancing measures until the moment of the survey. A cut-off point of ≥ 14 was used to consider participants who fully complied with the measures (Galindo-Vázquez *et al.*, 2020), reaching an internal consistency of $\alpha = 0.77$

d) The participants who were considered in quarantine were those who claimed to remain at home and avoided social contact, only going out for what was strictly necessary during the pandemic (for the acquisition of essential supplies, in case of the need for medical care or emergencies); this, according to the regulations of agreement No. 049/2020 of the official newspaper of the Government of the State of Chihuahua, March 25, 2020 (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2020).

2.5. Statistical analyses

A minimum sample size of 306 participants was calculated, with an expected baseline frequency of 27.5 % based on the prevalence obtained in previous studies (Galindo-Vázquez *et al.*, 2020), and a 95 % confidence level, using the CDC's STATCALC application, EPI-INFO.

An exploratory analysis was performed; the Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test was applied to verify the normal distribution of the variables measured on a ratio scale. Measures of central tendency and dispersion were obtained for the age. The prevalence of anxiety and depression symptoms was calculated. Pearson's Chi-square and Fisher's exact test were used to identify the association between the independent (IV) and dependent variables (DV). The DV was the presence or absence of symptoms of anxiety and depression; the IV were those in which statistically significant differences ($p < .05$) were found: age, sex, marital status, employment status, comorbidities, use of telecommunications, financial concerns, home office, online classes, physical exercise, social distancing measures and quarantine. Prevalence Odds Ratio (POR) was calculated for each variable with a 95 % confidence interval (95 % CI). Additionally, a bivariate analysis stratified by sex was performed with the same procedure. Finally, Spearman's correlation was used to determine the linear relationship between anxiety and depression scores. Data was analyzed in SPSS V25.0, with statistical significance established at $p < .05$.

2.6 Ethical considerations

The present study was reviewed and approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Medicine and Biomedical Sciences of the Autonomous University of Chihuahua in February 2021

(CI-040-20). Informed consent was obtained prior to data collection, where the confidentiality and anonymity of the information was ensured. The ethical principles for medical research involving human subjects established in the Declaration of Helsinki were followed (World Medical Association, 2013).

3. Results and Discussion

A total of 416 individuals participated, of which 39 were excluded. The final sample consisted of 377 participants, of whom 262 were women and 115 men, with an age range of 18 to 83 years (Median [Me] = 25, Interquartile Range [IQR] = 14). The sociodemographic characteristics are shown in Table 1.

Table 1. Sociodemographic characteristics from the study population (n = 377)

Tabla 1. Características sociodemográficas de la población de estudio (n = 377)

Characteristic	n (%)
Age	
≤ 22 years	66 (18)
23-25 years	156 (41)
26-30 years	39 (10)
31-49 years	51 (14)
≥ 50 years	65 (17)
Sex	
Woman	262 (69)
Men	115 (31)
Marital status	
Single	262 (69)
Divorced or separated	16 (4)
Widow	7 (2)
Consensual union	6 (2)
Married	86 (23)
Household	
Living alone	21 (6)
Living with someone	356 (94)
Employment status	
Student	105 (28)
Health professional	85 (23)
Employee from other areas	139 (37)
Unemployed	17 (5)

Retired	10 (3)
Pensioner	4 (1)
Housekeeper	17 (5)
Comorbidities	
Presence of chronic diseases	75 (120)
Absence of chronic diseases	302 (80)
Smokers	52 (14)
Non-smokers	325 (86)
Alcohol consumption	242 (64)
No alcohol consumption	135 (36)
Presence of previous mental disorder	143 (38)
Absence of previous mental disorder	234 (62)
Prior mental health care	174 (46)
Absence of prior mental health care	203 (54)

Depressive and anxiety symptoms prevalence are shown in Figures 1 and 2, respectively.

A prevalence of 12 % (n = 44) of participants with only anxiety symptoms was found, followed by 9 % (n = 35) for those with depressive symptoms only, and a 34 % (n = 128) prevalence for those with symptoms of anxiety and depression altogether. A strong positive correlation (Spearman's $\rho = .77$, $p < .001$) was identified between the scores of the depression and anxiety scales.

For the female sex (n = 262), a prevalence of 53 % (n = 138) and 48 % (n = 127) was identified for anxiety ($p < .001$) and depression symptoms ($p .001$), respectively; while in men (n = 115) these prevalences were 30 % (n = 34) and 31 % (n = 36). Furthermore, being a woman was identified as a factor associated with a higher frequency of both anxiety (POR 2.65 [95 % CI 1.66-4.23] $p < .001$) and depression symptoms (POR 2.06 [95 % CI 1.3-3.27] $p .001$).

Among the 64 % (n = 241) quarantined subjects from the sample, 43 % (n = 104) had anxiety symptoms and 41 % (n = 98) of depression. On the other hand, of the individuals who frequently practiced the social distancing measures (73 %, n = 274), 45 % (n = 124) exhibited depressive and 49 % (n = 134) anxiety symptoms. No association was found between the quarantine group and the presence of symptoms; while those who frequently practiced the social distancing measures were associated with a higher frequency of anxiety symptoms (POR 1.63 [95 % CI 1.02-2.60] $p .03$), compared to those who partially complied them.

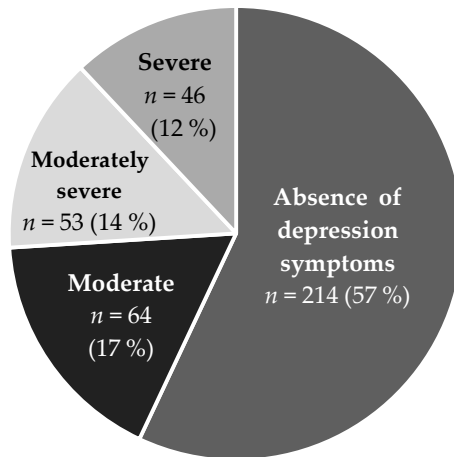


Figure 1. Prevalence of depressive symptoms in the ≥ 18 -year-old population of Chihuahua, Chihuahua during the COVID-19 pandemic.

Figura 1. Prevalencia de síntomas depresivos en personas ≥ 18 años de edad en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua durante la pandemia de COVID-19.

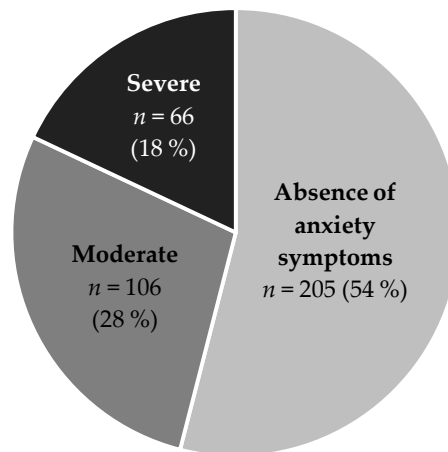


Figure 2. Prevalence of anxiety symptoms in the ≥ 18 -year-old population of Chihuahua, Chihuahua during the COVID-19 pandemic.

Figura 2. Prevalencia de síntomas de ansiedad en personas ≥ 18 años de edad en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua durante la pandemia de COVID-19.

The results of the bivariate analyses illustrating the factors associated with a higher frequency of anxiety and depression symptoms in our population sample are shown in Table 2. The bivariate analyses stratified by sex are presented in Table 3.

Table 2. Bivariate analyses of factors associated with symptoms of anxiety and depression in the ≥ 18 -year-old population of Chihuahua, Chihuahua ($n = 377$).**Tabla 2.** Análisis bivariados de factores asociados a síntomas de ansiedad y depresión en la población ≥ 18 años de Chihuahua, Chihuahua ($n = 377$).

	Presence of anxiety symptoms	Absence of anxiety symptoms	POR (95 % CI)	p	Presence of depression symptoms	Absence of depression symptoms	POR (95 % CI)	p
	n = 172 (46 %)	n = 205 (54 %)			n = 163 (43 %)	n = 214 (57 %)		
Age								
≤ 22 years	41 (62 %)	25 (38 %)	7.24 (3.25-16.12)	< .001	43 (65 %)	23 (35 %)	9.17 (4.03-20.89)	< .001
23-25 years	73 (47 %)	83 (53 %)	3.88 (1.92-7.83)	< .001	70 (45 %)	86 (55 %)	3.99 (1.94-8.21)	< .001
26-30 years	18 (46 %)	21 (54 %)	3.78 (1.55-9.20)	0.002	19 (49 %)	20 (51 %)	4.66 (1.89-11.50)	< .001
31-49 years	28 (55 %)	23 (45 %)	5.37 (2.33-12.39)	< .001	20 (39 %)	31 (61 %)	3.16 (1.34-7.47)	0.007
≥ 50 years	12 (18 %)	53 (82 %)	(Ref.)	-	11 (17 %)	54 (83 %)	(Ref.)	-
Marital status								
Single	130 (50 %)	132 (50 %)	2.04 (1.22-3.40)	0.005	131 (50 %)	131 (50 %)	3.09 (1.78-5.35)	< .001
Divorced or separated	8 (50 %)	8 (50 %)	2.07 (0.70-6.09)	0.18	6 (37 %)	10 (63 %)	1.85 (0.60-5.72)	0.27
Widow	2 (29 %)	5 (71 %)	0.82 (0.15-4.53)	1	2 (29 %)	5 (71 %)	1.23 (0.22-6.85)	1
Consensual union	4 (67 %)	2 (33 %)	4.14 (0.71-23.99)	0.17	3 (50 %)	3 (50 %)	3.09 (0.58-16.51)	0.18
Married	28 (33 %)	58 (67 %)	(Ref.)	-	21 (24 %)	65 (76 %)	(Ref.)	-
Employment status								
Student	55 (52 %)	50 (48 %)	1.67 (0.83 - 3.36)	0.14	59 (56 %)	46 (44 %)	3.84 (1.80 - 8.21)	< .001
Health professional	35 (41 %)	50 (59 %)	1.06 (0.51 - 2.19)	0.85	39 (46 %)	46 (54 %)	2.54 (1.16 - 5.55)	0.017
Employee from other areas	63 (45 %)	76 (55 %)	1.26 (0.64 - 2.46)	0.48	53 (38 %)	86 (62 %)	1.84 (0.88 - 3.86)	0.01
Currently not working*	19 (40 %)	29 (60 %)	(Ref.)	-	12 (25 %)	36 (75 %)	(Ref.)	-

Comorbidities								
Presence of chronic diseases	27 (36 %)	48 (64 %)	0.60 (0.36 – 1.02)	0.06	27 (36 %)	48 (64 %)	0.68 (0.40 – 1.15)	0.15
Absence of chronic diseases	145 (48 %)	157 (52 %)	(Ref.)	-	136 (45 %)	166 (55 %)	(Ref.)	-
Smokers	29 (56 %)	23 (44 %)	1.60 (0.89-2.89)	0.11	36 (69 %)	16 (31 %)	3.50 (1.86-6.58)	< .001
Non-smokers	143 (44 %)	182 (56 %)	(Ref.)	-	127 (39 %)	198 (61 %)	(Ref.)	-
Alcohol consumption	119 (49 %)	123 (51 %)	1.49 (0.97-2.29)	0.06	120 (50 %)	122 (50 %)	2.10 (1.35-3.27)	0.001
No alcohol consumption	53 (39 %)	82 (61 %)	(Ref.)	-	43 (32 %)	92 (68 %)	(Ref.)	-
Presence of previous mental disorder	90 (63 %)	53 (37 %)	3.14 (2.04-4.85)	< .001	88 (62 %)	55 (38 %)	3.39 (2.19-5.23)	< .001
Absence of previous mental disorder	82 (35 %)	152 (65 %)	(Ref.)	-	75 (32 %)	159 (68 %)	(Ref.)	-
Prior mental health care	96 (55 %)	78 (45 %)	2.05 (1.36-3.10)	< .001	99 (57 %)	75 (43 %)	2.86 (1.88-4.37)	< .001
Absence of prior mental health care	76 (37 %)	127 (63 %)	(Ref.)	-	64 (32 %)	139 (68 %)	(Ref.)	-
Use of telecommunications								
Always	70 (48 %)	77 (52 %)	0.57 (0.28-1.13)	0.1	63 (43 %)	84 (57 %)	0.57 (0.28-1.12)	0.1
Occasionally	75 (40 %)	111 (60 %)	0.42 (0.21-0.83)	0.01	75 (40 %)	111 (60 %)	0.51 (0.26-0.99)	0.04
Rarely	27 (61 %)	17 (39 %)	(Ref.)	-	25 (57 %)	19 (43 %)	(Ref.)	-
Financial concerns								
Always	24 (49 %)	25 (51 %)	0.90 (0.47-1.73)	0.76	22 (45 %)	27 (55 %)	0.94 (0.48-1.81)	0.85
Occasionally	77 (40 %)	113 (60 %)	0.64 (0.41-1.00)	0.04	77 (40 %)	113 (60 %)	0.78 (0.50-1.22)	0.29
Rarely	71 (51 %)	67 (49 %)	(Ref.)	-	64 (46 %)	74 (54 %)	(Ref.)	-
Home office and online classes								
Rarely	27 (31 %)	61 (69 %)	0.44 (0.26-0.75)	0.003	31 (36 %)	56 (64 %)	0.66 (0.40-1.12)	0.12
Occasionally	42 (54 %)	36 (46 %)	1.21 (0.72-2.03)	0.44	36 (46 %)	42 (54 %)	1.03 (0.61-1.74)	0.89
Frequently	103 (27 %)	108 (29 %)	(Ref.)	-	96 (25 %)	116 (31 %)	(Ref.)	-

Physical exercise								
Never	62 (54 %)	52 (46 %)	1.90 (1.06-3.37)	0.02	55 (48 %)	59 (52 %)	1.70 (0.77-3.77)	0.18
1 day per week	20 (38 %)	32 (62 %)	0.99 (0.48-2.03)	0.99	21 (40 %)	31 (60 %)	1.24 (0.50-3.04)	0.63
2 - 3 days per week	42 (45 %)	52 (55 %)	1.28 (0.70-2.34)	0.4	43 (46 %)	51 (54 %)	1.54 (0.68-3.48)	0.29
4 - 5 days per week	32 (39 %)	51 (61 %)	(Ref.)	-	32 (39 %)	51 (61 %)	1.15 (0.50-2.64)	0.74
6 - 7 days per week	16 (47 %)	18 (53 %)	1.41 (0.63-3.17)	0.39	12 (35 %)	22 (65 %)	(Ref.)	-
Quarantine								
Present	104 (43 %)	137 (57 %)	0.75 (0.49-1.15)	0.2	98 (41 %)	143 (59 %)	0.74 (0.49-1.14)	0.18
Absent	68 (50 %)	68 (50 %)	(Ref.)	-	65 (48 %)	71 (52 %)	(Ref.)	-
Social distancing measures								
Always complies them	134 (49 %)	140 (51 %)	1.63 (1.02 -2.60)	0.03	124 (45 %)	150 (55 %)	1.35 (0.85-2.15)	0.19
Partially complies them	38 (37 %)	65 (63 %)	(Ref.)	-	39 (38 %)	64 (62 %)	(Ref.)	-

POR, prevalence odds ratio; 95 % CI, 95 % confidence interval, * It includes the unemployed, retired, pensioner, and housekeeper categories.

Table 3. Bivariate analyses of factors associated with depression and anxiety symptoms stratified by sex, in the ≥ 18 -year-old population of Chihuahua, Chihuahua ($n = 377$).**Tabla 3.** Análisis bivariados de factores asociados a síntomas de depresión y ansiedad estratificado por sexo, de la población ≥ 18 años de Chihuahua, Chihuahua ($n = 377$).

	Women ($n = 262$)				Men ($n = 115$)			
	Depression symptoms POR (95 % CI)	p	Anxiety symptoms POR (95 % CI)	p	Depression symptoms POR (95 % CI)	p	Anxiety symptoms POR (95 % CI)	p
Age								
≤ 22 years	14.72 (4.68 - 46.30)	<0.0001	9.08 (3.28 - 25.08)	< 0.0001	4.90 (1.45 - 16.55)	0.008	5.71 (1.34 - 24.33)	0.02
23-25 years	7.32 (2.66 - 20.07)	<0.0001	3.83 (1.66 - 8.80)	0.001	1.01 (0.31 - 3.28)	0.97	2.66 (0.65 - 10.78)	0.21
26-30 years	8.25 (2.46 - 27.63)	0.0003	2.99 (1.03 - 8.65)	0.04	1.75 (0.38 - 7.87)	0.69	5.71 (1.08 - 30.07)	0.07
31-49 years	5.10 (1.64 - 15.84)	0.003	4.16 (1.56 - 11.10)	0.003	1.16 (0.23 - 5.72)	1	8.0 (1.53 - 41.63)	0.01
≥ 50 years	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Marital status								
Single	2.63 (1.40 - 4.94)	0.002	1.92 (1.05 - 3.51)	0.03	5.41 (1.50 - 19.46)	0.004	2.40 (0.82 - 7.01)	0.1
Divorced or separated	1.35 (0.38 - 4.72)	0.63	1.72 (0.51 - 5.79)	0.37	4.33 (0.29 - 63.29)	0.33	2.40 (0.18 - 31.88)	0.47
Widow	0.72 (0.07 - 7.43)	1	0.49 (0.04 - 5.03)	1	4.33 (0.29 - 63.29)	0.33	2.40 (0.18 - 31.88)	0.47
Consensual union	2.16 (0.28 - 16.63)	0.59	4.43 (0.43 - 45.31)	0.3	8.66 (0.42 - 177.32)	0.24	4.80 (0.25 - 90.30)	0.35
Married	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Employment status								
Student	7.26 (2.89 - 18.22)	<0.0001	3.28 (1.46 - 7.39)	0.003	0.40 (0.06 - 2.49)	0.4	0.24 (0.03 - 1.48)	0.17
Health professional	4.64 (1.87 - 11.51)	0.0006	1.37 (0.62 - 3.04)	0.43	0.14 (0.01 - 1.08)	0.12	0.25 (0.03 - 1.77)	0.19
Employee from other areas	4.06 (1.69 to 9.75)	0.001	2.60 (1.21 - 5.56)	0.01	0.12 (0.01 - 0.76)	0.02	0.13 (0.02 - 0.85)	0.03
Currently not working*	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-

Comorbidities								
Presence of chronic diseases	0.45 (0.24 - 0.85)	0.01	0.44 (0.24 – 0.83)	0.009	1.86 (0.70 – 4.92)	0.2	1.24 (0.45 – 3.41)	0.67
Absence of chronic diseases	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Smokers	4.32 (1.96 - 9.54)	0.0001	1.52 (0.76 – 3.06)	0.22	2.05 (0.63 – 6.63)	0.22	1.57 (0.47 – 5.20)	0.45
Non-smokers	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Alcohol consumption	2.41 (1.44 – 4.03)	0.0007	1.75 (1.06 – 2.90)	0.02	2.03 (0.78 – 5.25)	0.13	1.45 (0.57 – 3.64)	0.42
No alcohol consumption	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Presence of previous mental disorder	2.79 (1.68 - 4.61)	<0.0001	2.63 (1.59 – 4.35)	0.0001	4.39 (1.71 – 11.27)	0.001	3.13 (1.23 – 7.97)	0.01
Absence of previous mental disorder	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Prior mental health care	2.95 (1.78 – 4.90)	<0.0001	2.0 (1.22 – 3.28)	0.005	1.78 (0.76 – 4.19)	0.18	1.11 (0.46 – 2.70)	0.8
Absence of prior mental health care	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Use of telecommunications								
Always	0.42 (0.17 – 1.02)	0.05	0.29 (0.11 – 0.79)	0.01	0.87 (0.25 – 3.03)	0.83	1.46 (0.40 – 5.35)	0.75
Occasionally	0.35 (0.14 – 0.83)	0.01	0.22 (0.08 – 0.58)	0.001	0.91 (0.27 – 3.10)	0.89	0.96 (0.26 – 3.51)	1
Rarely	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-
Home office and online classes								
Rarely	0.85 (0.47 – 1.56)	0.61	0.44 (0.23 – 0.82)	0.009	0.42 (0.14 – 1.20)	0.1	0.57 (0.19 – 1.66)	0.3
Occasionally	1.65 (0.85 – 3.21)	0.13	1.75 (0.88 – 3.50)	0.1	0.53 (0.20 – 1.41)	0.2	1 (0.39 – 2.57)	0.99
Frequently	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-	(Ref.)	-

POR, prevalence odds ratio; 95 % CI, 95 % confidence interval, * It includes the unemployed, retired, pensioner, and housekeeper categories.

In our sample, 14 % (n = 52) reported being smokers. Since the beginning of the pandemic, 5 % (n = 18) showed a decrease in smoking, 4 % (n = 15) remained the same and in another 5 % (n = 19) is increased. On the other hand, 64 % (n = 241) of the population claimed themselves to consume alcohol; of which, since the beginning of the pandemic, 26 % (n = 99) reported a decrease in consumption, in 23 % (n = 88) it remained the same and in 14 % (n = 54) is increased. In this sample, no association was found between the increase in these habits and being in quarantine or practicing social distancing.

Compared with previous studies carried out at the beginning of the quarantine in other states of Mexico, using the same self-assessment scales, the results of this study show a higher prevalence of symptoms of depression and anxiety. A study conducted in the State of Mexico in April 2020 during the COVID-19 pandemic (Toledo-Fernández *et al.*, 2020), reported that 6.7 % and 12.5 % of the sample met the scores for moderate-severe symptoms of depression (PHQ-9) and anxiety (GAD-7), respectively, values below those observed in the present study. There were minimal differences compared to national research, with a 20.8 % prevalence of severe anxiety symptoms and 27.5 % of moderately severe-severe depression symptoms. In addition, this study found a positive correlation between depression and anxiety scores, as in the present study (Galindo-Vázquez *et al.*, 2020).

According to the 2018-19 National Health and Nutrition Survey (ENSANUT), the prevalence of moderate to severe depressive symptoms in the adult population of the North of the country (including the state of Chihuahua) was 12.9 % (Cerecero-García *et al.*, 2020), showing a higher percentage in the present research; the same situation observed in the case of the presence of anxiety symptoms reported by the 2003 National Psychiatric Epidemiology Survey, which was 14.3 % (Medina-Mora *et al.*, 2003). Compared with pre-pandemic data, higher prevalence of depression was found. Nevertheless, this comparison should be taken with caution, due to the different evaluation methods used (self-report versus interview) and the sampling strategy. Besides, our research uses screening tools that suggest the presence of a mental disorder, but do not allow establishing a diagnosis.

The prevalence of depression and anxiety symptoms among quarantined respondents was lower than those who were not quarantined; and in our sample no association was found between quarantine and the presence of symptoms of any disorder, unlike the results found in other research studies (Marroquín *et al.*, 2020; Ozamiz-Etxebarria, *et al.*, 2020; Rossi *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2020). This outcome could be due to the fact that following health authorities' recommendations may have protective psychological effects by giving individuals confidence and a sense of control in prevention (Alkhamees *et al.*, 2020), and are consistent with the outcomes found in a study with a Mexican population sample, in which those who had symptoms of depression before social isolation, reported the disappearance of symptoms of depression due to the effect of social isolation (Genis-Mendoza *et al.*, 2021).

Respondents who consistently practiced social distancing measures reported a higher prevalence of anxiety symptoms than those who did not, and a significant association was observed between social distancing and anxiety; consistent results with other studies establishing this impact on mental health as a result of a decrease in social interactions, the perception of loneliness and the fear of being infected with COVID-19 (Marroquín *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020).

In our population sample of Chihuahua city, being a woman, single, young age (<50 years), not exercising, having a history of a previous mental disorder or mental health care, were factors associated with a higher frequency of anxiety symptoms. While the factors associated with the presence of depressive symptoms were: being a woman, young age (<50 years), single, being a student (this being the profession with the highest association), health professional or employee in another area compared to subjects who currently were not working, smoking, alcohol consumption, having a history of a previous mental disorder and mental health care. Results consistent with previous studies (Alkhamees *et al.*, 2020; Galindo-Vázquez *et al.*, 2020; Ozamiz-Etxebarria *et al.*, 2020; Rossi *et al.*, 2020; Schuch *et al.*, 2020).

Factors associated with a lower frequency of anxiety symptoms include not having a home office or online classes and occasional use of telecommunications to maintain social interaction with loved ones. The first has been shown in other published works as a factor of anxiety due to unsatisfactory work environments, such as internet problems or difficulties in following a schedule from home (Wang *et al.*, 2020). Online classes have also been established as a contributor to stress and anxiety because of increased academic difficulty due to the abrupt transition to virtual mode, followed by concerns about delayed graduation and grades (Wang *et al.*, 2020). Finally, the use of telecommunications has been described as a coping mechanism due to the support received by the community, family or friends through these media, while at the same time it decreases the perceived sense of loneliness (Palgi *et al.*, 2020; Smith & Lim, 2020; Wang *et al.*, 2020).

On the other hand, occasional financial concerns were also inversely associated with anxiety symptoms, unlike the results reported in previous studies where it is established as a risk factor due to the anxiety generated by the lack of work, being unemployed and the availability of finances in the future (Smith *et al.*, 2020; Tull *et al.*, 2020). These outcomes may be the consequence of a bias due to confounding variables not assessed, such as resilience. In addition, the survey, being a self-report instrument, depends on the subject's memory and interpretation, requiring a more objective financial assessment.

It is worth noting that women with chronic diseases were less likely to present symptoms of both disorders, contrary to what has been described in the literature, which shows that people with these diseases suffer higher levels of psychological symptoms due to a higher risk of infection by COVID-19 along with a worse prognosis (Galindo-Vázquez *et al.*, 2020; Ozamiz-Etxebarria *et al.*, 2020; Özdin & Bayrak Özdin, 2020). These outcomes may reflect a bias as a result of the sample, since the minority ($n = 75$; 19 %) is the one with chronic diseases, requiring a larger sample of patients with this variable to reach precise conclusions, besides analyzing the impact these have on the quality of life of the participants.

Lastly, smoking increased in 5 % of the participants and decreased in another 5 %; expected results are that boredom and social distancing restrictions may have stimulated smoking, but the fear of contracting COVID-19 might have motivated others to decrease it (Bommelé *et al.*, 2020). The decrease in alcohol consumption was greater (26 %) than its increase (14 %), which may be due to the closure of establishments for its consumption. Therefore, the lower consumption may result from reduced access rather than a voluntary decision (Chodkiewicz *et al.*, 2020).

The present study has some limitations related to the sampling technique. Firstly, being a web-based survey with voluntary recruitment, it excludes people outside social networks, introducing a

selection bias, and secondly introducing a self-selection bias, as suggested by the highly unbalanced gender and age ratio observed (reason why it was decided to divide the sample with these specific age groups, so that the result could be analyzed with the lowest statistical self-selection bias). Also, given that the home office does not represent a voluntary decision, and since half of the Mexican population is working in an informal sector (workers that are not registered, regulated or protected by legal or regulatory frameworks), it is very likely that a significant proportion of the sample did not meet this factor because of this. Furthermore, the survey was based on self-report instruments, depending on the subject's memory or interpretation. For these reasons, the results presented should be interpreted with caution. However, these tools have been validated in the Mexican population with good results (Familiar *et al.*, 2015; Castro Silva *et al.*, 2016). It is necessary to mention the fact that the present study, by using a non-probabilistic sampling method, does not represent the general population of Chihuahua, which limits the external validity of the results.

4. Conclusions

This study is a first approach to the psychosocial aspect of the pandemic and its social distancing and quarantine measures in a population sample of Chihuahua, Chihuahua, where high prevalence of adverse mental health outcomes was found, and highlights the importance of monitoring the mental state of the population to improve preventive measures for the psychosocial effects of the pandemic. Those interventions that are already effective can benefit from targeting at-risk groups.

We hope the present study leads to the development of future studies in Chihuahua's México population to carry out a statistical surveillance of these psychiatric disorders throughout the pandemic. Longitudinal studies could be the next step to provide more information by having points of comparison along time; also, logistic regression analyses can provide more data by knowing through a predictive and explanatory model, the strength of association between the variables and the presence of anxiety and depression symptoms.

Funding

None

Conflicts of interest

All authors declare they have no conflicts of interest.

5. References

- Alkhamees, A. A., Alrashed, S. A., Alzunaydi, A. A., Almohimeed, A. S., & Aljohani, M. S. (2020). The psychological impact of COVID-19 pandemic on the general population of Saudi Arabia. *Comprehensive Psychiatry*, 102, 152192. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2020.152192>

- Bommel , J., Hopman, P., Hipple Walters, B., Geboers, C., Croes, E., Fong, G., Quah, A., & Willemsen, M. (2020). The double-edged relationship between COVID-19 stress and smoking: Implications for smoking cessation. *Tobacco Induced Diseases*, 18(July). <https://doi.org/10.18332/tid/125580>
- Castro Silva, E., Benjet, C., Juárez García, F., Jurado Cárdenas, S., Lucio Gómez-Maqueo, M. E., & Valencia Cruz, A. (2016). Adaptación y propiedades psicométricas del Inventory of Statements About Self-injury en estudiantes mexicanos. *Acta de Investigación Psicológica*, 6(3), 2544–2551. <https://doi.org/10.1016/j.aippr.2016.08.004>
- Cer cero-García, D., Macías-González, F., Arámburo-Muro, T., & Bautista-Arredondo, S. (2020). Síntomas depresivos y cobertura de diagnóstico y tratamiento de depresión en población mexicana. *Salud Pública de México*, 62(6, Nov-Dic), 840–850. <https://doi.org/10.21149/11558>
- Chodkiewicz, J., Talarowska, M., Miniszewska, J., Nawrocka, N., & Bilinski, P. (2020). Alcohol Consumption Reported during the COVID-19 Pandemic: The Initial Stage. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4677. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134677>
- Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud [DGE]. (2021). Boletín epidemiol gico, sistema nacional de vigilancia epidemiológica, número 53. Retrieved from <https://bit.ly/3DETveA>
- Familiar, I., Ortiz-Panozo, E., Hall, B., Vieitez, I., Romieu, I., Lopez-Ridaura, R., & Lajous, M. (2015). Factor structure of the Spanish version of the Patient Health Questionnaire-9 in Mexican women: Factor Structure PHQ-9 in Mexican Women. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 24(1), 74–82. <https://doi.org/10.1002/mpr.1461>
- Flores-Torres, M. H., Murchland, A. R., Espinosa-Tamez, P., Jaen, J., Brochier, M., Bautista-Arredondo, S., Lamadrid-Figueroa, H., Lajous, M., & Koenen, K. (2021). Prevalence and Correlates of Mental Health Outcomes During the SARS-Cov-2 Epidemic in Mexico City and Their Association With Non-adherence to Stay-At-Home Directives, June 2020. *International Journal of Public Health*, 66, 620825. <https://doi.org/10.3389/ijph.2021.620825>
- Galindo-Vázquez, O., Ramírez-Orozco, M., Costas-Mu niz, R., Mendoza-Contreras, L. A., Calderillo-Ru z, G., & Meneses-García, A. (2020). Síntomas de ansiedad, depresión y conductas de autocuidado durante la pandemia de COVID-19 en la población general. *Gaceta de México*, 156(4), 4607. <https://doi.org/10.24875/GMM.20000266>
- Genis-Mendoza, A. D., Martínez-Maga a, J. J., López-Narv ez, M. L., González-Castro, T. B., Juárez-Rojop, I. E., Nicolini, H., Tovilla-Zárate, C. A., & Castillo-Avila, R. G. (2021). Mental Health Problems Due to Social Isolation During the COVID-19 Pandemic in a Mexican Population. *Frontiers in Public Health*, 9, 703450. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.703450>
- Gobierno del Estado de Chihuahua (2020, 25 de marzo). Acuerdo N  049/2020, por medio del cual se emiten diversas disposiciones en materia sanitaria relacionadas con la enfermedad COVID-19. Artículo Octavo. Chihuahua, México: Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Chihuahua, N  25. http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/periodicos/po025_2020_.pdf
- Gobierno del Estado de Chihuahua. (2020). Regresa Chihuahua al rojo con sanciones ejemplares. Retrieved from <https://bit.ly/3LxoY51>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019). Estadísticas a propósito del día mundial para la prevención del suicidio. Retrieved from <https://bit.ly/3qXHZWp>

- Kroenke, K., Spitzer, R. L., & Williams, J. B. W. (2001). The PHQ-9: Validity of a brief depression severity measure. *Journal of General Internal Medicine*, 16(9), 606–613. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x>
- Marroquín, B., Vine, V., & Morgan, R. (2020). Mental health during the COVID-19 pandemic: Effects of stay-at-home policies, social distancing behavior, and social resources. *Psychiatry Research*, 293, 113419. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113419>
- Medina-Mora, M. E., Borges, G., Muñoz, C. L., Benjet, C., Jaimes, J. B., Bautista, C. F.,...Aguilar-Gaxiola, S. (2003). Prevalencia de trastornos mentales y uso de servicios: resultados de la Encuesta Nacional de Epidemiología Psiquiátrica en México. *Salud Mental*, 26(4), 16. <https://bit.ly/3vlaVt1>
- Ozamiz-Etxebarria, N., Idoiaga Mondragon, N., Dosil Santamaría, M., & Picaza Gorrotxategi, M. (2020). Psychological Symptoms During the Two Stages of Lockdown in Response to the COVID-19 Outbreak: An Investigation in a Sample of Citizens in Northern Spain. *Frontiers in Psychology*, 11, 1491. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01491>
- Özdin, S., & Bayrak Özdin, Ş. (2020). Levels and predictors of anxiety, depression and health anxiety during COVID-19 pandemic in Turkish society: The importance of gender. *International Journal of Social Psychiatry*, 66(5), 504–511. <https://doi.org/10.1177/0020764020927051>
- Palgi, Y., Shrira, A., Ring, L., Bodner, E., Avidor, S., Bergman, Y.,... Hoffman, Y. (2020). The loneliness pandemic: Loneliness and other concomitants of depression, anxiety and their comorbidity during the COVID-19 outbreak. *Journal of Affective Disorders*, 275, 109–111. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.06.036>
- Rodríguez-Hernández, C., Medrano-Espinosa, O., & Hernández-Sánchez, A. (2021). Salud mental de los mexicanos durante la pandemia de COVID-19. *Gaceta de México*, 157(3), 6195. <https://doi.org/10.24875/GMM.20000612>
- Rossi, R., Socci, V., Talevi, D., Mensi, S., Niolu, C., Pacitti, F.,...Di Lorenzo, G. (2020). COVID-19 Pandemic and Lockdown Measures Impact on Mental Health Among the General Population in Italy. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00790>
- Schuch, F. B., Bulzing, R. A., Meyer, J., Vancampfort, D., Firth, J., Stubbs, B.,...Smith, L. (2020). Associations of moderate to vigorous physical activity and sedentary behavior with depressive and anxiety symptoms in self-isolating people during the COVID-19 pandemic: A cross-sectional survey in Brazil. *Psychiatry Research*, 292, 113339. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113339>
- Smith, B., & Lim, M. (2020). How the COVID-19 pandemic is focusing attention on loneliness and social isolation. *Public Health Research & Practice*, 30(2). <https://doi.org/10.17061/phrp3022008>
- Smith, L., Jacob, L., Yakkundi, A., McDermott, D., Armstrong, N. C., Barnett, Y.,...Tully, M. A. (2020). Correlates of symptoms of anxiety and depression and mental wellbeing associated with COVID-19: A cross-sectional study of UK-based respondents. *Psychiatry Research*, 291, 113138. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113138>
- Spitzer, R. L., Kroenke, K., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2006). A Brief Measure for Assessing Generalized Anxiety Disorder: The GAD-7. *Archives of Internal Medicine*, 166(10), 1092. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.10.1092>

- Suárez, V., Suarez Quezada, M., Oros Ruiz, S., & Ronquillo De Jesús, E. (2020). Epidemiología de COVID-19 en México: Del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Revista Clínica Española*, S0014256520301442. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.05.007>
- Tang, F., Liang, J., Zhang, H., Kelifa, M. M., He, Q., & Wang, P. (2020). COVID-19 related depression and anxiety among quarantined respondents. *Psychology & Health*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/08870446.2020.1782410>
- Toledo-Fernández, A., Betancourt-Ocampo, D., Romo-Parra, H., Reyes-Zamorano, E., & González-González, A. (2020). A cross-sectional survey of psychological distress in a Mexican sample during the second phase of the COVID-19 pandemic [Preprint]. *Open Science Framework*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/wzqkh>
- Tull, M. T., Edmonds, K. A., Scamaldo, K. M., Richmond, J. R., Rose, J. P., & Gratz, K. L. (2020). Psychological Outcomes Associated with Stay-at-Home Orders and the Perceived Impact of COVID-19 on Daily Life. *Psychiatry Research*, 289, 113098. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113098>
- Wang, X., Hegde, S., Son, C., Keller, B., Smith, A., & Sasangohar, F. (2020). Investigating Mental Health of US College Students During the COVID-19 Pandemic: Cross-Sectional Survey Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(9), e22817. <https://doi.org/10.2196/22817>
- World Health Organization [WHO]. (2020). Healthy At Home-Mental health. Looking after our mental health. Retrieved from <https://bit.ly/3qWpOjW>
- World Medical Association (2013). Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310(20), 2191. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Appendix 1. Other independent variables analyzed in the present study ($n = 377$)**Anexo 1.** Otras variables independientes analizadas en el presente estudio ($n = 377$)

Variable		Categories		n (%)
Household	Number of persons residing in the same dwelling at the time of filling out the survey.	Living alone	21 (6)	
			Living with 1 person	54 (14)
		Living with someone	Living with 2 people	89 (23)
			Living with 3 people	121 (32)
			Living with >3 people	92 (24)
Chronic diseases	Presence or absence of chronic degenerative diseases.	Absence of chronic diseases	302 (80)	
			Hypertension	23
		Presence of chronic diseases	Diabetes	9
			Heart diseases	3
			Cancer	2
			Asthma	28
			Others	29
Smoking	Status of tobacco smoking habit since the beginning of the COVID-19 pandemic.	Non-smokers	325 (86)	
			Increased	19 (5)
		Smokers	Decreased	18 (5)
			Remains the same	15 (4)
Alcohol consumption	Status of alcohol consumption since the start of the COVID-19 pandemic.	No alcohol consumption	135 (36)	
			Increased	54 (14)
		Alcohol consumption	Decreased	99 (26)
			Remains the same	88 (23)
Previous mental disorder	Diagnosis of any mental disorder, prior to the COVID-19 pandemic.	Absence of previous mental disorder	234 (62)	
			Anxiety	107
		Presence of previous mental disorder	Depression	72
			Other	20
Previous mental health care	Having received some type of mental health care (psychological or psychiatric) prior to the pandemic.	Absence of prior mental health care	203 (54)	
		Prior mental health care	174 (46)	
Isolation time	Time during which isolation measure (stay-at-home order) was practiced.	≥ 5 months	275 (73)	
		3-4 months	63 (17)	
		2 weeks to 2 months	23 (6)	
		Never	16 (4)	
Social support	Having someone you can lean on or with whom you can talk about your problems to cope psychological and social stressors.	Rarely	45 (12)	
		Occasionally	164 (44)	
		Always	168 (45)	
	Frequency of contact and communication with	Always	147 (39)	
		Occasionally	186 (49)	

Use of telecommunications	friends/family/acquaintances by using social media and technology (phone, computer, etc.), in the last two weeks prior to survey.	Rarely	44 (12)
Financial concerns	Concerns about financial matters or fear of decreased income since the pandemic began.	Always	49 (13)
		Occasionally	190 (50)
		Rarely	138 (37)
Frequency of exposure to COVID-19 information	In a week, how often are they updated regarding the current situation of COVID-19, such as: number of cases, deaths, epidemiology, advances in treatment, diagnosis, etc.	Always	40 (11)
		Occasionally	194 (51)
		Rarely	143 (38)
Physical exercise	Days per week of exercise, during the pandemic.	Never	114 (30)
		1 day per week	52 (14)
		2 - 3 days per week	94 (25)
		4 - 5 days per week	83 (22)
		6 - 7 days per week	34 (9)
Loss of a loved one	Loss of a loved one during the pandemic, by any cause of death.	Yes	153 (40)
		No	225 (60)

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Guía para autores



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

| Dirección de Investigación y Posgrado

Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico y tecnológico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional o de interés científico en forma lógica y clara. TECNOCENCIA CHIHUAHUA, publica artículos de investigación, notas científicas y artículos de revisión actualizados *por invitación*. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité Editorial para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de TECNOCENCIA CHIHUAHUA. El equipo editorial revisará que el envío cumpla con todos los requisitos de postulación, incluyendo su revisión bajo el software antiplagio iThenticate donde el porcentaje de similitud con otros trabajos deberá ser menor al 10 %. Los artículos serán enviados a revisión y una vez revisado y consideradas las sugerencias y cambios al manuscrito, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; notificándose la aceptación o rechazo al autor. Si el manuscrito es aceptado la revista enviará el manuscrito al proceso de edición, cuyo responsable se contactará con el autor de correspondencia para la revisión y aprobación de las pruebas de galera. Así mismo, se le solicitará un resumen gráfico que describa en forma visual el contenido del artículo, además de cuatro o cinco aspectos relevantes del trabajo a publicar.

Para la evaluación de manuscritos se aplican los criterios de: rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje. Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que el manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados originales, así como un desarrollo metodológico riguroso, resaltando los aportes científicos logrados. Las notas científicas o comunicación corta, deberán mostrar resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras. Asimismo, los artículos de revisión deberán abordar temáticas novedosas y fundamentar el estado del arte en una revisión de literatura actualizada sobre temas actuales y de interés para el lector.

La revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, con el principio de ofrecer al público un acceso libre a información científica original e inédita y a revisiones críticas actualizadas que favorezcan una mayor difusión global de conocimiento y cumplir así, con la normativa de acceso abierto de DOAJ.

Arbitraje

El proceso de evaluación de manuscritos es el siguiente: Un editor evaluará cada contribución, y podría rechazar trabajos en esta etapa por razones tales como: carecer de originalidad, tener serias deficiencias científicas, un uso inadecuado del lenguaje y de la gramática en general, o que el contenido esté fuera de los alcances de la revista. Los autores deberán proporcionar los datos de contacto completos de cuando menos tres árbitros potenciales adscritos a una institución distinta a la del autor, sin embargo,

la asignación de los árbitros para revisión del manuscrito será una decisión de la revista. La revista opera bajo un sistema de doble ciego y favorecerá la participación de revisores externos a la institución y al país de la revista. Tras el proceso de arbitraje, el editor emitirá un dictamen respecto a la evaluación del trabajo a los autores el cual puede ser: aceptado, aceptado con revisiones menores, aceptado con revisiones mayores o rechazado.

En caso de controversia, el Editor podrá solicitar una evaluación adicional con un tercer árbitro o dictaminar el manuscrito.

Derechos de autor

Una vez aceptado el manuscrito, se solicitará al Autor enviar el formato de cesión de derechos de autor para la difusión del artículo a TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. Los autores concederán por escrito a la revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, la propiedad de los derechos de autor, lo que permite que su artículo y materiales puedan ser reproducidos, publicados, editados, fijados, comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología, para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro.

Los artículos publicados en TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, se distribuirán amparados bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](#)

Costo y tiempo de publicación

La Revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es gratuita y está financiada por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Se solicita a los autores se inscriban a la Revista para estadísticas de acceso y autoría.

El tiempo para la recepción y envío a revisión será en un máximo de tres días. El tiempo promedio para la primera respuesta de los árbitros es de cuatro semanas. El tiempo estimado para la aceptación del artículo es de tres meses y su publicación dependerá de la cantidad de trabajos que estén en espera de publicación.

Contribuciones

1. Tipos de contribuciones

Las contribuciones se clasifican en artículos de investigación, notas científicas, así como artículos de revisión en español e inglés. Se aceptarán para su evaluación artículos de revisión, únicamente con *previa invitación* por parte del comité editorial de TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

No se aceptan contribuciones que se limiten a reportar información general sin fundamento estadístico, encuestas, composición química, u optimización de formulaciones (superficie de respuesta). Debe haber una aportación científica, tecnológica o ingenieril original, inédita y que no esté siendo considerada para su publicación simultánea en otro medio. Una descripción de los envíos se encontrará en el siguiente apartado.

2. Áreas de las contribuciones

Las áreas que abarca la Revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA son las siguientes: Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales. Al someter su contribución se deberá indicar la categoría que le corresponde. De no ser esto posible, es responsabilidad del autor proporcionar el área sugerida de su contribución.

3. Idioma de las contribuciones

El idioma de las contribuciones será inglés o español. Se recomienda que los autores lleven a cabo una cuidadosa revisión del correcto uso del lenguaje para que los revisores puedan evaluar los méritos científicos del trabajo. Los editores podrán rechazar cualquier contribución que no cumpla los estándares.

4. Preparación y envío de las contribuciones

Es indispensable que el autor se registre para postular el manuscrito a la revista. Se recomienda que el autor complete en su totalidad todos los datos solicitados en su perfil incluyendo su identificador [ORCID](#).

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

¿Ya está registrado? [Ingresa aquí](#)

Los autores, deberán seguir las directrices del sitio web de la revista para el envío de las contribuciones.

Lineamientos generales para envío de manuscritos

[Guía práctica para subir un envío a la plataforma](#)

Las contribuciones deben ir acompañadas de una carta al editor ([Carta de presentación del artículo](#)) en donde explícitamente se describirá la relevancia del trabajo, manifestando que el trabajo no ha sido publicado o está siendo considerado para

publicación en otra parte. Así mismo, se hará de manifiesto que la publicación ha sido aprobada por todos los autores y que el manuscrito una vez aceptado no será publicado de la misma forma en otra revista, en inglés, español, o cualquier otra lengua, ni electrónicamente, sin el consentimiento de la revista. Las secciones que integrarán a cada una de las contribuciones se muestran a continuación:

1) Artículos científicos

Se constituirán de los resultados parciales o finales de investigaciones originales fundamentadas en metodologías científicas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados, así como un desarrollo metodológico original, resaltando los aportes científicos logrados. Estos artículos se conforman de las siguientes secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Materiales y métodos
 - Materiales
 - Métodos
 - Métodos fisicoquímicos
 - Métodos biológicos
 - Métodos estadísticos
- e) Resultados y discusión
- f) Conclusiones
- g) Agradecimientos
- h) Conflicto de interés
- i) Referencias

En la descripción de la sección de Materiales y métodos y Resultados y discusión, puede redactarse y presentarse en una sola sección o estructurarse con subtítulos para una mejor descripción. Deberá tener una extensión de 18 cuartillas como máximo, incluyendo Resumen y Referencias

2) Notas científicas

Es una comunicación corta, sobre resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras, informes novedosos de investigaciones en el área de agropecuaria, salud, deportes o ingeniería. Para la presentación de este documento, se incluirán las secciones.

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Texto
- d) Conclusiones
- e) Agradecimientos

- f) Conflicto de interés
- g) Referencias

El texto de las notas científicas, se presentará en forma corrida, pero en forma clara y con coherencia, que permita su fácil comprensión. Deberá tener una extensión máxima de 9 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias

3) Artículos por invitación

Artículos de revisión

Se conformarán, de revisiones críticas actualizadas de un tópico en especial novedoso de las áreas temáticas de la revista. El objetivo de estos artículos, es presentar al lector una perspectiva de un tema en específico, a través de su análisis de la información, discusión y tendencias. La estructura de este artículo se conformará de las secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Texto
- e) Conclusiones
- f) Agradecimientos
- g) Conflicto de interés
- h) Referencias

El texto deberá ser coherente con el objetivo y podrá redactarse con los subtítulos que sean necesarios, para una mayor comprensión del tema. Deberá tener una extensión máxima de 20 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias.

Plantillas de los artículos

La descripción de las secciones están incluidas en la siguiente sección de esta Guía para Autores, además de en la plantilla para cada tipo de artículo: Artículo de Investigación: [Plantilla de Artículo de Investigación](#); Notas científica: [Plantilla de Notas Científicas](#); Artículo de Revisión: [Plantilla Artículo de Revisión](#). En estas se consideran sus especificaciones, las cuales deben ser acatadas por el autor. Asimismo, en cada una de las plantillas vienen las especificaciones del formato de texto (tamaño y tipo de fuente, márgenes, interlineado, etc.) el cual debe estar a una columna. Todas las páginas deben ser numeradas secuencialmente.

Descripción de los elementos de un artículo

Título

Deberá incluir versiones en español e inglés, ser conciso y explicar la naturaleza del trabajo. Este deberá tener una extensión máxima de 20 palabras. La plantilla incluye la sección de autores, los cuales deberán ser correctamente descritos, incluyendo su afiliación. En caso de existir varios autores, deberá indicarse con un asterisco el autor para la correspondencia, así como la cuenta de correo electrónico del mismo.

Resumen/Abstract

Éste deberá presentarse en español e inglés, respectivamente. Con la extensión máxima de palabras como se muestra en la plantilla. Este debe de incluir en forma clara el objetivo, descripción breve de la metodología, resultados y discusión relevantes conclusiones y aporte del trabajo. En éste se incluirán cinco palabras claves, en español e inglés, que permitan ligar informáticamente el contenido del artículo.

Introducción

La introducción describe el estado actual del conocimiento sobre el tópico de investigación abordado, su justificación e importancia, así como la inclusión de la hipótesis y el objetivo del trabajo. Esta sección no deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y métodos

Materiales

En esta sección se describen los materiales o sustancias empleadas para el desarrollo de la investigación. Especificando las características y fuentes de obtención, condiciones de manejo, almacenamiento y grado de pureza de sustancia o reactivos si ese es el caso. Señalando el nombre de compañías, ciudad y país donde los materiales y sustancias fueron adquiridos.

Métodos

Descripción de técnicas y procedimientos, así como el análisis de datos de los resultados obtenidos. En el caso de metodologías novedosas, estas se describirán detalladamente y cuando sean métodos comunes, se indicará la referencia correspondiente.

Ética: Cuando el artículo incluya estudios, experimentos con animales y evaluación sensorial de alimentos se deberá de incluir la sección ética correspondiente, la cual deberá describir los procedimientos seguidos y su apego a las normas, asimismo adjuntar un documento con la aprobación por el comité de bioética que corresponda.

Resultados y discusión

Los resultados y discusión se presentarán en una sola sección. Los resultados podrán presentarse en tablas, figuras, fotografías o datos, los cuales se describirán y se justificarán con base a conocimientos o fundamentos existentes. En esta sección se contrastan los resultados obtenidos con la hipótesis planteada y sus semejanzas o

diferencias con resultados de investigaciones previamente realizadas y publicadas. El empleo de tablas y figuras deberá ser en forma complementaria del texto de la sección.

Conclusión

Es una generalización de los resultados obtenidos y representan las aportaciones concretas del estudio. Incluyen magnitudes relativas o absolutas de las respuestas sin argumentación complementaria. Resaltando los aspectos novedosos e importancia de los resultados obtenidos, especificando mejores condiciones o parámetros finales del estudio. Debe mostrar congruencia con el título, resumen y objetivo del trabajo.

Agradecimientos

Esta sección es opcional y tendrá un máximo de cuatro renglones para expresar agradecimientos a personas o instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

Conflicto de Interés

Escribir un párrafo señalando la inexistencia de conflicto de intereses, en la publicación de estos resultados.

Referencias

Las referencias que se incluyan en el texto deberán ser pertinentes, originales y modernas; se citarán acorde al formato sistema Harvard, en el cual se incluye el apellido de los autores y año de la publicación entre paréntesis. En el caso de que sean dos autores irán unidos por “y” (Choi y Garza, 2020). Cuando sean más de dos autores, se citará el apellido del primero seguido por “et al.,” (en cursiva) y el año de publicación (Gu *et al.*, 2019). Si se citan varias referencias, éstas se separarán por punto y coma y en orden cronológico ascendente (Gu *et al.*, 2019; Choi y Garza, 2020). La relación de autores en la sección de referencias será por orden alfabético de acuerdo al formato APA.

IMPORTANTE: Toda vez que la referencia cuente con el registro internacional DOI debe incluirlo utilizando el siguiente formato **<http://doi.org/XXXXXX>**

A continuación, se muestran algunos ejemplos:

Artículos de revistas científicas

Braber, N. V., Vergara, L. D., Rossi, Y. E., Aminahuel, C. A., Mauri, A. N., Cavaglieri, L. R., & Montenegro, M. A. (2020). Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. *LWT*, 118, 108844. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108844>

Capítulos de libros

Ho, Y. C., Chua, S. C., & Chong, F. K. (2020). Coagulation-Flocculation Technology in Water and Wastewater Treatment. In *Handbook of Research on Resource Management for Pollution and Waste Treatment* (pp. 432-457). IGI Global.

Libros

Low, I. M. (Ed.). (2018). *Advances in ceramic matrix composites*. Woodhead Publishing.

Patnaik, A., & Patnaik, S. (Eds.). (2019). *Fibres to Smart Textiles: Advances in Manufacturing, Technologies, and Applications*. CRC Press.

Patentes

Götz, M. R., Holmgren, K., Larsson, N., Fiebich, B., & Wade, W. (2019). *U.S. Patent Application No. 16/478,514*.

Tesis

Rios, E. A. (2018). *Incidencia y control de tipos patógenos de Escherichia coli (STEC y EPEC) en leche de vaca y quesos derivados en Castilla y León* (Tesis doctoral, Universidad de León).

Boletín

Kirk, M. D., Angulo, F. J., Havelaar, A. H., & Black, R. E. (2017). Diarrhoeal disease in children due to contaminated food. *Bulletin of the World Health Organization*, 95(3), 233.

Páginas electrónicas

Inegi. (2017). <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>

Base de datos

Wishart, D. S., Feunang, Y. D., Marcu, A., Guo, A. C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., ... & Sayeeda, Z. (2017). HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic acids research*, 46(D1), D608-D617.

Citas la abreviación de la revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA en los índices internacionales es *Rev. TECNOCENCIA CHIH*.

Tablas, figuras y ecuaciones, las tablas y figuras deben enviarse en un archivo adjunto al manuscrito; de preferencia en un archivo Word. O bien, crear un archivo comprimido (.zip o .rar) que contenga los archivos de tablas y figuras. Adicionalmente, las tablas y figuras del manuscrito, se colocarán dentro del texto principal en el lugar indicado por

los autores, con títulos en español e inglés. El título de la figura debe presentarse como Fig. 1. Título de la figura.

Es recomendable que las figuras se preparen con software específico. Tome en cuenta que el tamaño de las figuras se ajustará en el proceso de edición para ajustarse a los márgenes de impresión. Por ello, se recomienda hacer ejes, cuadros, etc., suficientemente grandes para que resulten legibles aún al reducir el tamaño. Las extensiones aceptables para las figuras son JEPG y TIF, considerando las siguientes características de calidad (en puntos por pulgadas):

- 300 ppp para imágenes a escala de grises o color.
- 600 ppp para combinaciones imagen texto.
- 1,200 ppp para imágenes a línea.

Las tablas deben presentar tres bordes horizontales completos (en la fila de encabezados y al final), cualquier otro borde horizontal debe ser parcial, no deben tener bordes verticales y no se aceptarán en forma de imágenes.

Las ecuaciones deben estar escritas con un editor de ecuaciones y deben aparecer en el manuscrito numeradas con el formato de número arábigo. Las ecuaciones insertadas como imágenes no son aceptables.

En el texto del manuscrito, al referirse a una ecuación debe escribirse de la siguiente manera: Ec. (1) o bien Ecs. (1) -(4), al referirse a una figura, seguir la misma regla, por ejemplo: Fig. 1, o bien Figs. (1) -(5) y al referirse a una tabla, por ejemplo: Tabla 1 o bien Tablas (1) -(3).

Figuras y cuadros (versión para producción)

Las figuras y gráficos deben proporcionarse en el texto principal y numerarse consecutivamente con números arábigos y sus subtítulos respectivos deben incluirse dentro del texto principal en el lugar indicado por los autores.

Cuando se incluyan figuras que contengan fotografías o micrografías, asegurarse que sean de alta resolución para que cada foto tenga al menos 300 ppp para imágenes a escala de grises o color. Todas las fotografías deben contener el nombre del autor.

Tablas (versión para producción)

Las tablas deben proporcionarse en el texto principal y como archivo adjunto, y numerarse con números arábigos. Deben estar incrustados en el texto del manuscrito, en el lugar indicado por el autor. Las tablas deben prepararse con Microsoft Word® 2007 o posterior; no deben importarse de Excel® o Powerpoint®, y deben:

- a) Tener un número y un título (en inglés y en español)
- b) Sea auto-explicable

- c) Tener los dígitos significativos con la desviación estándar definidos de acuerdo con el criterio estadístico
- d) Mostrar datos que no se muestran en los gráficos
- e) Tener el formato más simple posible; no está permitido el uso de sombras, color o filas verticales y diagonales
- f) Solo tienen letras minúsculas en el superíndice que indiquen notas al pie de tabla (abreviaturas, unidades, diferencias estadísticas, etc.). Un ejemplo de tabla se muestra en los formatos de "[Plantillas de artículos](#)"

Abreviaturas, los nombres científicos se escribirán en cursivas, el género de la especie podrá abreviarse después de que se mencione por primera ocasión en el texto. Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio deberán seguir el sistema internacional de medidas y usar las abreviaturas o símbolos recomendados por las normas internacionales. No deberá usarse punto en las abreviaciones Ej.: kg (NO kg.). Se utilizará espacio entre la cantidad y la unidad o símbolo Ej. 8 cm, 100 %. Las notas a pie de página deberán ser evitadas.

Material adicional, si los autores lo desean, pueden proporcionar material adicional o complementario como soporte al artículo (texto, tablas, figuras o multimedia), el cual estará disponible en la página web de la revista una vez que sea publicado. Si el manuscrito ha sido aceptado, también se le solicitará al autor un resumen gráfico y los puntos relevantes del trabajo. El resumen gráfico debe describir en forma general el contenido del artículo, este resumen debe tener las siguientes características: archivo editable en diapositiva de Powerpoint, NO usar datos, tablas o figuras contenidos en el artículo, contener figuras libres de restricciones de derechos de autor, debe incluir un resumen que incluya de dos a tres enunciados donde se describe los antecedentes, como fue realizado el trabajo y los principales resultados. Los puntos relevantes del trabajo, deberán ser cuatro aspectos alcanzados, presentados en forma de enunciado con un máximo de 80 caracteres con espacios.

Los archivos que el autor deberá preparar para el envío serán:

([Formatos](#))

El texto principal del manuscrito debe presentarse de la siguiente manera:

1) El manuscrito en Word para producción

Este archivo, corresponde a las "[Plantillas de artículos](#)" presentadas en esta guía de autores, cuyas características de formato se muestran a continuación.

- Formato Microsoft Word® 2007 (o posterior)
- 10 puntos Palatino Linotype
- Espaciado especificado en la plantilla

- Texto completo del manuscrito (extensión de acuerdo al tipo de manuscrito)
- Las figuras, cuadros, tablas, ecuaciones y sus respectivos títulos deben estar incorporados en el texto principal en el lugar indicado por los autores
- Las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- La carta de presentación debe presentarse por separado
- La página principal debe incluir los nombres e instituciones de los autores
- El archivo deberá llamarse “**Apellidos autor producción**”.doc.

2) En el manuscrito en Word para revisión

Este archivo es una copia del **manuscrito en Word para producción** pero se editará **sin** los nombres de los autores e Instituciones para enviar este archivo cegado a revisión con los árbitros.

Este archivo deberá ser nombrado “**Apellidos de autor revisión**”.doc: versión para evaluación del revisor. Las características de formato incluyen las siguientes especificaciones:

- Las líneas del texto al igual que las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- **No debe incluir** los nombres e instituciones de los autores ni en la página principal del manuscrito, ni en la información del archivo

3) Carta de presentación de artículo o autoría.

La carta de presentación del manuscrito ([Carta de presentación del artículo](#)) debe incluir la relevancia e importancia del trabajo (un breve texto que describa la relevancia del trabajo de investigación o artículo de revisión de manera concisa (con no más de 100 palabras). Además, incluirá la declaratoria de que el documento presentado no ha sido publicado (parcial o totalmente) ni ha sido sometido a arbitraje simultáneamente en otra revista. Haciendo constar que cuenta con la aprobación para su publicación por los autores y coautores.

4) Los archivos de Tablas y Figuras para producción (especificaciones que se describen en la **sección de Tablas, figuras y ecuaciones** en esta guía)

5) Resumen gráfico (características descritas en la **sección de Material adicional** en esta guía)

Después de verificar el estilo de formato (acorde a la plantilla y especificaciones en esta guía de autores) y crear los archivos de acuerdo a las especificaciones presentadas, continúe con el envío en línea.

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

¿Ya está registrado? [Ingresa aquí](#)

Una vez registrado en la plataforma de la revista, entrar y dar clic en 'Nuevo envío', después seguir las instrucciones y completar cada una de las 5 pestañas del envío.



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



FACHADA
FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA, UACH



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



ROTONDA “EL POTRO”
SÍMBOLO DE IDENTIDAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA
FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA. UACH



TECNOCENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología

