

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CIENCIAS DE LA SALUD
INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

AÑO 29
SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2021

84

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN 1665-4412
e-ISSN 2521-9758



▲ Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México

▲ Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México

▲ Mejora superficial del acero AISI 316L mediante depósitos de nitruro de titanio amorfo por técnica de erosión catódica

▲ Factores de forma y ecuaciones de volumen comercial para cinco especies de pino en el estado de Durango, México

▲ Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos

▲ Inclusión de harina y aceite de semilla de moringa como sustitutos y estabilizantes de grasa en pastas cármicas

▲ El impacto de la pandemia por COVID-19 sobre la incidencia delictiva: Evidencia para México y zonas metropolitanas

▲ Funcionamiento familiar y consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería

▲ Biopsia de músculo esquelético: Una herramienta importante para la investigación de la fisiología del ejercicio

▲ Las aflatoxinas en el sector agropecuario y el potencial de los adsorbentes derivados de plantas

▲ Istvan Berczi. *In memoriam*

▲ *El Fandango. Periódico político y democrata (1887-1896). Índices*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES, año 29, núm. 84, periodo septiembre-diciembre 2021, es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Tel./Fax. 449 910 74 00, ext. 34113, www.uaa.mx/investigacion/revista, revistaiyc@correo.uaa.mx. Editor responsable: Elizabeth Casillas Casillas. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412, Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2018-060115052000-203, e-ISSN: 2521-9758. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Este número se terminó de imprimir el 31 de octubre de 2021 con un tiraje de 150 ejemplares.

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

La revista **Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes** está citada en los siguientes índices y bases de datos:

ÍNDICES:

Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT,

<http://www.conacyt.gob.mx>

Índice Internacional, "Actualidad Iberoamericana" ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile, <http://www.citchile.cl>

IRESE (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa), <http://iresie.unam.mx>

LATINDEX (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), <http://www.latindex.org>

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), periodica.unam.mx

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal),

<http://www.redalyc.org>

BASES DE DATOS:

BIBLAT (Bibliografía Latinoamericana en revistas de investigación científica y social), <http://biblat.unam.mx/es/>

DIALNET (Hemeroteca de artículos científicos hispanos en internet) <http://dialnet.uniroja.es>

INFORME ACADÉMICO, www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php

ULRICH'S Periodicals Directory, <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>

EBSCO, MÉXICO, <https://www.ebscohost.com>

ERIHPLUS (European Reference Index for the Humanities and Social Science), <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringkanaler/erihplus/periodical/info?id=501779>



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

• Fresa con recubrimiento de TiN instalada en una máquina CNC en estado estático • Toma de datos de campo • Desechos generados al paso del huracán Grace 2021 • Prueba del análisis de textura de las salchichas • Lote plantado con pasto maralfalfa en el poblado La Ferreira • Tamaño de la muestra de tejido muscular • Bosques de coníferas en el estado de Durango • Acciones preventivas ante un desastre natural en la ciudad de Tulum

DIRECTORIO

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

M. en Ing. Alberto Palacios Tiscareño
Secretario General

MCO. Elizabeth Casillas Casillas
Directora General de Investigación y Posgrado

Dr. en Farm. Raúl Ortiz Martínez
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

Jorge Martín Alférez Chávez
Decano del Centro de Ciencias Básicas

M. I. Felipe de Jesús Rizo Díaz
Decano del Centro de Ciencias de la Ingeniería

Dr. Jorge Prieto Macías
Decano del Centro de Ciencias de la Salud

Dr. en C. T. C. Héctor Romero Posada Ávila
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

M. F. Virginia Guzmán Díaz de León
Decana del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Dr. en Dir. y M. K. T. Miguel Ángel Montalvo Vivanco
Decano del Centro de Ciencias Empresariales

Mtra. C. S. y H. María Zapopan Tejeda Caldera
Decana del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades

M. en E. H. Ana Luisa Topete Ceballos
Decano del Centro de las Artes y la Cultura

CONSEJO EDITORIAL

- Dr. Francisco Cervantes Pérez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Fera Velasco†
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES
- Dr. Luis Miguel García Segura
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Frank Marcano Requena
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, VENEZUELA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
- Dr. Javier de Felipe Oroquieta
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Philippe Poujeol
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA, FRANCIA
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez†
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa †
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
- Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
- Dra. María J. Rodríguez-Shadow
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, MÉXICO
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
- Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA, MÉXICO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
- Dr. Jorge X. Velasco Hernández
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS UNIDAD JURÍQUILLA
- Dr. Josué Álvarez Borrego
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, B. C., MÉXICO
DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA
- Dra. Elvira Martínez Salomón
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INDÍGENA DE MÉXICO, MÉXICO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

- MCO. Elizabeth Casillas Casillas
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
Editor
- Lic. Sandra Margarita Ruiz Guerra
Asistente
- Lic. Mónica Ávalos Valladares
Corrector de estilo
- Lic. César Enrique Martínez Martínez
Corrector de estilo idioma Inglés
- DEPARTAMENTO DE PROCESOS GRÁFICOS
Armado e impresión

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

Pág.

CIENCIAS AGROPECUARIAS

- **Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México** 5-15
Yield and quality of forage obtained with maralfalfa grass harvested at different regrowth ages in Durango, Mexico

Cynthia Adriana Nava-Berumen
Francisco Oscar Carrete-Carreón
Rigoberto Rosales-Serna
Osvaldo Reyes-Estrada†
Pablo Alfredo Domínguez-Martínez
Esperanza Herrera-Torres

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México** 16-27
Potential distribution of bark beetles of genera *Dendroctonus* and *Ips* on the Sierra Madre Occidental of Durango, Mexico

Daniela Mitzuko Carrillo-Aguilar
Mónica Yazmín Flores-Villegas
Pedro García-Ramírez
Jorge Armando Chávez-Simental
Pedro Antonio Domínguez-Calleros

- **Mejora superficial del acero AISI 316L mediante depósitos de nitruro de titanio amorfo por técnica de erosión catódica** 28-35
Surface improvement of AISI 316L steel using amorphous titanium nitride deposits by cathodic erosion technique

Jorge Bertín Santaella-González
Ricardo Orozco-Cruz
Julián Hernández-Torres
Leandro García-González

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Factores de forma y ecuaciones de volumen comercial para cinco especies de pino en el estado de Durango, México** 36-45
Form factor and merchantable volume equations for five pine species in Durango state, Mexico

Benedicto Vargas-Larreta
Carlos Enrique Aguirre-Calderón
Cristóbal Gerardo Aguirre-Calderón
Francisco Javier Hernández

- **Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos** 46-56
Index of urban coastal resilience for the management of urban solid waste

María Luisa Hernández-Aguilar
Randy Mauricio Martínez-Torres
Gerardo Daniel López-Montejo

CONTENIDO

	Pág.
<ul style="list-style-type: none">• Inclusión de harina y aceite de semilla de moringa como sustitutos y estabilizantes de grasa en pastas cárnicas Inclusion of flour and oil of moringa seed as replacers and stabilizers fat on meat batter	57-65
Yazmin Margarita Muñoz-Guevara Sugey Ramona Sinagawa-García Jesús Alberto Lara-Reyes Alejandro Isabel Luna-Maldonado Zayd Eliud Rangel-Nava Gerardo Méndez-Zamora	
CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS	
<ul style="list-style-type: none">• El impacto de la pandemia por COVID-19 sobre la incidencia delictiva: Evidencia para México y zonas metropolitanas The impact of the COVID-19 pandemic on crime incidence: Evidence for Mexico and metropolitan areas	66-74
Carlos Obed Figueroa-Ortiz Raúl Vladimir Gómez-Díaz	
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES	
<ul style="list-style-type: none">• Funcionamiento familiar y consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería Family functioning and alcohol consumption in Nursing students	75-82
Nadia Velázquez-Hernández Rocío Castillo-Díaz Fani Villa-Rivas Atzyri Marleny Galván-Soto Vianey Alejandra Ramírez-Aguirre	
REVISIÓN CIENTÍFICA	
<ul style="list-style-type: none">• Biopsia de músculo esquelético: Una herramienta importante para la investigación de la fisiología del ejercicio Skeletal muscle biopsy: An important approach to exercise physiology research	83-91
Katya Vargas-Ortiz Victoriano Pérez-Vázquez Paulina Guadalupe Montaña-Ascencio Maciste H. Macías-Cervantes	
<ul style="list-style-type: none">• Las aflatoxinas en el sector agropecuario y el potencial de los adsorbentes derivados de plantas	92-101
Aflatoxins in the agricultural sector and the potential of plant-derived adsorbents María de Jesús Nava-Ramírez Alma Vázquez-Durán Abraham Méndez-Albores	
OBITUARIO	
<ul style="list-style-type: none">• Istvan Berczi. In memoriam	102-103
Andrés Quintanar-Stephano	
RESEÑA	
<ul style="list-style-type: none">• El Fandango. Periódico político y demócrata (1887-1896). Índices	104-105
Luciano Ramírez-Hurtado	

Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México

Yield and quality of forage obtained with maralfalfa grass harvested at different regrowth ages in Durango, Mexico

Cynthia Adriana Nava-Berumen*, Francisco Oscar Carrete-Carreón**, Rigoberto Rosales-Serna***, Osvaldo Reyes-Estrada **†, Pablo Alfredo Domínguez-Martínez***✉, Esperanza Herrera-Torres*

Nava-Berumen, C. A., Carrete-Carreón, F. O., Rosales-Serna, R., Reyes-Estrada, O., Domínguez-Martínez, P. A., & Herrera-Torres, E. (2021). Rendimiento y calidad de forraje obtenido con el pasto maralfalfa cosechado a diferentes edades de rebrote en Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e3070, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843070>

RESUMEN

El objetivo fue evaluar rendimiento y calidad de forraje en maralfalfa (*Pennisetum sp.*) a diferentes edades de corte. El diseño experimental fue completamente aleatorio con seis repeticiones. Se realizaron muestreos 73, 86, 100 y 114 días después del riego de rebrote (DDRR). Se evaluó rendimiento de forraje fresco (FF) y seco (FS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HE), celulosa (CE), lignina, digestibilidad in vitro (DIVMS), valor relativo de forraje (VRF), calidad relativa de forraje (CRF) y producción

Palabras clave: *Pennisetum sp.*; producción de gas; calidad relativa; valor relativo.

Keywords: *Pennisetum sp.*; gas production; relative forage quality; relative forage value.

Recibido: 5 de febrero de 2021 Aceptado: 6 de septiembre de 2021

* Tecnológico Nacional de México campus Valle del Guadiana. Km 22.5, Carretera Durango-México, Durango, C. P. 34170, Dgo., México. Correo electrónico: cadrianan@hotmail.com; heto99@yahoo.com.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-5554>; <https://orcid.org/0000-0002-3821-4923>

** Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Km 11.5, Carretera Durango-El Mezquital, Durango, C. P. 34170, Dgo., México. Correo electrónico: focc1928mx@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3372-0306>

*** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle del Guadiana. Km 4.5, Carretera Durango-El Mezquital, Durango, C. P. 34170, Dgo., México. Correo electrónico: rosales.rigoberto@inifap.gob.mx; dominguez.pablo@inifap.gob.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2185-0907>; <https://orcid.org/0000-0001-9311-3183>

✉ Autor para correspondencia

de gas in vitro (PG). El rendimiento más alto de FF (232.5 t ha⁻¹) y FS (39.0 t ha⁻¹) fue 100 DDRR. La PC más alta fue a los 73 DRI (9.1%), mientras FDN (76.3%), FDA (51.7%) y CE (42.6%) se incrementaron y la DIVMS se redujo (50.3%). Se recomienda cosechar forraje de maralfalfa 80 DDRR, para obtener mejor balance rendimiento/calidad.

ABSTRACT

The objective was to evaluate forage yield and quality in maralfalfa (*Pennisetum sp.*) cultivated in Durango. The experiment arrangement was a completely randomized design with six replications. Sampling occurred at 73, 86, 100 and 114 days after initial irrigation (DAII). Data was recorded for fresh (FF) and dry forage yield (DF), crude protein (CP), neutral (NDF) and acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (HE), cellulose (CE), lignin, in vitro dry matter digestibility (IVDMD), relative feed value (RFV), relative forage quality (RFQ) and in vitro gas production (GP). Highest yield for FF (232.5 t ha⁻¹) and DF (39.0 t ha⁻¹) was obtained 100 DAII. A higher proportion of CP (9.1%) was registered 73 DAII, while higher NDF (76.3%), ADF (51.7%) and CE (42.6%) and lower IVDMD (50.3%) at 114 DAII. To balance between yield and quality, maralfalfa forage should be harvested around 80 DAII.

INTRODUCCIÓN

La maralfalfa es una especie vegetal perenne del género *Pennisetum* introducida en México para la producción intensiva de forraje, la cual fue promocionada por su calidad nutricional con base en el contenido alto de proteína. Se estableció que esta especie posee un

valor nutritivo ligeramente superior al observado en la mayoría de los pastos tropicales, por lo que puede ser utilizada en la alimentación de ganado bovino lactante y en crecimiento (Clavero & Razz, 2009). Por esta razón, existió interés inicial en la plantación de un alto número de hectáreas con esta gramínea, con el fin de abastecer las necesidades de forraje y reducir el déficit de suplementos proteicos que se tiene actualmente en Durango y otras entidades del norte de México.

Derivado de la promoción inicial de la maralfalfa se consideró necesaria la evaluación del rendimiento y calidad de forraje en esta especie cultivada en Durango. Se determinó el grado de adaptación y se establecieron las recomendaciones técnicas para su cultivo y uso en la alimentación del ganado bovino (Jiménez, Domínguez, Rosales, Nava, & Carrete, 2014; Ortiz Robledo, Reyes Estrada, Herrera Corral, Rosales Serna, & Jiménez Ocampo, 2016; & Ortiz Robledo et al., 2017). El estudio de la maralfalfa permitió la determinación de su utilidad en la reducción de costos de alimentación y fortalecimiento de la productividad del ganado bovino en la época seca del año. Se esperaba incrementar la producción intensiva de forraje en Durango y, con ello, reducir la dependencia que se tiene del pastizal para la alimentación del ganado, al cual se destina 19.0% de la superficie estatal y equivale a 2.3 millones de hectáreas (INEGI, 2014). El rendimiento de maralfalfa en Durango alcanzó cerca de 240 t ha⁻¹ de forraje verde y 40 t ha⁻¹ de materia seca, el cual se obtuvo en rebrotes y un periodo de 100 días después del riego inicial (Jiménez et al., 2014). El contenido de proteína fue inferior a la expectativa inicial, fluctuando entre 4.9 y 12.7% (Ortiz Robledo et al., 2016), lo cual en combinación con el contenido alto de agua y el prurito causado por los bordes pilosos de láminas y vainas foliares desalentó la plantación de maralfalfa en algunos sitios de Durango.

El conocimiento del valor nutritivo de los forrajes y suplementos alimenticios es el fundamento de la nutrición animal. Por ello, existen múltiples pruebas para evaluar la calidad del forraje, aunque las más importantes son el estudio de la composición química, digestibilidad verdadera in vitro, degradabilidad in situ (Giraldo, Gutierrez, & Rúa, 2007; Nava Berumen et al., 2017) y la producción de gas in vitro (Murillo, Herrera, Carrete, Ruiz, & Serrato, 2012). La composición química, especialmente la proporción de proteína, es un atributo que se debe medir en el forraje con la finalidad de establecer su utilidad en la reducción de costos de alimentación en Durango. La producción de gas generada por la incubación con microorganismos ruminales es considerada como una medida indirecta de la digestibilidad de las fracciones solubles e insolubles, así como del contenido de energía metabolizable de los forrajes (Vargas-Bayona, Mejía-Porras, Bedoya-Mashuth, & Gómez Patiño, 2013). El objetivo fue

evaluar el rendimiento y calidad del forraje obtenido del pasto maralfalfa cultivado en Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un lote de 6 ha, plantado con 21,000 plantas ha⁻¹ de maralfalfa durante 2013, en el poblado La Ferrería municipio de Durango, Dgo., México (figura 1). El sitio experimental se ubicó a los 23° 57' 45" N, 104° 39' 49" O y una elevación sobre el nivel medio del mar de 1,884 m (Medina García, Díaz Padilla, López Hernández, Ruiz Corral, & Marín Silva, 2006). El suelo predominante del sitio es del tipo franco (arcillo-arenoso), el cual tiene capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 2%, pH de 7.4 y es pobre en contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante en la región es templado semiárido [BS₁ kw (w) (e)], con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y la media anual para esta variable es de 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina García et al., 2006).

Después del inicio del periodo libre de heladas se aplicó un corte de homogenización y se iniciaron los riegos en marzo de 2014 para promover el rebrote y crecimiento de las plantas. Se fertilizó con la dosis 120-60-00 (N-P₂O₅-K₂O) distribuida en dos aplicaciones: al momento de la siembra (60-60-00) y 94 días después del riego de rebrote (DDRR) (60-00-00). Como fuente de nitrógeno y fósforo se utilizó fosfato diamónico y urea para complementar la aplicación de nitrógeno (Agricenter Zevilla S.A. de C.V. Durango, México). Además de la lluvia ocurrida, durante la duración del estudio se aplicaron cuatro riegos de auxilio en intervalos de 28 días, con una lámina de riego de 15 cm. El control de la maleza se realizó mediante dos escardas [15 y 30 días después del rebrote (DDR), respectivamente] y una aplicación del herbicida 2,4-D (45 DDR): sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético, a razón de 1 L ha⁻¹ (Syngenta, México).



Figura 1. Lote plantado con pasto maralfalfa en el poblado La Ferrería municipio de Durango, Dgo., México.
Fotografía tomada por Pablo Alfredo Domínguez-Martínez.

Determinación del rendimiento de forraje fresco y seco

Se realizaron muestreos para la evaluación del rendimiento de forraje fresco y forraje seco a cuatro edades de las plantas después del rebrote, los cuales se iniciaron el 20 de junio de 2014 y tuvieron un intervalo de dos semanas [20 de junio (73 DRR), 3 de julio (86 DRR), 17 de julio (100 DRR) y 31 de julio (114 DRR)]. Se utilizó 1 ha como parcela experimental, en ella se ubicaron al azar seis unidades experimentales de 4.86 m² para la recolección de muestras en las fechas antes descritas. Las plantas incluidas en el sitio de muestreo se cortaron 5 cm por arriba del suelo, se pesó el forraje verde en campo, con el uso de una balanza digital con precisión de 0.01 g. Después, se tomó una submuestra de peso definido (5 kg), obtenido a partir de plantas completas, las cuales se picaron para facilitar el secado de tallos y hojas. Las submuestras se secaron hasta peso constante en una estufa de aire forzado (modelo H-1.25, Ríos Rocha, S. A., México) a 50 °C durante 48 horas, para determinar el peso seco del forraje mediante extrapolación del porcentaje de materia seca al total de la muestra obtenida en cada una de las parcelas útiles. Las muestras fueron molidas en un molino (Laboratory Mill Model 4, Thomas Wiley, EE. UU.) hasta obtener un tamaño de partícula de 1 mm para los análisis de composición química, digestibilidad in vitro de la materia seca y producción de gas in vitro.

Composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca

La proteína cruda (PC) se evaluó por el método Kjeldahl, según la AOAC (1990), el cual incluyó la cuantificación del nitrógeno total y luego el valor

obtenido se multiplicó por el factor 6.25. La fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina (L) se determinaron con base en el método ANKOM (2005), en el cual se consideró la utilización de bolsas ANKOM F57. La hemicelulosa se calculó por diferencia (HE= FDN - FDA), al igual que la celulosa (CE= FDA - LDA). Las muestras molidas de forraje se sometieron a una fermentación anaeróbica durante 48 h a 39 °C, para la determinación de la digestibilidad verdadera in vitro de la materia seca (DIVMS). La fermentación se realizó con líquido ruminal, el cual se obtuvo de dos bovinos macho fistulados, con 700 kg de peso vivo promedio; los cuales fueron alimentados con heno de alfalfa, ensilado de maíz y concentrado comercial con 12% de proteína. El proceso de fermentación se realizó en la incubadora Daisyll (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) siguiendo el protocolo sugerido por el fabricante (ANKOM, 2011). En la determinación de la digestibilidad in vitro se utilizó el protocolo propuesto por el fabricante de la incubadora Daisyll® (ANKOM Technology, Macedon, NY, EE. UU.).

Valor relativo de forraje y calidad relativa de forraje

Se calcularon los índices de calidad relativa del forraje (CRF) y el valor relativo de forraje (VRF) con las siguientes ecuaciones (Moore & Undersander, 2002):

$$VRF = \frac{(CMS)(MSD)}{1.29} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$CMS = \frac{120}{\% FDN} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$MSD = 88.9 - [(0.779)(\% FDA)] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$CRF = \frac{(CMS)(TND)}{123} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde: VRF= valor relativo de forraje, CMS= consumo de materia seca, MSD= materia seca digestible, FDN= fibra en detergente neutro, FDA= fibra en detergente ácido, CRF= calidad relativa del forraje y TND= total de nutrientes digestibles.

Producción de gas in vitro

Se determinó en un sistema ANKOM® mediante la técnica propuesta por el fabricante del equipo (ANKOM, 2012). Para ello, se colocó 1.0 g de muestra en frascos de 250 ml y se agregaron 120 ml de una solución que contenía buffer y líquido ruminal. Se utilizó líquido ruminal obtenido de un bovino macho fistulado del rumen con un peso aproximado de 450 kg. Se purgaron los frascos con CO₂ y se cerraron de

forma hermética. Se incluyeron dos frascos como blanco, los cuales contenían únicamente el buffer y el líquido ruminal. Los frascos se colocaron en baño maría a 39 °C y se midió cada 60 minutos, de forma automática, la presión de gas durante 96 horas de incubación. La presión (psi) producida durante el estudio se transformó a moles mediante el uso de la ecuación del gas ideal (Ecuación 1):

$$n = p \frac{V}{RT} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde: n = gas producido en moles (mol), p = presión en kilopascales (kPa), V= volumen entre el líquido y la cabeza del frasco, R= constante de gas (8.314472 L.kPa. K⁻¹ mol⁻¹) y T= temperatura en grados Kelvin. Una vez transformados los datos se obtuvieron los parámetros de fermentación ruminal con base en el modelo de Gompertz (Lavrenčič, Stefanon, & Susmel, 1997), el cual mostró el ajuste requerido de acuerdo con la Ecuación 2:

$$Yt = a * \exp \{[-b * (\exp(-c * t))]\} \quad \text{Ecuación 6}$$

donde: Yt = producción de gas al tiempo t, a= volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato (asíntota), b= factor constante de eficiencia microbiana, c= tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable y t= tiempo de incubación. Los parámetros de producción de gas in vitro se obtuvieron en Excel® por el método de mínimos cuadrados y se utilizó el módulo SOLVER® de programación lineal.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante el procedimiento GLM, en un diseño completamente al azar y seis repeticiones. Cuando se obtuvieron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de

medias con base en la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los parámetros de la producción de gas in vitro se obtuvieron por mínimos cuadrados con ayuda de la herramienta Excel – Solver®. Los análisis estadísticos se realizaron mediante la utilización del paquete estadístico SAS® Ver. 9.2.

RESULTADOS

Rendimiento de forraje fresco y seco

Se obtuvieron diferencias altamente significativas para el rendimiento de forraje fresco ($p \leq 0.0003$) y forraje seco ($p \leq 0.0001$) entre edades de rebrote (tabla 1). El rendimiento de forraje verde se incrementó en 228.16% entre los cortes realizados a los 73 y 100 DRRR (figura 2); mientras que el rendimiento de forraje seco (figura 3) aumentó casi cinco veces entre el primer y tercer corte (73 y 100 DRRR, respectivamente).

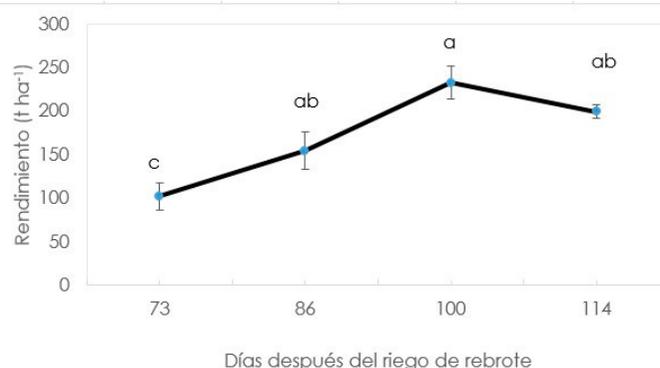


Figura 2. Rendimiento de forraje fresco a cuatro edades de rebrote en pasto maralfalfa cultivado en Durango, México. Elaboración propia.

Tabla 1

Cuadrados medios del análisis de varianza para variables relacionadas con el rendimiento y calidad de forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Fuente de variación	Grados de libertad	Forraje fresco	Forraje seco	Valor relativo del forraje	Calidad relativa del forraje
Edad del rebrote	3	19251.0	1351.8	321.5	68.3
Error	20	1933.3	81.9	103.5	32.9
¹ C. V. (%)		25.6	39.6	14.9	7.2
P		0.0003	0.0001	0.0889	0.1816

Nota: ¹C. V. = coeficiente de variación, p = valor de p. Elaboración propia.

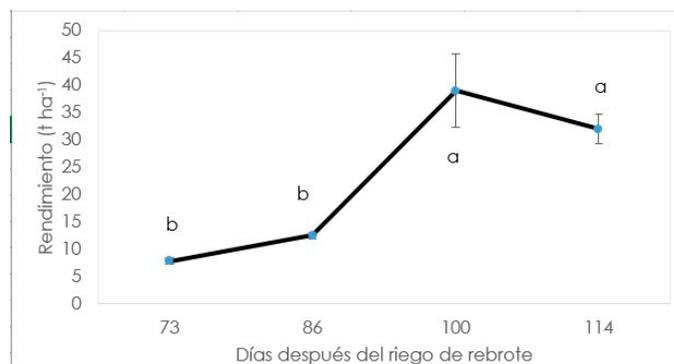


Figura 3. Rendimiento de forraje seco a cuatro edades de rebrote en pasto maralfalfa cultivado en Durango, México. Elaboración propia.

Composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca

Se detectaron diferencias altamente significativas entre edades del rebrote para PC ($p \leq 0.0080$), FDN ($p \leq 0.0069$), FDA ($p \leq 0.0009$), CEL ($p \leq 0.0002$) y DIVMS ($p \leq 0.0010$) (tabla 2). En el caso de HEM y lignina se concluyó, con base en el análisis de varianza, que los valores entre muestreos fueron estadísticamente iguales.

Tabla 2

Cuadrados medios del análisis de varianza para variables relacionadas con la composición química y digestibilidad del forraje de maralfalfa cultivada en Durango, México

		PC	FDN	FDA	HEM	CEL	Lignina	DIVMS
¹ FV	gl							
Edad del rebrote	3	9.3	91.1	147.9	8.3	58.5	23.2	134.9
Error	20	1.8	16.9	18.0	4.8	5.2	8.9	16.7
² C.V. (%)		17.4	5.7	9.2	8.6	5.8	45.6	7.1
Probabilidad		0.0080	0.0069	0.0009	0.1919	0.0002	0.0796	0.0010

Nota: ¹FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutra, FDA= fibra detergente ácida, HEM= hemicelulosa, CEL= celulosa, DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca; ²C. V.= coeficiente de variación.

Se observó un incremento de 8.6% en el contenido de FDN entre el primer y cuarto muestreo. Para FDA la diferencia fue de 10.5% entre 73 y 114 DRRR (tabla 3).

Elaboración propia.

Tabla 3

Composición y digestibilidad in vitro de la materia seca a cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	¹ PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	HE (%)	CE (%)	Lignina (%)	DIVMS (%)
73	9.1 ^a	67.7 ^b	41.2 ^c	26.6	36.6 ^b	4.6	60.7 ^a
86	8.3 ^{ab}	69.1 ^b	42.6 ^{bc}	26.5	37.0 ^b	5.1	59.8 ^a
100	7.0 ^{ab}	72.9 ^{ab}	48.5 ^{ab}	24.4	41.8 ^a	6.7	58.4 ^a
114	6.4 ^b	76.3 ^a	51.7 ^a	26.6	42.6 ^a	9.2	50.3 ^b

Nota: ¹PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; HE= hemicelulosa; CE= celulosa; DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca. ²Días después del riego de rebrote.

Elaboración propia.

En el caso del contenido de CE en la materia seca se observó un incremento de 4.8 a 6% en los cortes realizados 100 y 114 DDDR, en comparación con los dos primeros. La reducción en la digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca obtenida a los

114 DDDR osciló entre 10.4 a 8.1% en comparación con la DIVMS de los cortes realizados 73 a 100 DDDR. Las variables VRF y CRF, relacionadas con la calidad de forraje, mostraron igualdad estadística entre fechas de cortes (tabla 4).

Tabla 4

Valor y calidad relativos del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	Valor Relativo del Forraje (%)	Calidad Relativa del Forraje (%)
73	76.7	81.0
86	75.8	82.6
100	67.3	81.3
114	54.4	72.2

Nota: ¹Días después del riego de rebrote (DDRR).
 Elaboración propia.

Producción de gas *in vitro*

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre muestreos para el parámetro 'a' (volumen teórico máximo de gas, ml); mientras que para 'b' (tasa constante producción de gas, h^{-1}) y 'c' (tasa constante de producción de gas del material potencialmente

degradable, $h^{-1/2}$) registraron valores estadísticamente iguales entre edades de rebrote (tabla 5). Los valores del parámetro 'a' (tabla 6) se redujeron de forma significativa en cada fecha de corte y pasó desde 108.4 ml de gas g^{-1} de MS (73 DDDR) hasta 30.8 ml de gas g^{-1} de MS (114 DDDR).

Tabla 5

Cuadrados medios del análisis de varianza de la producción de gas *in vitro* del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Fuente de variación	¹ gl	A	B	C
Error	8	21.2	0.5	32.0
Edad del rebrote	3	3552.2	0.5	27.2
P		<0.0001	0.4	0.5
² C.V.		7.7	36.8	53.6

Nota: ¹gl= grados de libertad, a= volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato (asíntota), b= factor constante de eficiencia microbiana y c= tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable; ²C. V.= coeficiente de variación.

Elaboración propia.

En el caso del factor 'b' (tabla 6) se observó que los niveles se incrementaron paulatinamente y se registraron valores significativamente altos en los cortes realizados 100 DDDR (2.18 h^{-1}) y 114 DDDR (2.35 h^{-1}).

Los valores para la tasa constante de producción de gas "c" del material potencialmente degradable resultaron estadísticamente iguales, con niveles entre 8.20 % $h^{-1/2}$ (primer muestreo) y 14.92 % $h^{-1/2}$ en el tercero.

Tabla 6

Parámetros obtenidos para la producción de gas in vitro del forraje obtenido en cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México

Edad del rebrote (Días)	¹ a (ml gas/g MS)	e.e.m.	b (h ⁻¹)	e.e.m.	c (% h ⁻¹)	e.e.m.
73	107.4 ^a	3.36	1.44 ^a	0.23	8.20 ^a	0.34
86	61.4 ^b	0.61	1.65 ^a	0.04	10.22 ^a	0.36
100	38.8 ^c	0.30	2.18 ^a	0.77	14.92 ^a	6.11
114	30.8 ^c	4.07	2.35 ^a	0.22	8.93 ^a	2.23

Nota: ¹a= volumen de gas correspondiente a la completa digestión del sustrato, b= factor constante de eficiencia microbiana, c= tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable y e.e.m.= error estándar de la media. ²Días después del riego de rebrote. Elaboración propia.

Se observó que la producción de gas in vitro se redujo a medida que avanzó la edad de las plantas de maralfalfa, por ello, el parámetro 'a' en el corte realizado 73 DRR registró el valor más alto para la producción de gas (107.4 ml gas g⁻¹ MS) y disminuyó paulatinamente hasta llegar a 30.8 ml gas g⁻¹ MS en

el corte realizado 114 DRR (figura 4). El parámetro 'b', relacionado con la eficiencia microbiana, registró variaciones entre 1.44 h⁻¹ (73 DRR) y 2.35 h⁻¹ (114 DRR).

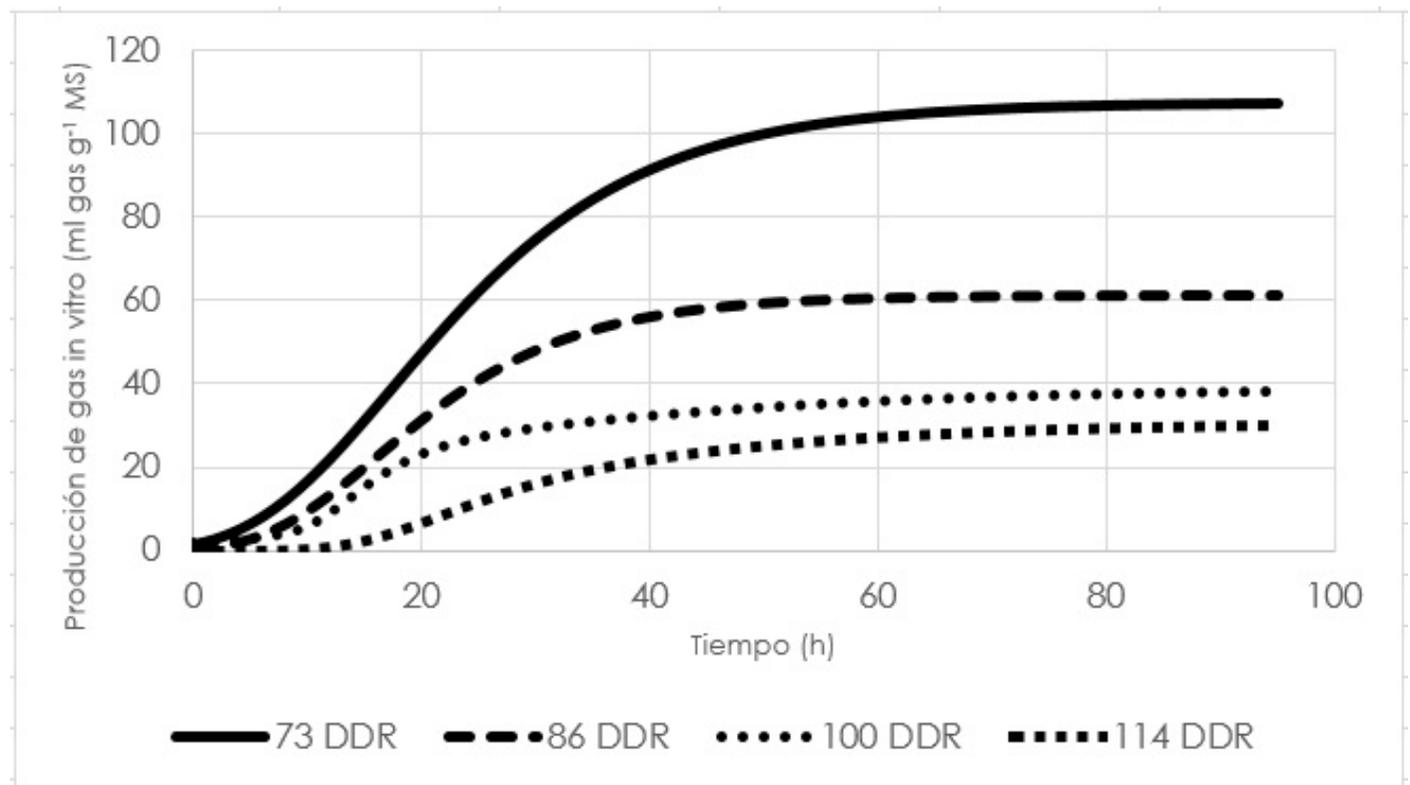


Figura 4. Producción de gas in vitro para diferentes tiempos de incubación del forraje obtenido a cuatro edades de rebrote de maralfalfa cultivada en Durango, México (DDRR= días después del riego de rebrote). Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En el presente estudio el rendimiento promedio de materia seca es de 20.83 t ha⁻¹ y la mayor cantidad de materia seca se obtuvo en el corte de los 100 días después del rebrote (39.0 t ha⁻¹). Lo anterior supera por 7.63 t ha⁻¹ el rendimiento promedio reportado por Ventura-Ríos et al. (2019), quienes reportaron el mayor rendimiento de materia seca en el corte realizado a los 120 días (20.2 t ha⁻¹). En otro estudio realizado con pasto taiwán (*Pennisetum purpureum*) se reportó un rendimiento máximo de 15.4 t de materia seca ha⁻¹ a los 120 días después del rebrote (Rengsirikul et al., 2013). A pesar de que la edad de las plantas tiene un efecto positivo considerable sobre el rendimiento materia seca (Ventura-Ríos et al., 2019), en el presente estudio se observó una producción de materia seca superior a la obtenida con plantas de mayor edad en los estudios antes mencionados.

La edad de la planta tiene una relación inversa con la calidad nutritiva del forraje (Uvidia, Ramírez, Vargas, Leonard, & Sucoshañay, 2015). Lo anterior concuerda con la disminución del porcentaje de PC observado en las plantas cosechadas a mayor edad en el presente estudio. En otros estudios se reportaron valores más bajos de PC (6.2% a 7.6%), cuando la planta alcanzó entre 60 y 90 días de edad (Citalán Cifuentes et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Ramírez & Pérez, 2006). Ventura-Ríos et al. (2019) reportan que la PC osciló entre 9.3 y 4.0% en plantas de 30 a 120 días de edad. La disminución de PC se debe a un incremento en la actividad metabólica (Chacón-Hernández & Vargas-Rodríguez, 2009) que promueve la acumulación de materia seca no nitrogenada, superando la capacidad de la planta para absorber nitrógeno (Ramírez-Ordóñez, Domínguez-Díaz, Salmerón-Zamora, Villalobos-Villalobos, & Ortega-Gutiérrez, 2013).

El incremento en FDN y FDA reduce el consumo y calidad del forraje, al mismo tiempo que aumenta el tiempo de masticación y costos de alimentación (Cortiana Tambara et al., 2017; Lee et al., 2017); además, disminuye la digestibilidad del forraje, lo cual afecta la calidad de maralfalfa para la alimentación del ganado. El contenido de FDN, FDA y CE aumentó en la medida en que avanzó la edad de las plantas de maralfalfa. Los reportes de distintos autores concuerdan con el aumento de FDN, FDA y CE (Ansah, Osafo, & Hansen, 2010; Cárdenas Ramírez et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Rengsirikul et al., 2013; Ventura-Ríos et al., 2019). Con base en lo

anterior, se recomienda que el forraje obtenido con pasto maralfalfa se aproveche en etapas tempranas, con la finalidad de evitar niveles altos de FDN, FDA y CE debido al aumento en la proporción de tallos con respecto a la cantidad de hojas que se observa cuando avanza la madurez del forraje (Ramírez, Verdecia, & Leonard, 2008) y la acumulación de lignina (Lee et al., 2017).

En otro estudio se reportaron valores similares para la DIVMS de 62.5%, 55.8% y 52.1%, con intervalos entre corte de 21 días (Clavero & Razz, 2009). Por otro lado, Ventura-Ríos et al. (2019) reportan valores de DIVMS que oscilan entre 42.49 y 55.69% en plantas con 120 a 30 días de edad, respectivamente. En el presente estudio se observó la disminución de la DIVMS con el avance en edad de las plantas cosechadas, principalmente debido a la acumulación de FDN, FDA, CE, lignina y disminución de la proporción de hojas con respecto a los tallos (Ansah et al., 2010; Cárdenas-Ramírez et al., 2012; Clavero & Razz, 2009; Ramírez et al., 2008; Rengsirikul et al., 2013; Lee et al., 2017; Ventura-Ríos et al., 2019).

El pasto maralfalfa mostró valores estimados que permite considerarlo como un forraje de buena calidad nutritiva (Romero, Castillo, Burns, Davidson, & Moriel, 2014; Undersander, 2011). Estos resultados fueron inferiores a los que se reportaron en estudios realizados con variedades de sorgo dulce en Durango, en los que se obtuvieron niveles de 96.4 para VRF y 112.7 % para la CRF (Nava Berumen et al., 2017). Se observó sensibilidad baja del VRF y CRF para discriminar entre niveles diferentes de calidad del forraje, incluso de la misma especie.

La variación entre observaciones mostrado por el error estándar de la media fue mayor en el primer y último muestreo, debido principalmente a la modificación del nivel de acumulación de lignina en los tejidos. Este parámetro presentó sensibilidad en la discriminación del forraje, debido a que separó el material tierno de calidad mayor en relación con el cortado en forma tardía. Los valores altos de producción de gas, registrados en el forraje tierno (73 DRRR) se relacionan positivamente con mayor generación de ácidos grasos volátiles totales (Moss, Jouany, & Newbold, 2000; Sánchez-Santillán & Cobos-Peralta, 2016), los cuales son benéficos para la nutrición animal (Álvarez, 2000; Williams, 2000). El incremento en los niveles del factor "b", se relacionó con la necesidad de contar con un tiempo mayor para alcanzar la diferencia máxima entre el gas inicial y el gas final (Naranjo et al., 2016).

La variación en las observaciones de los diferentes parámetros de producción de gas se relacionó con el contenido mayor de FDA (Robles Jiménez, Ruiz-Pérez, Morales-Osorio, Gutiérrez-Martínez, & González, 2017) y esto permite que haya fluctuaciones en la fermentación in vitro, por la predominancia de la CE sobre la HE; así como el incremento paulatino de lignina (tabla 3) en el forraje de maralfalfa. La reducción de la producción de gas in vitro se derivó principalmente de los cambios en la composición química del forraje (Aderinboye et al., 2016) obtenido con el pasto maralfalfa en las diferentes fechas de corte. Los resultados concuerdan con estudios anteriores en los que se demostró que la eficiencia microbiana se reduce cuando la planta se encuentra madura y se dificulta la degradación de sus componentes (Juárez Reyes et al., 2009; Ventura-Ríos et al., 2019). La tasa constante de producción de gas (parámetro 'c') se relacionó con el crecimiento de los microorganismos ruminales y la accesibilidad de las enzimas microbianas a los nutrientes del alimento (Getachew, Makkar, & Becker, 2000); por tanto, a los 100 días la tasa de producción de gas fue mayor que a los 73 días.

El tiempo de la fase Lag se incrementó a medida que se redujo la calidad del forraje y alcanzó 15 h en el caso del muestreo realizado 114 DDR, debido principalmente a la dificultad de acceso para las bacterias encargadas de la degradación del alimento (Dijkstra & Tamminga, 1995), lo que redujo la eficiencia en los procesos de fermentación (Naranjo et al., 2016).

CONCLUSIONES

La maralfalfa (*Pennisetum* sp.) representa una alternativa para la producción de cantidades altas de materia seca durante el ciclo primavera-verano, en Durango. El forraje de maralfalfa mostró calidad inferior en relación con otras especies de gramíneas utilizadas para la producción de forraje en Durango, especialmente cuando se cosechan plantas después de 100 días a partir del rebrote. Se observó que es conveniente aprovechar el forraje de maralfalfa entre los 73 y 86 días después del rebrote para mantener niveles competitivos de PC, FDN, FDA y DIVMS. Las variables relacionadas con la categorización nutritiva del forraje, el valor y la calidad relativa del forraje mostraron sensibilidad reducida para diferenciar edades de rebrote. La producción de gas mostró sensibilidad para diferenciar la calidad del forraje a través de las edades de rebrote. El presente

estudio sirve como una caracterización básica de la productividad y calidad del forraje obtenido con pasto maralfalfa cultivado en Durango. Se considera necesario continuar con estudios sucesivos; sin embargo, se requiere la inclusión de otras variables que permitan un entendimiento más completo de la productividad de esta especie y a partir de ahí generar recomendaciones más precisas para su cultivo y aprovechamiento en Durango.

REFERENCIAS

- Aderinboye, R. Y., Akinlolu, A. O., Adeleke, M. A., Najeem, G. O., Ojo, V. O. A., Isah, O. A., & Babayemi, O. J. (2016). In vitro gas production and dry matter degradation of four browse leaves using cattle, sheep, and goat inocula. *Slovak Journal of Animal Sciences*, 49(1), 32-43. Recuperado de http://www.cvzv.sk/slju/16_1/5_Aderinboye.pdf
- Álvarez, D. M. (2000). *Evaluación in vitro de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- ANKOM. (2005). *Acid detergent fiber in feeds filter bag technique (ANKOM2000)*. Macedon, US: Ankom Technology Method. Recuperado de http://www.ssc.com.tw/Ankom/PDF_file/ADF%20Method%20A2000.pdf
- _____ (2011). *In vitro true digestibility using DAISYII incubator* [Documento en pdf]. Macedon, US: Ankom Technology. Recuperado de http://www.ssc.com.tw/Ankom/PDF_file/Daisy%20method.pdf
- _____ (2012). *ANKOM_{RF} Gas Production System. Operator's manual* [Documento en pdf]. Macedon, US: Ankom Technology. Recuperado de https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/RF_Manual_0.pdf
- Ansah, T., Osafo, E. L. K., & Hansen, H. H. (2010). Herbage yield and chemical composition of four varieties of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass harvested at three different days after planting. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 923-929. doi: 10.5251/ABJNA.2010.1.5.923.929
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15^o. ed.). Washington DC, US: Association of Official Analytical Chemists.
- Cárdenas Ramírez, L. R., Pinto-Ruiz, R., Medina, F. J., Guevara, F., Gómez, H., Hernández, A., & Carmona J. (2012). Producción y calidad del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) durante la época seca. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(13), 38-46. Recuperado de https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-ener-jun/produccion_y_calidad_del_pasto_maralfalfa.pdf
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 399-408. doi: 10.15517/am.v20i2.4956
- Citalán Cifuentes, L., Domínguez Coutiño, B., Orantes Zebadúa, M. A., Manzur Cruz, A., Sánchez Muñoz, B., Santos

- Lara, M. C.,... Córdova Avalos, V. (2012). Evaluación nutricional de maralfalfa (*Pennisetum* spp.) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(13), 19-23. Recuperado de https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-ener-jun/evaluacion_nutricional_de_maralfalfa.pdf
- Clavero, T., & Razz, R. (2009). Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(1), 78-87. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000100005&lng=es&nrm=iso
 - Cortiana Tambara, A. A., Regiani Sippert, M., Cardoso Jauris, G., Carvalho Flores, J. L., Luis Henz, E., & Pedro Velho, J. (2017). Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3), 235-241. doi: 10.4025/actascianimsci.v39i3.34661
 - Dijkstra, J., & Tamminga, S. (1995). Simulation of the effects of diet on the contribution of rumen protozoa to degradation of fibre in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 74(5), 617-634. doi: 10.1079/bjn19950166
 - García, E. (1987). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (4ª. ed.). D. F., México: Instituto de Geografía-UNAM. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
 - Getachew, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2000). Effect of polyethylene glycol on in vitro degradability of nitrogen and microbial protein synthesis from tannin-rich browse and herbaceous legumes. *British Journal of Nutrition*, 84(1), 73-83. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114500001252>
 - Giraldo, L. A., Gutiérrez, L. A., & Rúa, C. (2007). Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 269-279. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a05.pdf>
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Anuario estadístico y geográfico de Durango 2014*. México: INEGI.
 - Jiménez, O. R., Domínguez, M. P. A., Rosales, S. R., Nava, B. C. A., & Carrete, C. F. O. (2014). Rendimiento y calidad del forraje de maralfalfa. *1er. Congreso Internacional de Investigación Agropecuaria y Forestal*(pp. 188-195). Estado de México, México.
 - Juárez Reyes, A. S., Cerrillo Soto, M. A., Gutiérrez Ornelas, E., Romero Treviño, E. M., Colín Negrete, J., & Bernal Barragán, H. (2009). Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro. *Técnica Pecuaria en México*, 47(1), 55-67. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/613/61312109004.pdf>
 - Lavrenčič, A., Stefanon, B., & Susmel, P. (1997). An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Animal Science*, 64(3), 423-431. doi: 10.1017/S1357729800016027
 - Lee, C. N., Fukumoto, G. K., Thorne, M. S., Stevenson, M. H., Kim, Y. S., Nakahata, M., & Ogoshi, R. M. (2017). Nutrient compositions of sugarcane forages were influenced by season and the time of harvest. *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 2(1), 1-6. doi: 10.19080/JDVS.2017.02.555579
 - Medina García, G., Díaz Padilla, G., López Hernández, J., Ruiz Corral, J. A., & Marín Silva, M. (2006). *Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Durango (periodo 1961-2003)*. Durango, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://1library.co/document/z1lgreeq-estadisticas-climatologicas-basicas-del-estado-de-durango-periodo.html>
 - Moore, J. E., & Undersander, D. J. (2002). Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. En *13th Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Llevado a cabo por la University of Florida, Gainesville, Florida.
 - Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 49(3), 231-253. doi: 10.1051/animres:2000119
 - Murillo, M., Herrera, E., Carrete, F. O., Ruiz, O., & Serrato, J. S. (2012). Chemical composition, in vitro gas production, ruminal fermentation and degradation patterns of diets by grazing steers in native range of North Mexico. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(10), 1395-1403. doi: 10.5713/ajas.2012.12281
 - Naranjo, J. F., Ceballos, O. A., Gaviria, X., Tarazona, A. M., Correa, G. A., Chará, J. D.,... Barahona, R. (2016). Estudio de la cinética fermentativa in vitro de mezclas de forrajes que incluyen *Leucaena leucocephala* proveniente de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI) en Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(2), 6-17. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cmzv/v11n2/v11n2a02.pdf>
 - Nava Berumen, C. A., Rosales Serna, R., Jiménez Ocampo, R., Carrete Carreón, F. O., Domínguez Martínez, P. A., & Murillo Ortiz, M. (2017). Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista Mexicana de las Ciencias Pecuarias*, 8(2), 147-155. doi: 10.22319/rmcp.v8i2.4426
 - Ortiz Robledo, F., Reyes Estrada, O., Herrera Corral, J., Rosales Serna, R., & Jiménez Ocampo, R. (2016). Rendimiento y calidad nutricional del forraje de maralfalfa obtenido en diferentes fechas de corte en Durango, México. *AGROFAZ*, 16(1), 47-56. Recuperado de <https://docplayer.es/69926875-Rendimiento-y-calidad-nutricional-del-forraje-de-maralfalfa-obtenido-en-diferentes-fechas-de-corte-en-durango-mexico.html>
 - Ortiz Robledo, F., Reyes Estrada, O., Carrete Carreón, F. O., Sánchez Arroyo, J. F., Herrera Torres, E., Murillo Ortiz, M., & Rosales Serna, R. (2017). Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 345-353. Recuperado de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9700/20172-cp24-reyes.pdf
 - Ramírez, Y., & Pérez, J. (2006). Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 24, 57-62. Recuperado de <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ruct/article/view/95/90>
 - Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora,

- J. J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 395-403. doi: 10.35196/rfm.2013.4.395
- Ramírez, J. L., Verdecia, D., & Leonard, I. (2008). Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum Cuba CT 169* en un suelo pluvisol. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9(5). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63611397007.pdf>
 - Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Sripichitt, P., Punsuvon, V., Vaitanomsat, P.,... & Tudsri, S. (2013). Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of 8 cultivars of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested 3-monthly in Central Thailand. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3(2), 107-112. doi: 10.4236/jsbs.2013.32015
 - Robles Jiménez, L. E., Ruiz-Pérez, J. A., Morales-Osorio, A., Gutiérrez-Martínez, M. G., & González R., M. (2017). Producción de forraje, composición química y producción de gas in vitro de maíces híbridos amarillos cultivados en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 373-379. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93953814007.pdf>
 - Romero, J. J., Castillo, M., Burns, J. C., Davidson, S., & Moriel, P. (2014). *Forage quality: Concepts and practices* [Documento en portal electrónico]. NC, US: NC State Extension Publications. Recuperado de <https://content.ces.ncsu.edu/forage-quality-concepts-and-practices>
 - Sánchez-Santillán, P., & Cobos-Peralta, M. A. (2016). In vitro production of volatile fatty acids by reactivated cellulolytic bacteria and total ruminal bacteria in cellulosic substrate. *Agrociencia*, 50(5), 565-574. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n5/1405-3195-agro-50-05-565.pdf>
 - Undersander, D. J. (2011). *Alfalfa management guide* (59 pp.). US: American Society of Agronomy. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=x34-YgEACAAJ&dq=editions:ISBN0891181792&hl=es>
 - Uvidiá, H., Ramírez, J., Vargas, J., Leonard, I., & Sucoshañay, J. (2015). Rendimiento y calidad del *Pennisetum purpureum* vc Maralfalfa en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(6), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63641399006.pdf>
 - Vargas-Bayona, J., Mejía-Porras, G., Bedoya-Mashuth, J., & Gómez Patiño, J. F. (2013). Estimación de la técnica in vitro de gases frente a otras técnicas de digestibilidad. *Spei Domus*, 9(18), 59-70. doi: 10.16925/sp.v9i18.547
 - Ventura-Ríos, J., Reyes-Vazquez, I., García-Salas, A., Muñoz-García, C., Muro-Reyes, A., Maldonado-Peralta, M. A., ... Cruz Hernández, A. (2019). Rendimiento, perfiles nutrimental y de fermentación ruminal in vitro de pasto maralfalfa (*Cenchrus purpureus* Schumach.) Morrone a diferentes frecuencias de corte en clima cálido. *Acta Universitaria*, 29, 1-11. doi: 10.15174/au.2019.2204
 - Williams, B. A. (2000). Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. En D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, & H. M. Omed (Eds.), *Forage evaluation in ruminant nutrition* (pp. 198-213). Wallingford, UK: CABI Publishing Wallingford.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México

Potential distribution of bark beetles of genera *Dendroctonus* and *Ips* on the Sierra Madre Occidental of Durango, Mexico

Daniela Mitzuko Carrillo-Aguilar*, Mónica Yazmín Flores-Villegas**, Pedro García-Ramírez***, Jorge Armando Chávez-Simental****, Pedro Antonio Domínguez-Calleros*****✉

Carrillo-Aguilar, D. M., Flores-Villegas, M. Y., García-Ramírez, P., Chávez-Simental, J. A., & Domínguez-Calleros, P. A. (2021). Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e3240, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843240>

RESUMEN

La información sobre la distribución de las plagas forestales en función a su preferencia climática en la región de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango es escasa. El presente estudio analizó la distribución de las especies *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos, utilizando la herramienta MaxEnt (Máxima Entropía). Los registros obtenidos sobre la presencia de estos insectos fueron proporcionados por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA)

Palabras clave: descortezadores; escarabajos; insectos; plagas forestales; probabilidad de ocurrencia.

Keywords: debarkers; beetles; insects; forest pests; probability of occurrence.

Recibido: 4 de junio de 2021 Aceptado: 6 de septiembre de 2021

* Programa de Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera al Mezquital Km 11.5, C. P. 34307, Durango, Durango, México. Correo electrónico: mitzuko.aguilar@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9012-7173>

** Universidad Politécnica de Durango. Carretera Durango-México Km. 9.5, C. P. 34300, Durango, Durango, México. Correo electrónico: monica.flores@unipolidgo.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2052-607X>

*** Consultoría en Ciencias Agropecuarias y Forestales independiente. Enebros 322, El Ciprés, C. P. 34027, Durango, Durango, México. Correo electrónico: garp820203@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2457-0695>

**** Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Blvd. Guadiana # 501, Fracc. Ciudad Universitaria, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: jorge.chavez@ujed.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-8829>

***** Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N, Col. Valle del Sur, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: pdomingc@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9520-2817>

✉ Autor para correspondencia

del estado de Durango. Los modelos resultantes son razonables de acuerdo al valor del estadístico Área Bajo la Curva (AUC) utilizado para su validación. Con un aproximado de 118 mil hectáreas (idoneidad alta) *Dendroctonus frontalis/mexicanus* fue la especie que destacó en esta variable. Por otra parte, las variables más importantes para el modelamiento de las especies analizadas son las derivadas de la temperatura.

ABSTRACT

Information on the distribution of forest pests according to their climatic preference in the Sierra Madre Occidental region of the state of Durango is limited. In the present study, the distribution of the species *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *Dendroctonus valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* and other insects is analyzed, using the MaxEnt (Maximum Entropy) tool. The records obtained on the presence of these were provided by the Secretary of Natural Resources and Environment (SRNyMA) of the state of Durango. The resulting models are reasonable according to the value of the Statistical Area Under the Curve (AUC) used for their validation. With an approximate of 118 thousand hectares (high suitability) *Dendroctonus frontalis/mexicanus* was the most notable specie in this variable. On the other hand, the most important variables for modeling the analyzed species are those derived from temperature.

INTRODUCCIÓN

En México los bosques templados ocupan 16% del territorio (SEMARNAT, 2016), en ellos se encuentra

gran parte de la biodiversidad nacional. El estado de Durango se considera la primera reserva forestal del país con aproximadamente 2 millones de hectáreas de bosques de coníferas (SEMARNAT-CONAFOR, 2014) (figura 1); en esta región, se encuentran 20 familias de coníferas importantes, en donde destaca la familia Pinaceae (Graciano-Ávila, Aguirre-Calderón, Alanís-Rodríguez, & Lujan-Soto, 2017) con especies comerciales importantes como *Pinus engelmannii*, *P. herrerae*, *P. cembroides* y *P. chihuahuana* (De León Mata, García Arévalo, Andrade Herrera, & Ruiz Marín, 2013; Ríos-Saucedo, Valenzuela-Núñez, & Rosales-Serna, 2019).



Figura 1. Bosques de coníferas en el estado de Durango susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Fotografía del equipo de investigación.

Las principales afectaciones de la mayoría de los bosques son por incendios, deforestación, enfermedades y plagas (SEMARNAT, 2016). Dentro de las plagas, los insectos descortezadores de la subfamilia Scolytidae, principalmente los escarabajos de los géneros *Dendroctonus* e *Ips*, son considerados los primeros agentes bióticos que causan daños importantes y grandes pérdidas económicas (Atkinson, 2013); en contraste, también son esenciales en el saneamiento natural de los ecosistemas y promueven la biodiversidad de los mismos (Salinas-Moreno et al., 2009).

En México, las plagas forestales afectaron un promedio de 50,843 ha de 1990 a 2014, de las cuales 39% fue atacado por descortezadores; Durango fue la segunda entidad donde se registró la mayor afectación, con un promedio anual de 4,904 ha con presencia de plagas (SEMARNAT, 2016). Además, durante el periodo de 2010 a 2012 el norte del país sufrió una sequía prolongada que generó las condiciones adecuadas para incrementar el desarrollo de infestaciones severas de estos insectos (Cibrián et al., 2013). Al respecto, Moore y Allard (2009) mencionan

que los factores climáticos influyen en el desarrollo, reproducción y supervivencia de insectos plaga. El estrés en los bosques templados ha aumentado en la última década debido al calentamiento global; además que el cambio climático provoca mayor incidencia de plagas forestales (Romero Sánchez, 2016), ya que los insectos son muy sensibles a los cambios en las variables climáticas y responden a las alteraciones del clima incrementando o disminuyendo sus parámetros poblacionales; tales como reproducción y tamaño poblacional, entre otros.

Según Grageda Grageda, Ruiz Corral, Jiménez Lagunes y Fu Castillo (2014), uno de los posibles impactos es el incremento del número de generaciones de los insectos, lo que puede indicar que los costos de control se incrementarían; sin embargo, Hódar, Zamora y Cayuela (2012) mencionan que el costo de control a mediano y largo plazo podrían disminuir, siempre y cuando se comience con la gestión integral que favorezca la biodiversidad para aumentar la resiliencia de estos. El aumento de la temperatura incrementa el número de descortezadores (Sosa Díaz et al., 2018), así como su capacidad de infestación y propicia el estrés de los árboles, lo que implica que disminuya su capacidad de defenderse ante el ataque de insectos (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Raffa et al., 2008).

Para determinar la distribución de especies es necesario que el área geográfica sea caracterizada por la probabilidad de ocurrencia de las mismas (Kéry, 2011), basándose en los registros históricos de las especies y el conocimiento sobre sus dinámicas poblacionales (Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar, & Sánchez-Rojas, 2015). La construcción de modelos de distribución de especies se asocia principalmente con diferentes variables independientes que describen las condiciones ambientales que delimitan su presencia (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). En las últimas décadas se ha utilizado el algoritmo MaxEnt (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006) para la generación de modelos de distribución de especies (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014; Sosa Díaz et al., 2018). Este algoritmo solo requiere datos de presencia/ausencia de las especies y de diversas variables bioclimáticas para estimar la distribución (Phillips & Dudík, 2008). Los resultados de los modelos se expresan en "ganancia", la cual va aumentando de acuerdo con cada variable que evidencia los requerimientos ecológicos de cada especie analizada (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014; Phillips & Dudík, 2008).

El objetivo del presente estudio fue generar modelos de distribución potencial de *Dendroctonus*

frontalis/mexicanus, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos y determinar las variables que inciden en su desarrollo con la finalidad de identificar las áreas de afectación potencial y facilitar la aplicación de medidas de prevención y control en el manejo de los bosques a través de análisis FODE en donde se discutan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, así como la necesidad de potenciar las fortalezas y oportunidades y disminuir los riesgos y debilidades del bosque, lo que representa una alternativa para su fácil detección y monitoreo, así como el impulso a una buena estructuración de los planes de manejo de la región.

Área de estudio

En el estado de Durango se seleccionaron las unidades de manejo forestal (UMAFOR) 1005, 1006, 1007, 1008, 1009 y 1010 (figura 2), donde predominan los bosques de pino, pino-encino y encino-pino en los puntos de muestreo (INEGI, 14 de diciembre de 2017); el clima del área corresponde a semifrío subhúmedo y templado subhúmedo (INEGI, 2008).

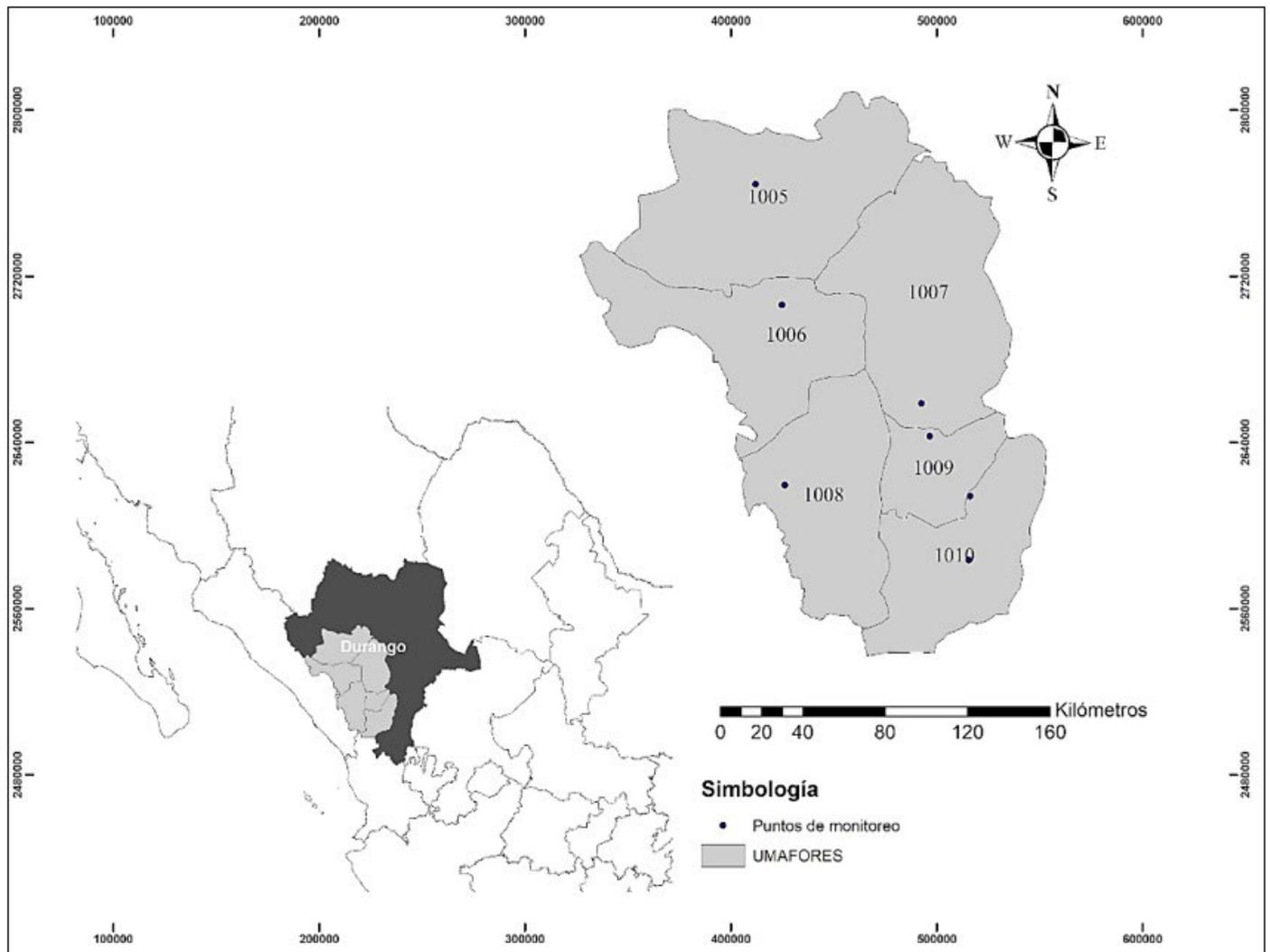


Figura 2. Área de estudio en el estado de Durango, México, señalando los puntos de muestreo dentro de las UMAFORES seleccionadas.
Elaboración propia.

Registros de descortezadores

Los registros que indican la presencia de descortezadores fueron proporcionados por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (s. f.) Se utilizó un total de siete puntos de muestreo (tabla 1), con una periodicidad de muestreo mensual durante los 12 meses de 2019, para ello se emplearon trampas multiembudo con feromonas a base de frontalina, endobrevicomina y Kairomonas para las especies de *Dendroctonus*; para las especies de *Ips* los atrayentes fueron a base de Ipsenol, Lamierone e Ipsdienol (formada por 12 embudos con una altura de 150 x 30 cm de diámetro, las cuales se colocaron a más de 20 m de distancia de cualquier árbol susceptible) sobre especies de Pinus. Se seleccionaron los datos que se ubicaron dentro del polígono de estudio a través del programa ArcMap del paquete ArcGis (versión 10.8).

En el área de estudio se identificaron por medio de especialistas de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del estado de Durango especies de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y se agregó otra categoría denominada Otros insectos, agrupando coleópteros no identificados, Curculinidae identificados en la zona y *Dendroctonus* no identificados. Para evaluar la abundancia de las especies de insectos descortezadores predominantes en cada punto de muestreo se realizó un análisis descriptivo (media, desviación estándar, valor mínimo y máximo) del número de individuos mediante el programa estadístico R Core Team (s. f.).

Tabla 1

Principales sitios de monitoreo de insectos descortezadores

Municipio	UMAFOR	Ejido	Paraje	Latitud(decimal)	Longitud(decimal)
Santiago Papasquiario	1005	Los Altares	Mesa del cristo	24.99583	-105.871389
San Dimas	1006	Vencedores y Anexos	Alto de monito	24.46716	-105.741427
Durango	1007	Otinapa y San Carlos	Mesa del oso	24.99583	-105.741427
Pueblo Nuevo	1008	Los Bancos	El panda	23.68422	-105.722444
Durango	1009	El Tecuán	Centro de Capacitación	23.89708	-105.032694
Pueblo Nuevo	1010	San Bernardino de Milpillitas Chico	Mesa de cebollas	23.36028	-104.847056
Durango	1010	La casita	Cañitos	23.63825	-104.840333

Nota: Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (s. f.).

Variables bioclimáticas, topográficas y cartográficas

Para determinar la distribución potencial de las especies se usó un total de 48 variables ambientales, topográficas y cartográficas. Se analizaron la temperatura y precipitación promedio mensual de 12 meses del año 2019 (NASA, s. f.) y 19 variables bioclimáticas (tabla 2) (WorldClim, s. f.). Todas las variables ambientales utilizadas cuentan con una resolución espacial de 30 segundos de arco (1 km). Las variables topográficas incluyeron la pendiente,

exposición y altitud. La variable altitud con una resolución de 30 m se obtuvo de la página oficial del INEGI (s. f.); la variable pendiente y exposición se calcularon utilizando ArcToolbox, Spatial Analyst, Analyst Surface en el software ArcMap versión 10.8 (Esri, s. f.). Las variables cartográficas con escala 1:250,000, edafología Serie II (INEGI, 2011) y uso de suelo y vegetación Serie VI (INEGI, 14 de diciembre de 2017), las cuales se convirtieron a formato ráster para homogeneizarlas.

Tabla 2

Variables bioclimáticas de WorldClim utilizadas para el modelo de distribución de los descortezadores

Clave	Nombre de la variable
B01	Temperatura media anual (°C)
B02	Rango diurno medio (promedio mensual (°C máx. – °C mín.))
B03	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100)
B04	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar x 100)
B05	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
B06	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
B07	Rango anual de temperatura (°C) (BIO5-BIO6)
B08	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C)
B09	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
B10	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
B11	Temperatura media del trimestre más frío (°C)
B12	Precipitación anual (mm)
B13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
B14	Precipitación del mes más seco (mm)
B15	Estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación %)
B16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
B17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
B18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
B19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

Nota: Tomada de WorldClim (s. f.).

Los ráster obtenidos se dimensionaron al área de estudio a través del programa ArcMap (versión 10.8) del paquete ArcGis. Después se convirtieron a formato ASCII utilizando herramientas del mismo software.

Modelo de Máxima Entropía (MaxEnt)

Para generar los modelos de distribución potencial de cada especie (*Dendroctonus mexicanus/frontalis*, *D. valens*, *Ips lecontei*, *Ips pini* y otros insectos) se utilizó el algoritmo Maximum Entropy (MaxEnt 3.4.4) (Phillips et al., 2006). Esto permitió generar un modelo logístico, con una probabilidad de 0-1, donde 0 indica píxeles que no representan hábitat y valores cercanos a 1 representan mayor probabilidad de presencia de especies (Cruz-Cárdenas, Villaseñor, López-Mata, Martínez-Meyer, & Ortiz, 2014). Debido al reducido número de registros de presencia de las especies y de acuerdo con la metodología propuesta por Giménez, Giannini, Schiaffini y Martin (2015) para generar los

modelos se realizaron 10 réplicas con 1,200 iteraciones y 10,000 puntos de background points para lograr una mayor precisión en el modelamiento.

Para establecer un modelo que tenga un mejor desempeño con menos variables se generó el primer modelo utilizando 48, del que se eliminaron aquellas con contribución 0%, realizándose posteriormente una segunda estimación con las restantes. Este proceso permitió realizar un remuestreo *Jackknife*, determinando cuáles variables contribuyen mejor al modelo. Después de realizar una segunda estimación se generó un archivo de salida en formato ASCII para cada especie (Loaiza, 2017).

Validación del modelo

Para conocer la idoneidad del modelo, se implementó el estadístico Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés), una predicción razonable se considera con valores mayores a 0.7 y cercanos a 1 (Peterson

et al., 2011); asimismo, se empleó la prueba Receiver Operating Characteristic (ROC) para determinar el ajuste del modelo (Aceves-Rangel, Méndez-González, García-Aranda, & Nájera-Luna, 2018). Posteriormente, las capas del modelo se exportaron a ArcMap y se convirtieron a un archivo vectorial en donde se reclasificaron los valores en baja, media y alta (Villaseñor Ríos, López-Mata, Cruz-Cárdenas, Ortiz Bermúdez, & Cadena Rodríguez, 2014) utilizando como mínimo de presencia el valor de *Minimum training presence* (Loaiza, 2017); lo anterior permite estimar la dimensión de las áreas potenciales (Hernández-Ruiz et al., 2016) y generar el mapa de distribución potencial de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *D. valens*, *Ips pini*, *Ips lecontei* y otros insectos.

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis estadístico de los registros, en las UMAFOR 1005 y 1010 predominan *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, con promedio mensual de 990.16 y 140.83 individuos y desviación de 1,175.25 y 104.27, respectivamente (tabla 3). Dentro de los bosques de la UMAFOR 1007, la especie *Ips pini* mostró una mayor incidencia con un valor máximo de 3,495 individuos y una media anual de 1,288.25; en la UMAFOR 1009 también predominó esta especie, con una media anual de 782.83 individuos (tabla 3). En la UMAFOR 1006 se encontró a *D. frontalis/mexicanus* como la especie con mayor presencia, con un valor máximo de 383 individuos, y en la UMAFOR 1008, *Ips pini* con un valor máximo de 253 individuos; en estos dos últimos sitios se registró menor presencia de insectos descortezadores.

Tabla 3
Análisis descriptivo de los sitios de monitoreo de la SRNyMa del año 2019

UMAFOR	Especie	Abundancia			
		Media	Máximo	Mínimo	SD
1005	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	990.16	3 585	2	1 175.25
	<i>Dendroctonus valens</i>	1.08	8	1	2.23
	<i>Ips pini</i>	470	1 569	6	576.03
	<i>Ips lecontei</i>	36.66	126	5	39.15
	Otros insectos no identificados	303.30	256	14	14
1006	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	80.33	384	13	105.17
	<i>Dendroctonus</i> no identificados	0.5	2	1	1.24
	<i>Ips pini</i>	90.75	273	6	107.52
	<i>Ips lecontei</i>	34.5	164	2	53.72
	Otros insectos no identificados	78.66	82	4	62.02
1007	<i>Dendroctonus frontalis</i>	27.16	113	1	34.91
	<i>Dendroctonus valens</i>	0.66	6	1	1.72
	<i>Ips pini</i>	1 288.25	3 495	36	1 023.36
	<i>Ips lecontei</i>	72.75	219	7	58.02
	Otros insectos no identificados	107.5	70	7	61.11
1008	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	27.41	113	1	34.76
	<i>Dendroctonus valens</i>	3.5	25	1	7.01
	<i>Ips pini</i>	39.24	253	36	74.2
	<i>Ips lecontei</i>	10.66	35	7	11.6
	Otros insectos no identificados	58.6	85	12	75.23
1009	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	47.08	305	2	88.43
	<i>Dendroctonus valens</i>	0.33	3	1	0.88
	<i>Ips pini</i>	782.83	1 939	25	514.32
	<i>Ips lecontei</i>	119.16	316	2	113.62
	Otros insectos no identificados	177	160	14	176.14
1010	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	140.08	425	5	104.27
	<i>Dendroctonus valens</i>	1.41	7	1	2.46
	<i>Ips pini</i>	89.83	381	6	60.84
	<i>Ips lecontei</i>	19.83	57	1	22.9
	Otros insectos no identificados	37	52	6	26.82

Nota: SD: Desviación estándar.
Elaboración propia.

Modelos de distribución potencial

La validación del modelamiento en MaxEnt fue óptima para las especies analizadas, ya que los valores de Área Bajo la Curva de cada modelo se ubicaron en un rango de 0.70 a 0.90 (tabla 4). De acuerdo con la

curva ROC, los modelos resultantes son mejores que uno aleatorio, mostrando un rango de error omisión y comisión mínimo, ya que las líneas de entrenamiento y prueba se mantuvieron lo más juntas posibles.

Tabla 4
 Valores del AUC de los modelos generados en MaxEnt

	<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	<i>Dendroctonus valens</i>	<i>Ips pini</i>	<i>Ips lecontei</i>	Otros insectos
AUC/validación	0.877	0.755	0.706	0.905	0.783

Nota: Elaboración propia.

Variables ambientales de importancia

De acuerdo con el método *Jackknife*, la variable que aumenta la ganancia de los modelos para las especies de *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, *Ips lecontei* y otros insectos es la temperatura media del trimestre más húmedo (B08), mientras que para *Dendroctonus valens* e *Ips pini* es la altitud.

para cada especie (tabla 5). Sin embargo, las variables que mejor explican la distribución de las especies analizadas son las derivadas de la temperatura. Se puede observar que para *D. frontalis/mexicanus*, *Ips pini* y otros insectos la variable con mayor porcentaje de contribución es la temperatura media del trimestre más seco (B10), para *Ips lecontei* es la temperatura media del trimestre más húmedo (B08) y para *D. valens* la temperatura media anual (B01).

Perfil ecológico

La contribución de cada una de las variables varía

Tabla 5
 Variables que contribuyen a definir la presencia de insectos descortezadores

Contribución de tres principales variables (%)				
<i>Dendroctonus frontalis/mexicanus</i>	<i>Dendroctonus valens</i>	<i>Ips pini</i>	<i>Ips lecontei</i>	Otros insectos
B10 = 62.9	B01 = 33.8	B10 = 67.2	B08 = 83.6	B10 = 78.1
B08 = 23	B08 = 24.5	B08 = 15.3	P6 = 7.4	P8 = 6.6
P6 = 7.7	Altitud = 21.3	Altitud = 7	B03 = 5.3	B08 = 6.4

Nota: B01: Temperatura media anual; B03: Isotermalidad; B08: Temperatura media del trimestre más húmedo; B10: Temperatura media del trimestre más seco; P6: Precipitación promedio de junio del año 2019; P08: Precipitación promedio de agosto del año 2019.

Elaboración propia.

Mapa de distribución potencial

De la superficie total en el área de estudio, 11% está distribuido en baja, media y alta probabilidad para *D. mexicanus/frontalis*, 14.41% para *Ips lecontei*, 20.36% para *Ips pini*, 20.59% para *D. valens* y la mayor

distribución en superficie con 20.74% se obtuvo con otros insectos (figura 3).

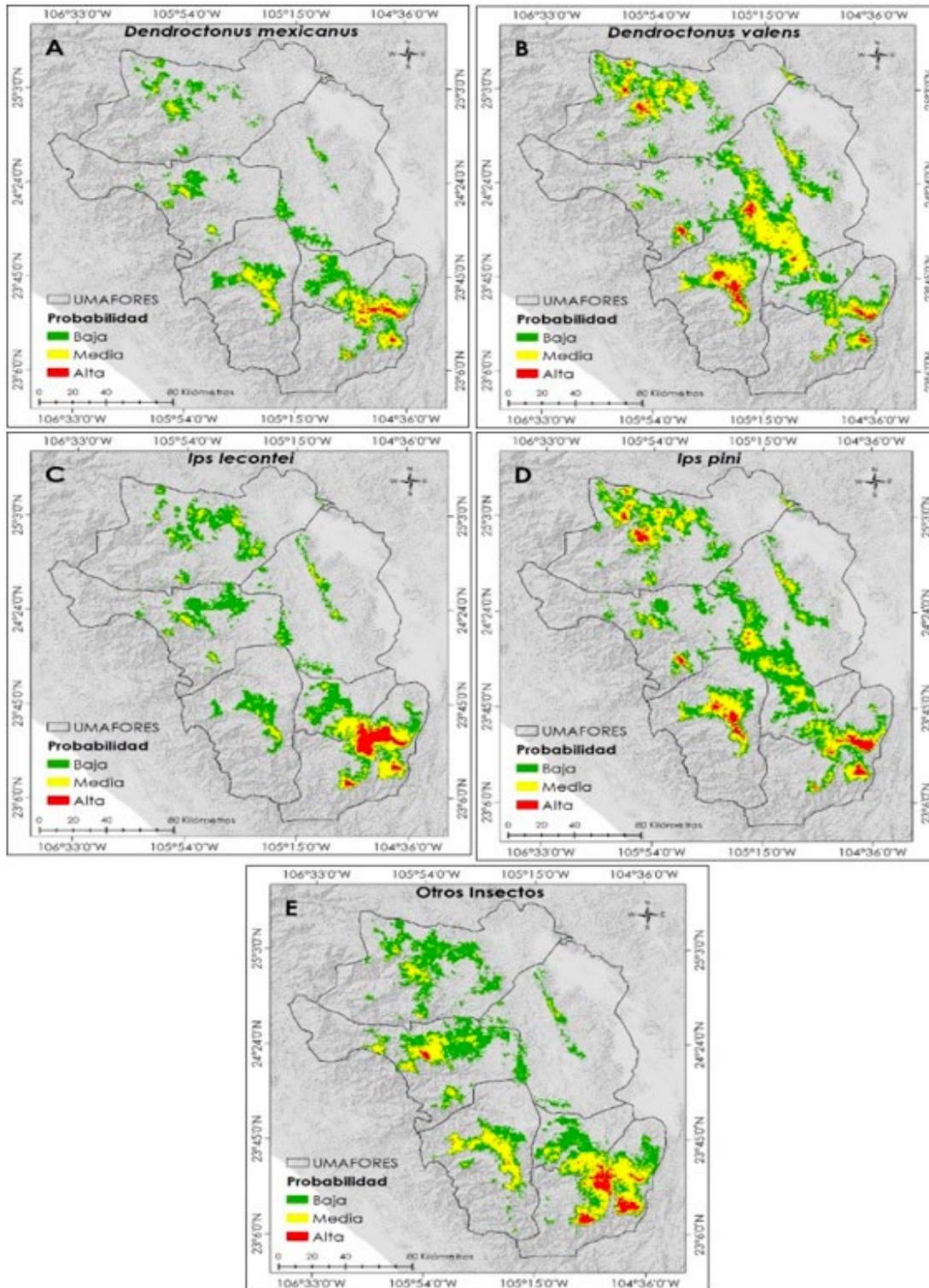


Figura 3. Distribución potencial de *D. mexicanus/frontalis* (A), *D. valens* (B), *I. lecontei* (C), *I. pini* (D) y otros insectos (E).
Elaboración propia.

Análisis de la superficie de distribución potencial de las especies estudiadas

En el área de estudio (UMAFOR 1005, 1006, 1007, 1008, 1009 y 1010) la especie con mayor área de idoneidad alta es *Dendroctonus frontalis/mexicanus* con 118,630.57 ha, sigue *Ips pini* con 38,590.42 ha, *Ips lecontei* con 36,455.03 ha, para otros insectos 35,959.50 ha y *D. valens* con 36,922.43 ha (tabla 6). En

zonas con media probabilidad la especie *D. valens* cuenta con mayor superficie, en segundo lugar, se encuentran otros insectos, sigue *Ips pini* y con menor área *D. frontalis/mexicanus* e *Ips lecontei* (tabla 6). La especie con mayor área de baja probabilidad es otros insectos, en segundo lugar, se encuentra *Ips pini*, y con menor área *D. frontalis/mexicanus*, *I. lecontei* y *D. valens* (tabla 6).

Tabla 6

Superficie del área de probabilidad de presencia (ha) de las especies de insectos descortezadores analizadas

	<i>D. frontalis/mexicanus</i>	<i>D.valens</i>	<i>Ips lecontei</i>	<i>I. pini</i>	Otros insectos
Nula	3 153, 057.02	281,580.66	3 034,181.21	2 823,440.60	2 809,902.81
Baja	278,922.55	412,426.31	363,106.32	468,787.07	477,545.05
Media	101,190.93	280,404.63	111,291.52	214,215.94	221,616.33
Alta	118,630.57	36,922.43	36,455.03	38,590.42	35,959.50

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo los modelos se consideraron adecuados con un AUC mayor a 0.7, ya que los resultados obtenidos coinciden con la investigación de Peterson et al. (2011), quienes indican que para una predicción razonable este valor es mejor al encontrarse en un rango de 0.7 a 0.9. Otros autores mencionan que en un rango mayor de 0.80 se considera un modelo muy bueno (Gutiérrez Hernández, Cámara Artigas, Sensiales González, & García, 2018), como fue para *D. frontalis/mexicanus* e *Ips lecontei* en esta investigación; a diferencia de Felicísimo et al. (2011), que mencionan que en un rango de AUC > 0.75 – <0.85 el modelo es aceptable, mientras que un valor <0.75 es deficiente.

Los resultados señalan que las variables derivadas de la temperatura tienen una mayor contribución para explicar la distribución de las distintas especies de insectos descortezadores; Zúñiga, Cisneros, Hayes y Macías-Sámamo (2002) sugieren que existe una relación entre el movimiento de dispersión de los géneros de descortezadores e *Ips*, según el de sus huéspedes si se considera lo propuesto por Aceves-Rangel et al. (2018), quienes mencionan que la temperatura promedio anual presenta una contribución a la distribución de especies de pinos en México. También pueden ser atribuibles las altas temperaturas, sequía y baja humedad relativa que estresan al árbol y lo hacen más susceptible al ataque de insectos (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Raffa

et al., 2008). De forma conjunta, el descenso en la temperatura implica que las poblaciones de insectos descortezadores disminuyan (Morales-Rangel, Cambrón-Sandoval, Vergara-Pineda, & Obregón-Zúñiga, 2016; Raffa et al., 2008). Coincidiendo con lo reportado en este estudio, Méndez Encina, Méndez González y Cerano Paredes (2020) obtuvieron que la variable con mayor contribución (76.6%) para la distribución de *D. mexicanus* es la B10 (temperatura media del trimestre más seco).

En cuanto al análisis de la variable altitud en esta investigación, para *I. pini* y *D. valens* es una variable importante en el modelamiento de la distribución de estas especies. De acuerdo con Aguilar-Castillo, Aguilar-Astudillo y Domínguez (2020) un rango de elevación de 2,500 a 4,000 m es el más apropiado para el desarrollo de los insectos descortezadores. Por otra parte, Salinas-Moreno et al. (2004) reportaron que el género *Dendroctonus* se puede distribuir desde los 800 hasta los 3,929 m, con un rango preferencial de elevación desde 2,100 hasta 3,500 m, dependiendo de la especie.

Los resultados de este estudio muestran que la especie con mayor área de alta idoneidad es *Ips pini* y con menor probabilidad de presencia la especie *Dendroctonus frontalis/mexicanus*, lo que contrasta con lo reportado por Salinas-Moreno et al. (2009), quienes mencionan que *D. frontalis* no se distribuye en esta región. Sin embargo, esto pudiera deberse

a que en el muestreo realizado en esta investigación se contabilizaron ambas especies en una misma categoría, ya que de acuerdo a Zúñiga, Cisneros y Salinas (1995), los escarabajos *D. frontalis* y *D. mexicanus* tienen una gran semejanza morfológica.

En cuanto a las especies de *Ips*, son consideradas plagas secundarias que hacen daño al arbolado en conjunto con alguna especie primaria, generalmente *Dendroctonus* (Sánchez-Martínez & Wagner, 2002); sin embargo, la especie *Ips pini* en el estado de Durango es considerada plaga primaria capaz de matar por sí sola al arbolado (Alianza México REDD+, 2015). Los modelos de cambio climático relacionados con los *Ips* sp. proyectan que los eventos de sequía cada vez son más y severos, por lo que se pronostica que la mortalidad de los árboles por la combinación de estrés hídrico, aumento de la temperatura ambiente, aumente en consecuencia (Gaylord, McKelvey, Fettig, & McMillin, 2020); por lo que la generación de modelos de distribución potencial de insectos descortezadores favorece el buen manejo de las áreas forestales sostenibles en la Sierra Madre Occidental de Durango; de acuerdo con Monterrubio-Rico et al. (2016), estos modelos han sido aplicados con mayor frecuencia como técnicas para el manejo y conservación de la biodiversidad.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la temperatura es el factor que más influye en la distribución de los descortezadores. Por otra parte, la especie con mayor área de idoneidad es la *Dendroctonus frontalis/mexicanus* y la *Ips pini*; sin embargo, no existe suficiente información sobre la distribución potencial de esta última especie, siendo un área de oportunidad para futuras investigaciones.

La información generada puede ser de utilidad para fomentar el control integral de plagas forestales (descortezadores e *Ips*) y que sea plasmado dentro de los planes de manejo forestal de la región, así como para la toma de decisiones en la Comisión Nacional Forestal y las Unidades de Manejo Forestal de cada región. No obstante, es recomendable generar modelos con mayor número de registros de especie, dado que las condiciones pueden ser diferentes.

REFERENCIAS

- Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., & Nájera-Luna, J. A. (2018). Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*, 52(7), 1043-1057. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n7/2521-9766-agro-52-07-1043-en.pdf>
- Aguilar-Castillo, C. E., Aguilar-Astudillo, E., & Domínguez, A. N. (2020). *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) y su relación con la temperatura en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Dugesiana*, 27(1), 17-24. doi: 10.32870/dugesiana.v27i1.7091
- Alianza México REDD+. (2015). *Guía práctica. Control de infestaciones por insectos descortezadores de coníferas en Durango y Chihuahua* [Documento en pdf]. Recuperado de <http://www.alianza-mredd.org/M-REDD%2BGuiaControlInfestacionesDurangoChihuahua.pdf>
- Atkinson, T. H. (2013). Estado de conocimiento de la taxonomía de los escarabajos descortezadores y ambrosiales de México (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Memorias del XVI Simposio Nacional de Parasitología Forestal* (pp. 13-27). Cuernavaca, México: Comisión Nacional Forestal-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Recuperado de <https://docplayer.es/95327402-Estado-de-conocimiento-de-la-taxonomia-de-los-escarabajos-descortezadores-y-ambrosiales-de-mexico-coleoptera-curculionidae-scolytinae.html>
- Cibrián, D., Quiñonez, S., Aguilar, J. L., Quiñonez, S. A., Santos, J. M., Rodríguez, S. J., & Hernández, G. (2013). *Guía práctica. Control de infestaciones por insectos descortezadores de coníferas*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo-SEMARNAT.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 187-201. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.09.034
- De León Mata, G. D., García Arévalo, A., Andrade Herrera, S., & Ruiz Marín, A. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30-40. Recuperado de <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v9-n1-5-distribucion-de-la-vegetacion-a-traves-de-un-transecto-sobre-la-sierra-madre-occidental-de-durango-mexico.pdf>
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: Problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 20(2), 53-60. doi: 10.1016/j.recqb.2017.04.006
- Esri. (s. f.). ArcMap versión 10.8 [Programa informático]. Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/arcgis/arcgis-full-motion-video>
- Felicísimo, A. M., Mateo, R. G., Muñoz, J., Felipe, B., Sánchez, J., Salvatierra, H. C., & Herrera, M. M. (2011). *FORCLIM, Bosques y cambio global. 1. Modelos de distribución de especies*.

- Fundamentos de las IDE*. Argentina. Madrid: Bubok Publishing. Recuperado de http://repositorio.umaza.edu.ar/bitstream/handle/00261/1556/Felicisimoetal2011_FORCLIM1CYTED-SDMsIDESArgentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gaylord, M. L., McKelvey, S. R., Fetting, C. J., & McMillin, J. D. (2020). Verbenone inhibits attraction of *Ips pini* (Coleoptera: Curculionidae) to pheromone-baited traps in Northern Arizona. *Journal of Economic Entomology*, 113(6), 3017-3020. doi: 10.1093/jee/toaa192
 - Giménez, A. L., Giannini, N. P., Schiaffini, M. I., & Martin, G. M. (2015). Geographic and potential distribution of a poorly known South American bat, *Histioteus macrotus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Acta Chiropterologica*, 17(1), 143-158. doi: 10.3161/15081109ACC2015.17.1.012
 - Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12), 535-542. doi: 10.19136/era.a4n12.1114
 - Grageda Grageda, J., Ruiz Corral, J. A., Jiménez Lagunes, A., & Fu Castillo, A. A. (2014). Influencia del cambio climático en el desarrollo de plagas y enfermedades de cultivos en Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(especial 10), 1913-1921. doi: 10.29312/remexca.v0i10.1026
 - Gutiérrez Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: Aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88-126. doi: 10.21138/bage.2395
 - Hernández-Ruiz, J., Herrera-Cabrera, B. E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V. M., Bustamante-Gonzalez, Á., Campos-Contreras, J. E., & Ramírez-Juárez, J. (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 235-246. doi: 10.15517/rbt.v64i1.17854
 - Hódar, J. A., Zamora, R., & Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: Algo más que el clima. *Ecosistemas*, 21(3), 73-78. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/700/679>
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.). Relieve continental [Base de datos]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>
 - _____ (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1 000 000. Unidades climáticas [Mapa]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
 - _____ (2011). *Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. Escala 1:250,000. Serie II* [Documento descargable en pdf]. Aguascalientes, México: Autor. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825231606.pdf
 - _____ (14 de diciembre de 2017). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union) [Metadato geográfico]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/uv250s6gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
 - Kéry, M. (2011). Towards the modelling of true species distributions. *Journal of Biogeography*, 38(4), 617-618. doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02487.x
 - Loaiza S., C. R. (2017). Área de vida, distribución potencial y estado de conservación de *Espostoa frutescens* Madsen, 1989 (Cactaceae). *Ecología Aplicada*, 16(1), 1-7. doi: 10.21704/rea.v16i1.897
 - Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: Revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19. doi: 10.15174/au.2015.690
 - Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. doi: 10.4067/S0716-078X2011000200008
 - Méndez Encina, F. M., Méndez González, J., & Cerano Paredes, J. (2020). Distribución actual y potencial de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins bajo dos escenarios de cambio climático. *Madera y bosques*, 26(2), 1-14. doi: 10.21829/myb.2020.2622002
 - Monterrubio-Rico T. C., Charre-Medellín J. F., Pacheco-Figueroa, C., Arriaga-Weiss, S., Valdez-Leal, J. D., Cancino-Murillo, R.,... Rubio-Rocha, Y. (2016). Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1103-1117. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.004
 - Moore, B., & Allard, G. (2009). *Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-k3837s.pdf>
 - Morales-Rangel, A., Cambrón-Sandoval, V. H., Vergara-Pineda, S., & Obregón-Zúñiga, J. A. (2016). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 Y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y su asociación con variables climáticas en bosques de pino en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Entomología Mexicana*, 3, 633-638. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323430830_FLUCTUACION_POBLACIONAL_DE_Dendroctonus_frontalis_Zimmerman_1868_Y_Dendroctonus_mexicanus_Hopkins_1909_COLEOPTERA_CURCULIONIDAE_SCOLYTINAE_Y_SU_ASOCIACION_CON_VARIABLEES_CLIMATICAS_EN_BOSQUES_DE_PINO_E
 - National Aeronautics and Space Administration. (s. f.). Giovanni [Aplicación para visualizar parámetros geofísicos]. Recuperado de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
 - Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587-597. doi: 10.17129/botsci.135
 - Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton, UK: Princeton University Press. doi: 10.1515/9781400840670
 - Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). *Maximum*

- entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
 - Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G., & Romme, W. H. (2008). Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: The dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58(6), 501-517. doi: 10.1641/B580607
 - R Core Team. (s. f.). *A language and environment for statistical computing* [Lenguaje de programación]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org/>
 - Ríos-Saucedo, J. C., Valenzuela-Núñez, L. M., & Rosales-Serna, R. (2019). Evaluación de la biodiversidad vegetal en áreas de bosque templado en Durango, México. *Ciencia e Innovación*, 2(1), 179-199. Recuperado de <http://Cienciaeinnovacion.com.mx/wp-content/uploads/2020/05/articulo-7.pdf>
 - Romero Sánchez, M. E. (2016). Escenarios de cambio climático en el sector forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 4-6. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v7n37/2007-1132-remcf-7-37-00004.pdf>
 - Salinas-Moreno, Y., Guadalupe Mendoza, M., Barrios, M. A., Cisneros, R., Macías-Sámamo, J., & Zúñiga, G. (2004). Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1163-1177. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01110.x
 - Salinas-Moreno, Y., Vargas Mendoza, C. F., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A., & Hayes, J. L. (2009). ATLAS DE Distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. México: Instituto Politécnico Nacional-Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Atlas%20Distribucion%20Descortezador.pdf>
 - Sánchez-Martínez, G., & Wagner, M. R. (2002). Bark beetle community structure under five ponderosa pine forest stand conditions in northern Arizona. *Forest Ecology and Management*, 170(1-3), 145-160. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00771-X
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores claves, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015*. México: Autor. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal. (2014). *Inventario estatal forestal y de suelos-Durango 2013* [Documento en pdf descargable]. México: Autor. Recuperado de <https://idefor.cnf.gob.mx/interactive/documents>
 - Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente. (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <http://medioambiente.durango.gob.mx/>
 - Sosa Díaz, L., Méndez González, J., García Aranda, M. A., Cambrón Sandoval, V. H., Villarreal Quintanilla, J. A., Ruiz González, C. G., & Montoya Jiménez, J. L. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 187-208. doi: 10.29298/rmcf.v9i47.159
 - Villaseñor Ríos, J. L., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Ortiz Bermúdez, E., & Cadena Rodríguez, J. (2014). Modelación de la riqueza y distribución potencial del bosque húmedo de montaña. *CONABIO JM013*. D. F., México: Universidad Autónoma de México. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/JM013_Anexo_4_Manual_Procedimiento.pdf
 - WorldClim. (s. f.). [Base de datos meteorológicos y climáticos]. Recuperado de <https://www.worldclim.org/>
 - Zúñiga, G., Cisneros, R., & Salinas, Y. (1995). Coexistencia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae) sobre un mismo hospedero. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 64, 59-62. doi: 10.21829/azm.1995.64641943
 - Zúñiga, G., Cisneros, R., Hayes, J. L., & Macías-Samano, J. (2002). Karyology, geographic distribution, and origin of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 267-275. doi: 10.1603/0013-8746(2002)095[0267:KGDAO]2.0.CO;2



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.
Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material
La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.
Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Mejora superficial del acero AISI 316L mediante depósitos de nitruro de titanio amorfo por técnica de erosión catódica

Surface improvement of AISI 316L steel using amorphous titanium nitride deposits by cathodic erosion technique

Jorge Bertín Santaella-González*, Ricardo Orozco-Cruz**, Julián Hernández-Torres*, Leandro García-González*✉

Santaella-González, J. B., Orozco-Cruz, R., Hernández-Torres, J., & García-González, L. (2021). Mejora superficial del acero AISI 316L mediante depósitos de nitruro de titanio amorfo por técnica de erosión catódica. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e3133, <https://doi.org/10.33064/iycaaa2021843133>

RESUMEN

El acero inoxidable AISI 316L por sus características de resistencia a la corrosión en ambientes alcalinos, estabilidad mecánica a altas temperaturas es atractivo para diversas industrias como aeronáutica, automotriz, petroquímica, alimenticia e incluso instrumentos quirúrgicos. No obstante, cuando se encuentra en ambientes ácidos ricos en cloruros no cuenta con la suficiente protección contra la corrosión, lo que resulta perjudicial para sus propiedades mecánicas. Por tanto, se han empleado recubrimientos de nitruro de titanio amorfo con bajos espesores capaces de mejorar sus características superficiales, como el incremento de dureza y resistividad eléctrica de la superficie. El método de

Palabras clave: acero 316L; erosión catódica; recubrimiento; ingeniería de superficie; dureza; resistividad eléctrica

Keywords: 316L steel; cathodic erosion (Sputtering); coating; surface engineering; hardness; electrical resistivity.

Recibido: 14 de abril de 2021, Aceptado: 11 de octubre de 2021

* Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana. Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 455, Costa Verde, C. P. 94294, Boca del Río, Veracruz, México. Correo electrónico: jbsantaella@hotmail.com; julihernandez@uv.mx; leagarcia@uv.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8760-6528>; <https://orcid.org/00000002-3517-1323>; <https://orcid.org/0000-0002-0968-6745>

** Instituto de Ingeniería, Unidad Anticorrosión, Universidad Veracruzana. Av. Juan Pablo II s/n, Costa Verde, C. P. 94292, Boca del Río, Veracruz, México. Correo electrónico: rorozco@uv.mx ORCID: <https://orcid.org/00000002-1983-2806>

✉ Autor para correspondencia

síntesis de erosión catódica al ser una técnica física asegura una gran homogeneidad, alta adherencia al sustrato y control del espesor. Por consiguiente, se alcanzó una dureza con valores de 7.17 GPa, con una resistividad de 2.20E+09 ohm-cuadro para T4, con un espesor máximo de ~1.7 µm.

ABSTRACT

AISI 316L stainless steel, due to its characteristics of corrosion resistance in alkaline environments, mechanical stability at high temperatures is attractive for various industries such as aeronautics, automotive, petrochemical, food, and even surgical instruments. However, when it is found in acidic environments rich in chlorides, it does not have sufficient protection against corrosion, which is detrimental to its mechanical properties. Therefore, amorphous titanium nitride coatings with low thicknesses have been used to improve its surface characteristics, such as increased surface hardness and electrical resistivity. The cathodic erosion synthesis method being a physical technique ensures high homogeneity, high adhesion to the substrate, and thickness control. Consequently, a hardness with values of 7.17 GPa was achieved, with a resistivity of 2.20E+09 ohm-square for T4, with a maximum thickness of ~1.7 µm.

INTRODUCCIÓN

El sector industrial ha demandado materiales estructurales durables, con confiabilidad para mantenerse en operación constante bajo ciertos

ambientes de trabajo, por lo cual los aceros inoxidable cumplen muchos de estos requisitos debido a que se han ocupado en grandes cantidades. Dentro de los mismos aceros inoxidable austeníticos destaca el AISI 316L, el cual por sus propiedades como el bajo contenido de carbono limita la posible formación de precipitados de carbono, estabilidad química ante ambientes alcalinos y altas temperaturas (Kant et al., 2018). Sin embargo, como todo material tiene sus limitaciones, como la degradación del material frente ambientes ácidos con gran cantidad de cloruros (Domínguez-Crespo et al., 2018).

Con las nuevas tecnologías de fabricación de recubrimientos ha tomado mucha relevancia mejorar materiales base, pudiendo elevar ciertas características como la dureza superficial, reducir coeficientes de fricción, modificando su resistividad eléctrica superficial, su rugosidad, con espesores muy pequeños que van desde decenas de nanómetros (1×10^{-9} m) hasta unos cuantos micrómetros (1×10^{-6} m) (Yazıcı, Kovacı, Yetim, & Çelik, 2018). Dentro de los procesos para crear recubrimientos con materiales ajenos al material base se encuentran los depósitos por vapor químico (Chemical Vapor Deposition-CVD) (Czettel, Thurner, & Schleinkofer, 2018) y los depósitos por vapor físico (Physical Vapor Deposition-PVD). PVD es de los procesos más controlables por sus condiciones de vacío y alta pureza de los elementos de síntesis, una de las técnicas de los recubrimientos PVD es la de erosión catódica (*sputtering*) (Uddin et al., 2019). La técnica de erosión catódica presenta ventajas como control del espesor, alta reproducibilidad, buena adherencia de diferentes sustratos, versatilidad al usar materiales metálicos, óxidos metálicos o cerámicos y potencial a escalarlo a producción industrial (Bait, Azzouz, Madaoui, & Saoula, 2017; Santaella-González et al., 2019).

Debido a que las mejoras superficiales se realizan con recubrimientos de espesores inferiores a 10 micrómetros es muy importante usar microanálisis para obtener valores reales de las características que presentan los recubrimientos, es por ello que en varios trabajos han usado microdureza, microtribología, resistencia eléctrica superficial para evaluar la dureza superficial, resistencia al desgaste, coeficiente de fricción y resistividad eléctrica de recubrimientos de diferentes materiales sintetizados por diversos métodos como anodización electroquímica (Hernández Montiel et al., 2021), oxidación térmica (Maytorena-Sánchez et al., 2021) y *sputtering* (Santaella-González et

al., 2019). Usar microanálisis permite valorar el desempeño del propio recubrimiento, tratando de evitar la contribución del sustrato, debido a que se pueden emplear cargas pequeñas haciendo la caracterización más sensible y real que con cargas macro serían imperceptibles. Es por ello que las industrias como la óptica, microelectrónica, metal-mecánica, por mencionar algunas que usan la tecnología de recubrimientos también necesitan realizar microanálisis de los recubrimientos de bajos espesores para garantizar la calidad y desempeño de sus productos o procesos.

Algunos recubrimientos se generan con base en el material del sustrato, como los generados por oxidación térmica y anodización electroquímica, lo que hace limitado el uso de otros materiales; sin embargo, la técnica de *sputtering* ha mostrado gran versatilidad para el depósito de recubrimientos duros como el nitruro de titanio (TiN). En su forma cristalina ha sido empleado para mejorar la superficie por sus buenas características como alta dureza, mayor estabilidad a ambientes corrosivos y buena resistencia al desgaste (Yan et al., 2018); sin embargo, también se encuentra en su versión amorfa, que tiene cualidades como mayor resistividad eléctrica que en forma cristalina (Kearney, Jugdersuren, Culbertson, Desario, & Liu, 2018). Por consiguiente, en este trabajo se usó la técnica de erosión catódica para sintetizar recubrimientos de nitruro de titanio amorfo (TiN) sobre acero inoxidable 316 L, de tal manera que se modifiquen las propiedades superficiales para mejorar su dureza, incrementar su resistividad eléctrica, con bajos espesores de recubrimiento para posibles aplicaciones como material biocompatible.

Una muestra alusiva de la aplicación industrial de los recubrimientos de TiN se observa en la figura 1, la cual muestra fresa con recubrimiento de nitruro de titanio que mejora su desempeño al maquinar piezas en una máquina CNC. Gracias a la aplicación del recubrimiento sobre la fresa de corte se alargan los periodos de operación, la vida útil de la herramienta por la elevada dureza del recubrimiento protector.

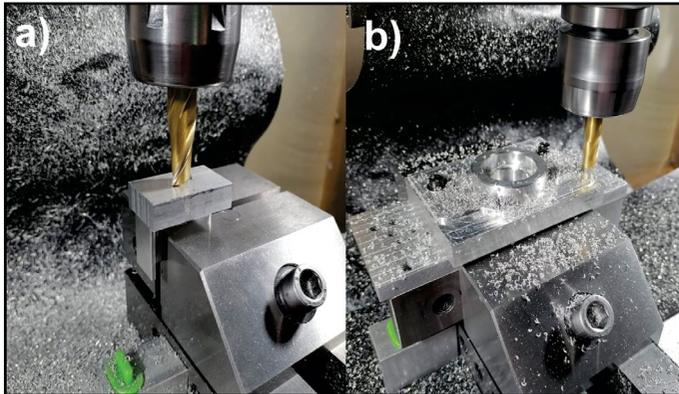


Figura 1. Fresa con recubrimiento de TiN instalada en una máquina CNC: a) en estado estático, b) en el proceso de maquinado. Fotografías tomadas por Jorge Bertín Santaella-González.

MATERIALES Y MÉTODOS

El acero inoxidable 316L fue preparado a partir de una barra circular de 25 mm de diámetro, cortada en especímenes de 3 mm de espesor, posteriormente se realizó un pulido a la superficie con lijas de papel abrasivo de diferentes granulometrías desde 80 hasta 2000, para asegurar una superficie uniforme, seguido de un pulido con acabado espejo con un paño metalográfico y alúmina. A continuación, se limpiaron los sustratos con soluciones de acetona y etanol, para remover grasa y residuos del pulido. Paralelamente se limpiaron sustratos de silicio (Si) con ácido fluorhídrico, acetona y etanol.

Los recubrimientos fueron sintetizados en una cámara de vacío de un sistema de erosión catódica con magnetrón, usando blanco de titanio (Ti) de alta pureza, atmósfera con una mezcla de gases argón + nitrógeno, y se emplearon al mismo tiempo los sustratos de 316L y Si. Los parámetros usados dentro de la cámara fueron 200 W de corriente directa (DC) sobre el blanco de Ti, polarización al sustrato -50V, se realizó una variación en el flujo de nitrógeno de 2.5, 5, 7.5, 10 y 12 sccm (centímetros cúbicos estándar por minuto), se nombraron los ejemplares T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente para cada flujo.

Se realizaron mediciones de microdureza Vickers para examinar la resistencia a la penetración superficial de los recubrimientos mediante el uso de varias cargas que van desde 2, 3, 4, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 y 2000 gramos fuerza (grf), después se realizó un ajuste matemático usando el modelo de indentación de Korsunsky (García-González et al., 2018), el cual permitió separar la dureza del recubrimiento de la influencia del

sustrato. Para medir el espesor de los recubrimientos se utilizó un escalón generado al remover una cinta adherida al acero previamente al depósito, y con un perfilómetro Taylor Hobson Metek. Finalmente, se midió la resistividad eléctrica de los recubrimientos depositados sobre Si, con un equipo Keithley 8009 Resistivity Test Fixture.

Se realizó difracción de rayos x (DRX) usando el método de haz rasante para confirmar el estado amorfo del recubrimiento de TiN, mediante un difractómetro Bruker D8 advance, con un ángulo de incidencia de 1° , un tamaño de paso de 0.04° y barrido de 20 a 100° . También se realizó un análisis de la morfología superficial por microscopía electrónica de barrido de emisión de campo con un microscopio JEOL JSM-7600F a 20,000x con un detector de electrones secundarios.

RESULTADOS

La ingeniería de superficies ha desencadenado una modificación de las superficies de los materiales base o sustratos para disminuir sus limitaciones y así prolongar su vida útil y estabilidad ante ambientes agresivos. Es importante la aplicación de microanálisis a los recubrimientos debido a la mayor sensibilidad y confiabilidad de las técnicas de caracterización por el tamaño de los espesores generalmente empleados en la ingeniería de superficies, que tiene aplicaciones en diversas industrias que van desde uso de recubrimientos en lentes ópticos, prótesis e implantes en el cuerpo humano, rodamientos, cojinetes, por mencionar algunos ejemplos. Es por lo que este trabajo ha empleado recubrimientos de nitruro de titanio amorfo depositados por erosión catódica, los cuales dotan al acero inoxidable 316L con mejores propiedades, las cuales se evaluarán a continuación.

Microdureza

La caracterización de microdureza Vickers permite evaluar el cambio superficial en relación con la resistencia a la penetración a diversas cargas mediante un indentador de diamante con geometría piramidal con un ángulo de base de 136° , se realizan 3 mediciones por carga en diferentes puntos del recubrimiento, posterior a esto se les aplicó el modelo matemático de indentación del trabajo propuesto por Korsunsky. En la figura 2 se pueden observar de manera gráfica los datos experimentales del recubrimiento T3 (línea negra

con puntos) y la línea gris correspondiente al ajuste del modelo matemático; en el eje de las ordenadas la escala de la dureza en GPa y en el eje inferior la profundidad relativa de la indentación realizada por el diamante Vickers. La grafica sirve para describir el comportamiento del recubrimiento T3 desde las cargas más bajas, donde se ve la contribución de la resistencia en mayor parte por el recubrimiento que es el punto de la dureza más alta, conforme se va incrementando la carga hay un segmento de transición donde comienza a incrementar la contribución del sustrato y la dureza empieza a disminuir gradualmente, donde los valores de dureza influenciados más por el sustrato y tiende aproximarse a la dureza del acero que ronda los 2.14 GPa.

Lo que logra hacer el modelo matemático con base en este comportamiento es separar los valores de dureza de recubrimiento y de sustrato, y con esto dar un valor más real del recubrimiento T3. De modo posterior a cada ajuste, los valores de dureza de cada recubrimiento fueron los siguientes: 1.12, 2.63, 4.17, 7.17, 5.97 GPa para T1, T2, T3, T4, y T5, respectivamente. Esta variación en los valores de dureza está influenciada por la variación en el flujo de gas nitrógeno durante el proceso de síntesis. Este comportamiento ha sido reportado en la literatura (Kumar et al., 2019), esto se debe a que al incrementar el volumen de gases dentro de la cámara cambiarán las condiciones de vacío, al igual que al tener mayor cantidad de gas nitrógeno es más probable que los iones de titanio erosionado del blanco puedan ligarse al gas N_2 y de esta manera formar en mayor cantidad los enlaces Ti-N, esto derivó en la dureza inferior al 316L; por otro lado al incrementar el flujo de nitrógeno se obtuvieron durezas superiores a la del sustrato hasta llegar a un máximo para T4 cercano a 7.17 GPa; es decir, se mejoró aproximadamente 300% la dureza superficial con relativamente bajos espesores como se muestra en la parte de perfilometría.

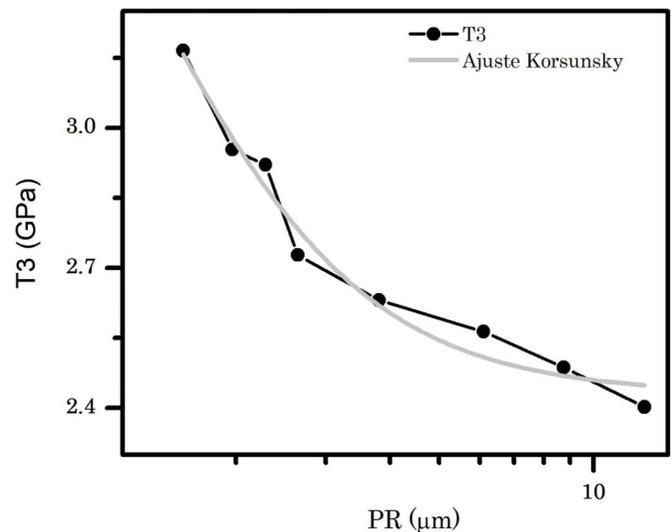


Figura 2. Datos experimentales de dureza para T3 y ajuste Korsunsky.
Elaboración propia.

Perfilometría

Es de gran utilidad conocer los espesores de los recubrimientos, ya que su valor se involucra en varios cálculos o consideraciones de otras caracterizaciones que se pueden realizar a los recubrimientos protectores. Esta caracterización se realizó en un escalón generado por una porción de la superficie cubierta con una cinta resistente al vacío y pos-depósito se desprendió, lo que dejó ver el sustrato enmarcado por el recubrimiento, además redujo las contribuciones en la medición del espesor por otro tipo de técnicas para realizar el escalón. En la figura 3 se puede observar cómo se registra el cambio de altura con respecto al desplazamiento de la punta del perfilómetro desde el sustrato hacia el borde del recubrimiento, lo que genera una respuesta repentina en el cambio de la altura debido al escalón que marca el límite del acero con el recubrimiento T2.

Los espesores fueron de máximo ~ 1.7 micrómetros (μm) para T1, hasta los mínimos muy similares de ~ 0.5 μm para el caso de T4 y T5; para T2 y T3 fueron de ~ 1.2 y ~ 1.0 μm , respectivamente. Esto indica que el incremento en el flujo de nitrógeno dentro de la cámara del sistema de erosión catódica ocasionó un decremento en la tasa de depósito; esto habla de que al haber mayor cantidad de enlaces Ti-N y menor cantidad de iones erosionados del blanco de titanio, posiblemente por una nitruración en la superficie del blanco debido a la difusión de ejemplares de nitrógeno (Dhanaraj, Mohamed,

Kamruddin, Kaviyarasu, & Manojkumar, 2021), derive en incrementar la resistividad del blanco y no poder erosionar tan rápido como con flujos de nitrógeno bajos.

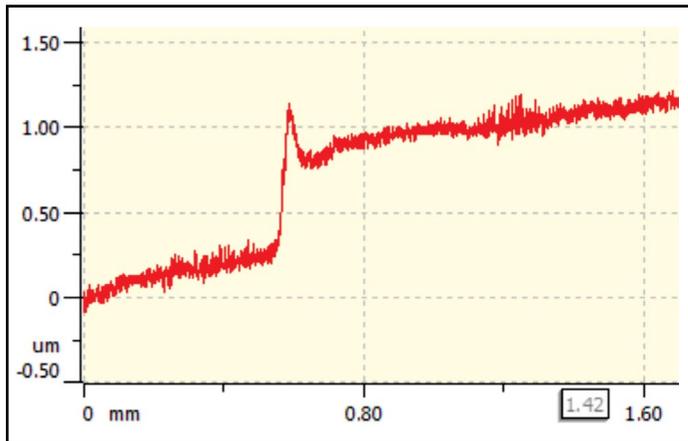


Figura 3. Perfil del espesor de T2 censado por el perfilómetro en la zona del escalón.
 Elaboración propia.

Resistividad eléctrica superficial

Otro de los factores importantes en los recubrimientos protectores es limitar la transferencia de iones en la superficie, esto augura que puede tener un buen desempeño cuando el recubrimiento se encuentre en ambientes agresivos con iones que intenten llegar al sustrato. Se realizó la caracterización de resistividad eléctrica superficial; en el caso de los recubrimientos se obtuvieron altos valores de resistividad eléctrica propios de un TiN amorfo debido a que por condiciones de síntesis no se calentó el sustrato y no contaba con la energía suficiente para lograr una buena cristalinidad en los recubrimientos como se ha establecido en la literatura (Kearney et al., 2018; Shukla, Rane, Alphonsa, Maity, & Mukherjee, 2017). Los valores comienzan desde el máximo 1.9 E+10 ohm-cuadro para el caso de T1 y el recubrimiento con la menor resistividad eléctrica fue T3 con valor de 1.2 E+08 ohm-cuadro. Los demás valores se presentan en la tabla 1.

Tabla 1
 Resistividad eléctrica de los recubrimientos según el flujo de nitrógeno aplicado

Recubrimiento	Flujo N ₂ [Ω -cuadro]	Resistividad
T1	2.5	1.89E+10
T2	5.0	1.20E+10
T3	7.5	1.27E+08
T4	10	2.20E+09
T5	12	8.32E+09

Nota: Elaboración propia.

Difracción de rayos X por haz rasante

Los valores altos de resistividad demuestran que los recubrimientos son amorfos; sin embargo, para comprobar el estado amorfo de los recubrimientos se realizó la caracterización de DRX al recubrimiento T3 mediante el método de haz rasante con un ángulo de 1°. El difractograma se muestra en la figura 4, en el cual se pueden observar cuatro picos de difracción identificados como austenita con la carta PDF-2 (00-023-0298), el más intenso el posicionado en 43.47°

correspondiente al plano (111), los otros 3 en 50.67° (200), 74.67° (220) y 90.67° (311); lo cual indica que se tiene una estructura de austenita propia del sustrato 316L que es un acero austenítico pero no se observa ningún otro pico de difracción relacionado con el TiN. Esto implica que a pesar de realizar haz rasante se demuestra que el recubrimiento es amorfo y se asegura que los valores altos de resistividad eléctrica son por la falta de cristalinidad del recubrimiento.

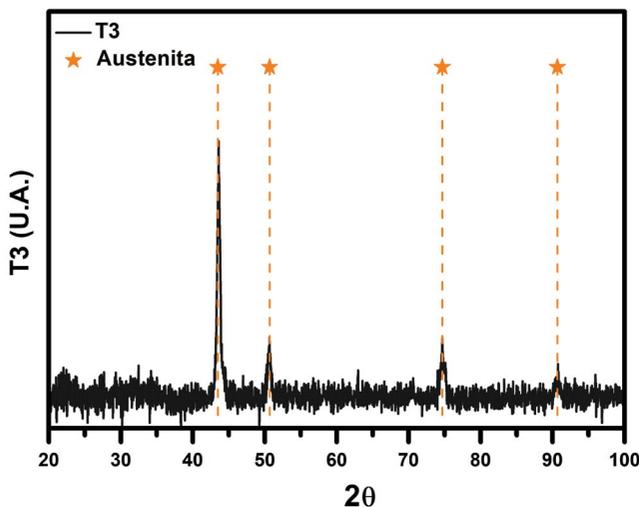


Figura 4. Difractograma del recubrimiento T3 usando el método de haz rasante.
Elaboración propia.

Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo

La figura 5 muestra la morfología superficial de T3 y T5, tomadas mediante un microscopio electrónico de barrido a 20,000 x. En la figura 5 inciso a se pueden observar por toda la superficie pequeñas aglomeraciones de granos de material cerámico constituidos por pequeños entes; los cúmulos de granos no presentan una forma bien definida, indicio de que el material no presenta orientación preferencial; es decir, el recubrimiento no tiene cristalinidad, pues la disposición de los cúmulos es aleatoria. En la figura 5 inciso b se observa la presencia de cúmulos de grano con menor tamaño y rugosidad superficial; no obstante, en ambas podemos observar el nivel de rugosidad del recubrimiento y la uniformidad del depósito propios del método de síntesis de *sputtering*, como se ha demostrado en otros trabajos (García-González et al., 2018; Santaella-González et al., 2019).

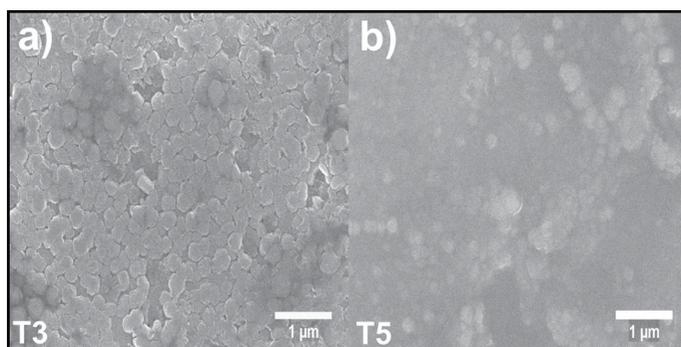


Figura 5. Morfología de la superficie del recubrimiento T3 tomada a 20,000x.
Imagen tomada por el equipo de investigación.

DISCUSIÓN

El depósito de recubrimientos de nitruro de titanio con variación en el flujo de nitrógeno como gas reactivo durante el proceso de síntesis provocó que sufrieran cambios desde diferentes tasas de depósito que se traduce en una variación de espesores, cambios estructurales que derivaron en diferentes valores de dureza e inclusive estos cambios se vieron reflejados en los valores de resistividad eléctrica superficial de los recubrimientos. Por los altos valores de resistividad eléctrica y valores cercanos a los 10 GPa de dureza se obtuvieron recubrimientos con una muy baja cristalinidad no censable (Shukla et al., 2017), propios de un nitruro de titanio amorfo, lo cual fue corroborado por difracción de rayos X con haz rasante a 1°; donde no se mostró ningún pico de difracción relacionado con TiN solamente se pudieron observar los picos de difracción del sustrato 316L.

Al aumentar el flujo de N₂ la presión de trabajo disminuye y el proceso de erosión catódica cambia; es decir, la tasa de depósito se ve disminuida y provoca reducción en los espesores; además con más N₂ en la atmósfera hay mayor probabilidad de generar más enlaces Ti-N, lo que favorece el incremento en la dureza. No obstante, la resistividad eléctrica se mantiene con valores altos y con una tendencia a decrecer ligeramente, pero manteniéndose con valores propios de un nitruro de titanio amorfo. Se pudo observar la morfología superficial de los recubrimientos T3 y T5, los cuales muestran que el recubrimiento es uniforme, tiene presencia de cúmulos de grano que no cuentan con una forma definida y su disposición es de forma aleatoria.

CONCLUSIONES

El estudio mostró que es posible modificar de manera favorable la superficie del acero inoxidable 316L mejorando su dureza y alcanzando valores de 7.17 GPa para la condición de T4 con un flujo de gas nitrógeno de 10 sccm. Asimismo, se logró incrementar la dureza superficial en casi 300% el valor para el acero y valores altos de resistividad eléctrica propios de un material cerámico amorfo, lo cual limitara el intercambio iónico en la superficie y se obtuvieran valores del rango 1.9 E+10 a 1.27E+08 ohm-cuadro para el caso de T1 y T3, respectivamente. Estos valores son debido al uso de un nitruro de titanio amorfo que presenta mayor resistividad eléctrica superficial que el TiN en su versión cristalina, al igual que espesores desde ~ 1.7 μm hasta ~0.5 μm.

Se ratificó el estado amorfo del recubrimiento T3 por la caracterización de DRX en la cual solo se observaron los picos de difracción relacionados con el 316L y no se identificó ningún pico relacionado con TiN, lo cual sustenta la identificación del material amorfo por los altos valores de resistividad. Los recubrimientos con relativamente bajos espesores lograron mejoras satisfactorias para las propiedades del 316L; se valoró el efecto del incremento del gas reactivo nitrógeno durante el proceso de síntesis en las propiedades de los cinco recubrimientos pero buscando un equilibrio entre valores de dureza, resistividad eléctrica y espesor del recubrimiento se puede corroborar que a flujos de nitrógeno altos se tienen las mejores propiedades como dureza y conservando buena resistividad eléctrica superficial por ser un TiN amorfo, que fue el caso para T4 y T5.

Agradecimientos

Jorge Berfín Santaella-González desea agradecer al programa de posgrado en Materiales y Nanociencia de la Universidad Veracruzana, a CONACYT por la beca otorgada 744482 y a Marco Antonio Escarola-Rosas por el acceso al taller de maquinado MAER CNC.

REFERENCIAS

- Bait, L., Azzouz, L., Madaoui, N., & Saoula, N. (2017). Influence of substrate bias voltage on the properties of TiO₂ deposited by radio-frequency magnetron sputtering on 304L for biomaterials applications. *Applied Surface Science*, 395, 72-77. doi: 10.1016/j.apsusc.2016.07.101
- Czettel, C., Thurner, J., & Schleinkofer, U. (2018). Knowledge based coating design of CVD TiN-TiBN-TiB₂ architecture. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 71, 330-334. doi: 10.1016/j.ijrmhm.2017.11.040
- Dhanaraj, R., Mohamed, S. B., Kamruddin, M., Kaviyarasu, K., & Manojkumar, P. A. (2021). Structural properties of TiN thin films prepared by RF reactive magnetron sputtering. *Materials Today: Proceedings*, 36(2), 146-149. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.668
- Domínguez-Crespo, M. A., Torres-Huerta, A. M., Rodríguez, E., González-Hernández, A., Brachetti-Sibaja, S. B., Dorantes-Rosales, H. J., & López-Oyama, A. B. (2018). Effect of deposition parameters on structural, mechanical and electrochemical properties in Ti/TiN thin films on AISI 316L substrates produced by r. f. magnetron sputtering. *Journal of Alloys and Compounds*, 746, 688-698. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.02.319
- García-González, L., López-Huerta, F., Araujo-Pérez, D. J., Zamora-Peredo, L., Flores-Ramírez, N., Vásquez García, S. R., ...Hernández-Torres, J. (2018). Effect of the temperature variation on the hardness and microstructure of TiSiNO coatings obtained by sputtering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 446. doi: 10.1088/1757-899X/446/1/012001
- Hernández Montiel, S., Hernández Torres, J., Araujo Pérez, D. J., Orozco Cruz, R., Morales Hernández, J., Zamora Peredo, L., & García González, L. (2021). Study of the variation of the voltage and time of the process in the anodizing of TiO₂ with HCl. *ECS Transactions*, 101(1), 199-211. doi: 10.1149/10101.0199ecst
- Kant, R., Mittal, R., Kumar, C., Rana, B. S., Kumar, M., & Kumar, R. (2018). Fabrication and characterization of weldments AISI 304 and AISI 316 used in industrial applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18475-18481. doi: 10.1016/j.matpr.2018.06.189
- Kearney, B. T., Jugdersuren, B., Culbertson, J. C., Desario, P. A., & Liu, X. (2018). Substrate and annealing temperature dependent electrical resistivity of sputtered titanium nitride thin films. *Thin Solid Films*, 661, 78-83. doi: 10.1016/j.tsf.2018.07.001
- Kumar, P., Bansal, D., Anuroop, Mehta, K., Kumar, A., Rangra, K., & Boolchandani, D. (2019). Optimization of titanium nitride film for high power RF MEMS applications. *Journal of Electronic Materials*, 48, 6431-6436. doi: 10.1007/s11664-019-07435-9
- Maytorena-Sánchez, A., Hernández-Torres, J., López-Huerta, F., Hernández-Campos, M. A., Zamora-Peredo, L., Pacio-Castillo, M., ...García-González, L. (2021). Analysis of the hardness and tribological properties of grade 2 titanium using the thermal oxidation process at different temperatures. *Materials Letters*, 282, 2020-2022. doi: 10.1016/j.matlet.2020.128679
- Santaella-González, J. B., Garcia-Gonzalez, L., Araujo Pérez,

- D. J., Galvan-Martínez, R., Hernández-Torres, J., Cruz-Jáuregui, M. P., & Morales-Hernández, J. (2019). Microstructural analysis of W-doped TiO₂ thin films deposited by sputtering. *ECS Transactions*, 94(1), 211–217. doi: 10.1149/09401.0211ecst
- Shukla, K., Rane, R., Alphonsa, J., Maity, P., & Mukherjee, S. (2017). Structural, mechanical and corrosion resistance properties of Ti/TiN bilayers deposited by magnetron sputtering on AISI 316L. *Surface and Coatings Technology*, 324, 167–174. doi: 10.1016/j.surfcoat.2017.05.075
 - Uddin, G. M., Jawad, M., Ghufraan, M., Saleem, M. W., Raza, M. A., Rehman, Z. U., ... Waseem, B. (2019). Experimental investigation of tribo-mechanical and chemical properties of TiN PVD coating on titanium substrate for biomedical implants manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5–8), 1391–1404. doi: 10.1007/s00170-018-03244-2
 - Yan, Z., Jiang, D., Gao, X., Hu, M., Wang, D., Fu, Y., ... Weng, L. (2018). Friction and wear behavior of TiN films against ceramic and steel balls. *Tribology International*, 124, 61–69. doi: 10.1016/j.triboint.2018.03.031
 - Yazıcı, M., Kovacı, H., Yetim, A. F., & Çelik, A. (2018). Structural, mechanical and tribological properties of Ti and TiN coatings on 316L stainless steel. *Ceramics International*, 44(12), 14195–14201. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.05.022



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Factores de forma y ecuaciones de volumen comercial para cinco especies de pino en el estado de Durango, México

Form factor and merchantable volume equations for five pine species in Durango state, Mexico

Benedicto Vargas-Larreta*✉, Carlos Enrique Aguirre-Calderón*,
Cristóbal Gerardo Aguirre-Calderón*, Francisco Javier Hernández*

Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, C. E., Aguirre-Calderón, C. G., & Hernández, F. J. (2021). Factores de forma y ecuaciones de volumen comercial para cinco especies de pino en el estado de Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e2815, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021842815>

RESUMEN

La descripción del perfil del fuste de los árboles es importante para la correcta estimación del volumen maderable de un bosque. El objetivo de este estudio fue ajustar ecuaciones de volumen comercial y generar factores de forma para cinco especies de pino en la región forestal El Salto, Durango, México. La información experimental se obtuvo de 840 árboles mediante muestreo destructivo. Se ajustaron ocho tarifas para estimar el volumen individual del fuste con corteza, así como una función compatible ahusamiento-volumen para calcular el volumen comercial. Los parámetros de los modelos se obtuvieron con estimación SUR (*Seemingly Unrelated*

Palabras clave: ahusamiento-volumen; coeficiente mórfo; Fang; función de perfil; modelo autorregresivo; tarifa volumétrica.

Keywords: taper-volume; form coefficient; Fang; taper function; autoregressive model; volume equation.

Recibido: 27 de agosto de 2020, Aceptado: 23 de agosto de 2021

* Instituto Tecnológico de El Salto, Tecnológico Nacional de México. Tecnológico 101, El Salto, C. P. 34942, Pueblo Nuevo, Durango, México. Correo electrónico: bvargas@itelsalto.edu.mx; aguicar@hotmail.com; g_aguirremx@yahoo.com; fcojhernan@yahoo.com.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1176-7330>; <https://orcid.org/0000-0003-4226-359X>; <https://orcid.org/0000-0002-7035-4731>; <https://orcid.org/0000-0003-0480-624X>

✉ Autor para correspondencia

Regression). Para corregir la heterocedasticidad y autocorrelación de los datos se usó regresión ponderada y un modelo autorregresivo de segundo orden, respectivamente. El factor de forma promedio fue mayor a 0.5 para todas las especies, mismo que difiere del usado tradicionalmente en la región (0.6).

ABSTRACT

Knowledge of the stem form of trees is important for estimating the wood volume of a forest. The objective of this study was to develop merchantable volume equations and form factors for five pine species from the forest region El Salto, Durango, Mexico. The raw data were obtained from 840 trees by destructive sampling. Eight volume models were fitted to estimate the stem volume, as well as a compatible taper-volume function to calculate the merchantable volume. Model parameters were obtained with SUR estimation (*Seemingly Unrelated Regression*). Weighted regression and a second-order autoregressive model were used to correct the heteroscedasticity and autocorrelation of the data, respectively. The average form factor was greater than 0.5 for all species, which differs from that traditionally used in the region (0.6).

INTRODUCCIÓN

La cuantificación de las existencias volumétricas es la base para la ejecución del manejo forestal; sin embargo, la gran diversidad estructural y de especies que caracterizan a la mayoría de las áreas boscosas del país, así como las características morfológicas

propias de cada especie, hacen de la estimación del volumen una de las tareas más delicadas del manejador forestal (Vargas-Larreta et al., 2017). La medición directa del volumen es difícil de realizar en árboles en pie; de ahí que su estimación se realice normalmente de forma indirecta a través de expresiones matemáticas, como las tarifas volumétricas.

Un primer aspecto a considerar en el desarrollo de las tarifas de volumen es la variación que presentan las variables requeridas para lograr una precisión aceptable, dependiendo de la morfología del árbol. Aunque en ocasiones pueden considerarse sinónimos, los términos forma del árbol y ahusamiento tienen connotaciones distintas (Burkhart & Tomé, 2012). Forma se refiere a la estructura externa del árbol, mientras que ahusamiento es la tasa a la cual decrece el diámetro del fuste conforme aumenta la altura fustal.

Para el análisis de la forma del fuste se utilizan procedimientos matemáticos y estadísticos que permiten su descripción de forma precisa (Vargas-Larreta et al., 2017). Algunos de estos métodos consideran el uso de factores de forma, modelos de ahusamiento puro o sistemas compatibles de ahusamiento-volumen (Tlaxcala-Méndez, De los Santos-Posadas, Hernández-De la Rosa, & López-Ayala, 2016). El primer método consiste en obtener un valor de forma constante a partir de la relación entre el volumen del tronco y el volumen de un cilindro del mismo diámetro y altura (Furlan Gama, Dos Santos, & Mura, 2010); el segundo representa la variación del diámetro a lo largo del fuste y su integración proporciona el volumen total y comercial (Bi, 2000); mientras que el tercero describe simultáneamente el perfil y el volumen del fuste (Cruz-Cobos, Santos-Posadas, & Valdez-Lazalde, 2008).

El último método da origen a las funciones compatibles ahusamiento-volumen, que son parte fundamental de un sistema biométrico forestal, ya que además del volumen total es necesario conocer la parte de dicho volumen que puede destinarse a los diferentes destinos comerciales (Diéguez-Aranda et al., 2009); por lo que constituyen una herramienta importante en la determinación del volumen comercial. La ventaja de estas funciones radica en que, una vez clasificado el volumen total por tipo de producto, se puede calcular el valor económico de los productos de un rodal de manera más precisa que cuando solamente se utiliza el volumen total. Como señalan Tlaxcala-Méndez et al. (2016) el estudio de la forma del fuste es relevante, dado que los más cilíndricos tienen mayor rendimiento, lo que contribuye

a los beneficios económicos, principalmente cuando la industria requiere productos de calidad y dimensiones diferentes (Quirós, Chinchilla, & Gómez, 2005; Zavala Zavala, 1996).

Los objetivos de este estudio fueron i) generar ecuaciones de volumen comercial, y ii) calcular el factor de forma para *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. teocote* en la región forestal El Salto, Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Manejo Forestal Regional (UMAFOR) 1008 "El Salto", ubicada al suroeste del estado de Durango, entre las coordenadas 23° 06' 59" y 24° 11' 38" de latitud norte y 105° 55' 56" y 105° 10' 31" de longitud oeste; abarca una extensión superficial de 558,270 ha, que incluye de manera total o parcial los municipios Pueblo Nuevo, San Dimas y Durango (figura 1). En el área de estudio predominan los tipos de clima (A)(w1) semicálido en la región de las cañadas, C(w2) templado semifrío en la parte más alta y (E)(w3) templado frío en el resto de la sierra; todos subhúmedos con lluvias en verano, con una precipitación media anual entre 800 y 1200 mm y una temperatura promedio anual de 20 a 22 °C.

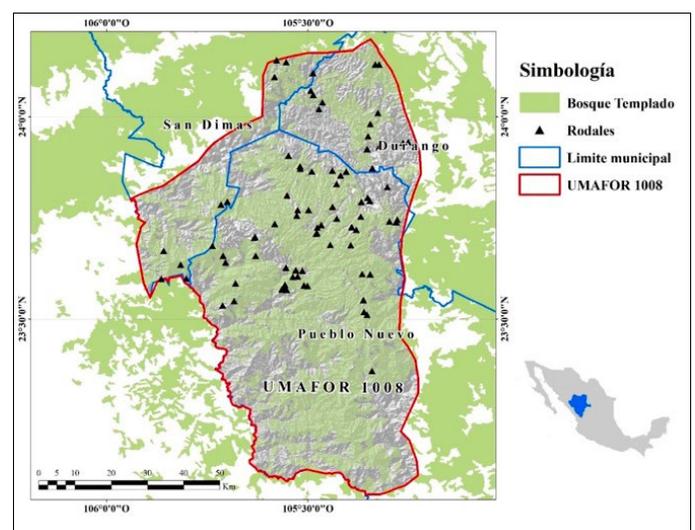


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo. Elaboración propia.

Obtención de los datos de campo

La información se obtuvo de 840 árboles (168 *P. cooperi*, 182 *P. durangensis*, 166 *P. engelmannii*, 148 *P. herrerae* y 176 *P. teocote*), los cuales se seleccionaron mediante muestreo dirigido para incluir todas las condiciones de productividad de la región, así como para incluir árboles de todas las categorías de diámetro y altura presentes en la estructura de los rodales evaluados. Los datos se obtuvieron mediante un muestreo destructivo (derribo y troceo) aprovechando las áreas de corta de diferentes predios (figura 2). Se midieron, entre otras variables, las siguientes: diámetro normal (d_n , en cm), altura total (h , en m) y diámetro con corteza (d_i , en cm) para cada sección a la altura que se encontraba con respecto al suelo (h_i , en cm).



Figura 2. Toma de datos de campo. Una vez derribado el árbol el fuste se secciona para obtener dos piezas de 0.30 m por encima del tocón y una a la altura del diámetro normal (1.30 m). Las siguientes secciones tienen una longitud de 2.44; excepto la punta del árbol, de longitud variable. Fotografía de Benedicto Vargas-Larreta.

Dado que generalmente las ecuaciones de ahusamiento producen estimaciones sesgadas en las partes más bajas del árbol debido a la falta de datos (Barrio Anta, Diéguez-Aranda, Castedo-Dorado, Álvarez González, & von Gadow, 2007), los árboles muestra se seccionaron considerando alturas máximas del tocón de 0.3 m, dos secciones de 0.30 m por arriba del tocón y una más que coincidió con el diámetro normal (1.30 m); las secciones siguientes fueron de longitud constante (2.44 m) hasta llegar a la punta del árbol. La longitud de las secciones centrales del fuste (2.44 m) se definió con base en la longitud mínima de la trocería considerada como producto primario; de esta manera se aseguró la utilización

de los árboles muestreados. En ambos extremos de cada sección se midieron dos diámetros de forma perpendicular y se obtuvo el diámetro medio. El muestreo utilizado aseguró la inclusión de todos los rangos de diámetro, altura, estructura de los rodales, clase sociológica (dominancia de los árboles en el dosel), densidad, topografía y área de procedencia de las especies estudiadas.

Para identificar inconsistencias o valores atípicos se analizó la dispersión de los datos de diámetro y altura relativos de acuerdo con la metodología propuesta por Bi (2000). Lo anterior se realizó mediante un ajuste local cuadrático no paramétrico usando regresión local Loess en el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2004) con un parámetro de suavizado de 0.3 para cada especie. En este análisis los residuos de cada ajuste Loess se dividen en 10 intervalos de altura relativa y se calculan dos valores límite para discriminar los datos atípicos: el cuartil inferior menos dos veces el rango intercuartílico y el cuartil superior más dos veces el rango intercuartílico (Bi, 2000). Los datos fuera de este rango se consideraron atípicos, por lo que no fueron incluidos en posteriores análisis. En la figura 3 se muestran los resultados del ajuste local no paramétrico realizado, donde se observa que la mayoría de los datos atípicos provenían de errores en la toma de información, secciones con deformaciones o anomalías como nudos o bifurcaciones. En la tabla 1 se presentan los principales estadísticos descriptivos de la muestra final utilizada.

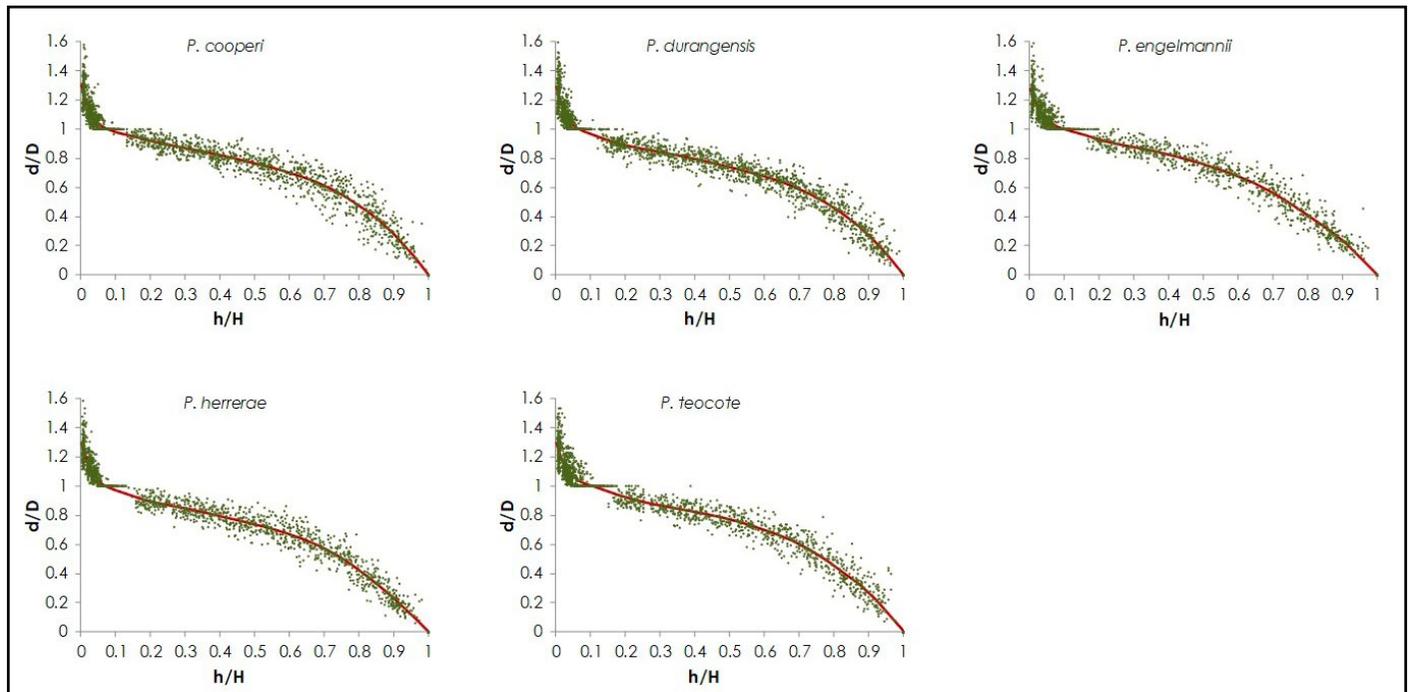


Figura 3. Datos depurados con la metodología de Bi (2000). La línea continua es la media de los datos predicha a través del ajuste local no paramétrico con un parámetro de suavizado de 0.3.

Elaboración propia.

Tabla 1
Estadísticos descriptivos de las variables utilizadas por especie

	Especie				
	<i>P. cooperi</i>	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. herreae</i>	<i>P. teocote</i>
Diámetro normal (cm)					
Mín.	10.0	9.2	9.5	9.8	8.6
Máx.	66.0	68.6	52.5	59.5	63.3
Media	33.2	33.6	30.1	29.8	27.4
D_est	14.1	14.1	11.1	12.0	12.1
Altura (m)					
Mín.	6.5	6.8	5.1	10.1	5.5
Máx.	29.4	28.9	24.0	28.9	26.3
Media	18.4	19.2	14.4	18.2	15.0
D_est	5.0	4.5	4.1	3.7	4.6
Vol (m ³)					
Mín.	0.025	0.028	0.021	0.042	0.017
Máx.	4.664	4.749	2.810	2.533	3.880
Media	1.081	1.112	0.656	0.765	0.630
D_est	0.983	0.975	0.538	0.629	0.641

Nota: DAP= diámetro a la altura del pecho (cm), Vol= volumen del fuste (m³); Mín., Máx., Media= valores mínimo, máximo y medio de las variables analizadas; D_est= desviación estándar.

Elaboración propia.

Cálculo del volumen de las secciones

Los árboles derribados se cubicaron por secciones. El volumen de cada sección del fuste se calculó mediante la fórmula de Smalian, mientras que la punta se cubió como un cono. El volumen total del fuste con corteza se calculó como la suma de los volúmenes individuales de las secciones y la punta. Para estimar la distribución de productos en el árbol se calcularon, además de las variables mencionadas, el volumen comercial (v_i , en m^3) a un determinado diámetro en punta delgada (d_i , en cm), el volumen rolo total árbol (v_{rta} , en m^3), el diámetro relativo ($d_{rel} = d_i/d$) y la altura relativa ($h_{rel} = h_i/h$) del fuste.

Tarifas volumétricas utilizadas

Para la predicción del volumen del fuste se probaron las ecuaciones de volumen de dos entradas (considerando el diámetro a la altura del pecho y la altura total del árbol como variables independientes) reportadas por Vargas-Larreta et al. (2017) (tabla 2).

Tabla 2

Tarifas volumétricas de dos entradas ajustadas (v = volumen, dn = diámetro normal, h = altura total, b_i = coeficientes)

Modelo	Nombre	Expresión
M1	Schumacher-Hall	$V = b_0 \cdot dap^{b_1} \cdot h^{b_2}$
M2	Spurr	$V = b_0 \cdot dap^2 \cdot h$
M3	Spurr potencial	$V = b_0 \cdot (dap \cdot h)^{b_1}$
M4	Spurr con término independiente	$V = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h$
M5	Variable combinada generalizada incompleta	$V = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot dap^2 \cdot h$
M6	Fórmula australiana	$V = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot dap^2 \cdot h + b_3 \cdot h$
M7	Honer	$V = dap^2 / (b_0 + b_1/h)$
M8	Newnham	$V = b_0 + b_1 \cdot dap^{b_2} \cdot h^{b_3}$

Nota: Elaboración propia.

Función compatible de ahusamiento-volumen

Se usó la función compatible de ahusamiento-volumen de Fang, Borders y Bailey (2000), utilizada en otros estudios y que ha mostrado gran flexibilidad en la descripción de múltiples formas del fuste (Corral-Rivas, Diéguez-Aranda, Corral, & Castedo-Dorado, 2007; Diéguez-Aranda, Castedo-Dorado, Álvarez-González, & Rojo, 2006; García-Espinoza et al., 2019). La función de Fang et al. (2000) asume tres formas

geométricas en que puede ser dividido el fuste de un árbol: punta (cono), parte central (paraboloide) y base (neiloide). La ecuación se ajusta a cada sección para describir estas tres formas, las cuales se unen después matemáticamente produciendo una función segmentada (Quiñonez Barraza, García Espinoza, & Aguirre-Calderón, 2018). Fang et al. (2000) despliega:

$$d = c_1 \sqrt{H^{(k-b_1)/b_1} (1-q)^{(k-\beta)/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}} \quad [1]$$

donde

$$c_1 = \sqrt{\frac{a_0 D^{a_1} H^{a_2-k/b_1}}{b_1(r_0-r_1) + b_2(r_1-\alpha_1 r_2) + b_3 \alpha_1 r_2}}$$

$$\beta = b_1^{1-(I_1+I_2)} b_2^{I_1} b_3^{I_2}; \quad \alpha_1 = (1-p_1)^{\frac{(b_2-b_1)k}{b_1 b_2}}; \quad \alpha_2 = (1-p_2)^{\frac{(b_3-b_2)k}{b_2 b_3}};$$

$$r_0 = (1-h_{st}/H)^{k/b_1}; \quad r_1 = (1-p_1)^{k/b_1}; \quad r_2 = (1-p_2)^{k/b_2}$$

$$\begin{cases} I_1 = 1 \text{ si } p_1 \leq q \leq p_2; 0 \text{ en caso contrario} \\ I_2 = 1 \text{ si } p_2 < q \leq 1; 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

$p_1 = h_1/H$ y $p_2 = h_2/H$ son las alturas relativas donde se localizan los dos puntos de unión que asume el modelo; el primero ocurre cerca de la altura normal (1.3 m) y el segundo se produce en una sección más elevada del fuste. La función de Fang et al. (2000) también incluye una ecuación de volumen comercial (v) y otra de volumen total (V), obtenidas a partir de la integración directa de la función de perfil:

$$v = c_1^2 H^{k/b_1} (b_1 r_0 + (I_1 + I_2)(b_2 - b_1)r_1 + I_2(b_3 - b_2)\alpha_1 r_2 - \beta(1-q)^{k/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}) \quad [2]$$

$$V = a_0 D^a H^{a_2} \quad [3]$$

Procedimiento de ajuste y criterios de selección del mejor modelo

Con la finalidad de garantizar que la función de Fang et al. (2000) proporcionara las mismas estimaciones de volumen que la ecuación de volumen total del fuste, esta se ajustó fijando previamente los parámetros de la tarifa de cubicación de volumen total en las ecuaciones que conforman la función de Fang et al. (2000) (ecuación de ahusamiento y ecuación de volumen hasta cierta altura), optimizando de esta forma el cálculo de los diámetros a distintas alturas, para obtener el volumen fustal y el volumen hasta una altura determinada. El ajuste de las tarifas volumétricas se realizó mediante el procedimiento MODEL de SAS/ETS® (SAS Institute Inc., 2004); mientras que el ajuste del modelo de Fang et al. (2000) se llevó a cabo mediante el procedimiento de regresión aparentemente no correlacionada (SUR, por sus siglas en inglés) del programa SAS.

La autocorrelación de los datos se corrigió utilizando mínimos cuadrados generalizados no lineales y expandiendo el término del error mediante un modelo autorregresivo continuo de orden 2 [CAR(2)]. En éste la expresión de la estructura del error es la siguiente:

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{k=x} l_k \rho_k^{h_{ij} - h_{ij-k}} e_{ij-k} + \varepsilon_{ij}$$

donde e_{ij} es el j -ésimo residuo del i -ésimo árbol, e_{ij-k} es el j -ésimo residuo del $i-k$ ésimo árbol, $l_k=1$ para $j > k$ y es cero para $j \leq k$, ρ_k es el parámetro autorregresivo de orden k a ser estimado, y $h_{ij} - h_{ij-k}$ es la distancia que separa la $j-k$ ésima observación dentro de cada árbol, $h_{ij} > h_{ij-k}$; siendo ε_{ij} el término del error bajo la condición de independencia. La estructura del error obtenida del modelo autorregresivo se ajustó de manera simultánea con la estructura de la media de cada una de las ecuaciones [1]-[3]

a través el procedimiento MODEL en el programa SAS (SAS Institute Inc., 2004). Por otra parte, la falta de homocedasticidad (varianza constante de los residuos) se corrigió utilizando regresión ponderada (Quiñonez Barraza et al., 2018) con un peso igual a la inversa de la varianza de cada observación, esto es, $1/dn^k$.

Finalmente, la bondad de ajuste de las tarifas volumétricas y de la función de Fang et al. (2000) se evaluó a través del análisis de los errores, para lo cual se utilizaron el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error medio cuadrático (REMC) y el sesgo promedio (\bar{e}). Dichos estadísticos tienen por expresiones:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

$$\bar{e} = \frac{y_i - \hat{y}_i}{n}$$

donde:

- y_i = valor observado de la variable dependiente
- \hat{y}_i = valor predicho por el modelo
- \bar{y} = valor medio de la variable dependiente
- n = número de datos usados en el ajuste del modelo
- p = número de parámetros del modelo

Cálculo de los factores de forma

Una vez obtenidos los valores del volumen a una determinada altura (volumen comercial) se calculó el factor de forma, el cual resulta de dividir el volumen total de todos los fustes entre un volumen de referencia:

$$f = \frac{\sum v_f}{\sum v_c} \quad [4]$$

Donde:

f = promedio ponderado del factor de forma

V_f = volumen individual de cada fuste (m^3)

V_c = volumen del cilindro de referencia (m^3)

El promedio ponderado del factor de forma se derivó de la fórmula de la media ponderada:

$$\bar{x} = \frac{\sum w_x}{\sum x}$$

donde x= valor individual de la muestra y w = factor de ponderación. Cada valor individual x de la muestra corresponde al factor individual de forma de un árbol muestreado (x= Vf/Vc). Se utilizó la media ponderada para dar más peso a los fustes de mayor dimensión.

RESULTADOS

Ecuaciones de volumen fustal con corteza

En la tabla 3 se muestran los parámetros obtenidos para el modelo de Schumacher-Hall (M1) una vez corregida la heterocedasticidad. En todos los casos el ajuste proporcionó parámetros significativos.

Tabla 3
 Parámetros obtenidos para cada especie la mejor tarifa volumétrica de dos entradas (M1)

Especie	b ₀	b ₁	b ₂	e	REMC	R ²
<i>P. cooperi</i>	0.00006	1.96524	0.94619	0.00165	0.163	0.978
<i>P. durangensis</i>	0.00007	1.92674	0.93679	0.00894	0.141	0.983
<i>P. engelmannii</i>	0.00006	1.91384	0.97328	0.00199	0.088	0.980
<i>P. herrerae</i>	0.00008	2.02328	0.74597	0.00420	0.122	0.970
<i>P. teocote</i>	0.00007	1.92111	0.91713	0.00036	0.152	0.957

Nota: REMC= raíz del error medio cuadrático (m³); R²= coeficiente de determinación; b₀, b₁, b₂= estimadores de los parámetros; e= sesgo promedio (m³).
 Elaboración propia.

El signo de los estimadores de los parámetros relacionados con el diámetro normal y la altura total fue correcto para todas las especies, lo que indica que las variables utilizadas tienen un comportamiento lógico en la estimación del volumen fustal. Se obtuvieron estadísticos de bondad de ajuste similares entre especies, donde la precisión, medida a través de REMC, osciló alrededor de 0.133 m³ (promedio entre especies), aunque hubo especies para las que el modelo fue más preciso; por ejemplo, para *P. engelmannii* (0.088 m³), mientras que para *P. cooperi* y *P. teocote* la precisión fue menor (REMC mayor de 0.15 m³).

Modelo compatible ahusamiento-volumen

En la tabla 4 se muestran los resultados del ajuste del modelo de Fang et al. (2000). El ajuste del modelo de Fang et al. (2000) arrojó en todos los casos parámetros significativos (p < 0.0001). El efecto de la autocorrelación de los errores se redujo utilizando una estructura autorregresiva de orden 2 (CAR 2). En la figura 4 (izq.) se presenta la tendencia de los residuos obtenidos al ajustar el modelo de Fang et al. (2000) sin considerar la autocorrelación de los errores, donde se observa que después de la corrección de la autocorrelación la tendencia en los residuos desaparece (figura 4, der.).

Tabla 4
 Parámetros obtenidos con el ajuste del modelo de Fang et al. (2000)

Especie	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₂	b ₃	rho1	rho2	REMC	R ²
<i>P. cooperi</i>	0.00006	1.96524	0.94619	0.00007	0.000044	0.000031	0.7233	0.3645	1.920	0.986
<i>P. durangensis</i>	0.00007	1.92674	0.93679	0.00006	0.000042	0.000029	0.6734	0.3046	1.832	0.987
<i>P. engelmannii</i>	0.00006	1.91384	0.97328	0.00009	0.000041	0.000030	0.0495	0.0899	1.612	0.987
<i>P. herrerae</i>	0.00008	2.02328	0.74597	0.00007	0.000041	0.000028	0.6543	0.2759	1.578	0.988
<i>P. teocote</i>	0.00007	1.92111	0.91713	0.00008	0.000042	0.000031	0.5937	0.2895	1.550	0.988

Nota: REMC= raíz del error medio cuadrático (cm); R²= coeficiente de determinación; a₁, a₂, a₃, b₁, b₂, b₃= estimadores de los parámetros; rho1, rho2= estimadores de los parámetros del modelo autorregresivo.
 Elaboración propia.

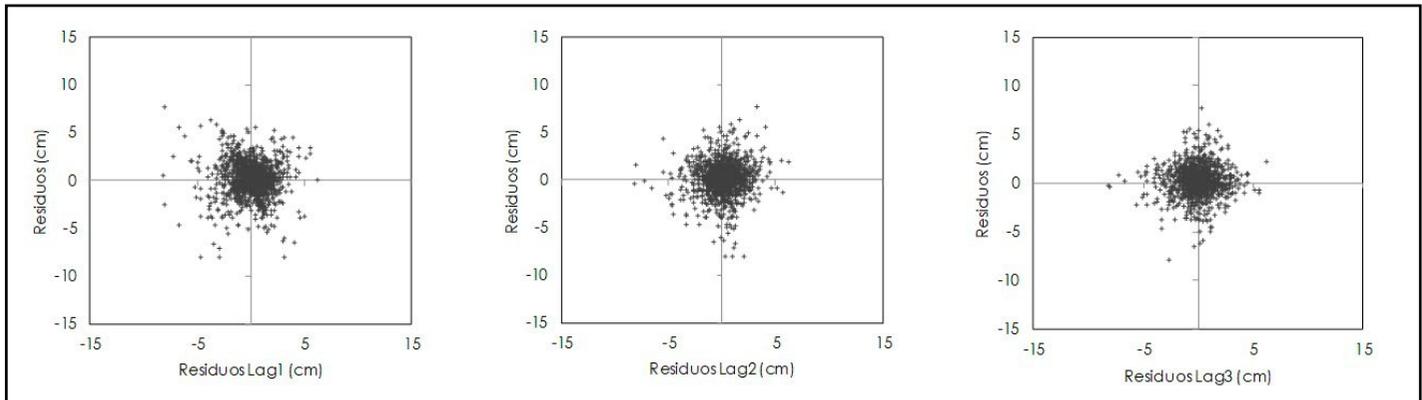


Figura 4. Residuos obtenidos del ajuste del modelo de Fang et al. (2000) sin considerar la autocorrelación (izq.), ajustado con un modelo autorregresivo de orden 1 (centro) y con un modelo autorregresivo de orden 2 (der.). Ejemplo para *P. cooperi*. Elaboración propia.

Factores de forma

En la tabla 5 se presentan los factores de forma por categoría diamétrica y especie, así como el factor de forma promedio ponderado.

Tabla 5

Factores de forma promedio y por categoría diamétrica para las especies evaluadas

CD (cm)	Especie				
	<i>P. cooperi</i>	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. herrerae</i>	<i>P. teocote</i>
10	0.64	0.68	0.60	0.68	0.65
15	0.63	0.65	0.60	0.68	0.62
20	0.60	0.61	0.55	0.59	0.58
25	0.59	0.59	0.54	0.55	0.55
30	0.58	0.58	0.53	0.53	0.54
35	0.57	0.57	0.52	0.51	0.53
40	0.57	0.56	0.51	0.51	0.52
45	0.56	0.55	0.51	0.50	0.51
50	0.56	0.55	0.50	0.50	0.50
55	0.56	0.54	0.50	0.49	0.50
60	0.56	0.54	0.49	0.49	0.49
65	0.56	0.53	0.49	0.49	0.49
70	0.54	0.53	0.49	0.49	0.49
Media ponderada	0.57	0.57	0.52	0.54	0.53

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los estadísticos de bondad de ajuste del modelo de Schumacher-Hall fueron similares entre especies. La precisión media del modelo fue 0.133 m^3 ; aunque hubo especies para las que el modelo fue más preciso, como en el caso de *P. engelmannii* (0.088); mientras para *P. cooperi* y *P. teocote* la precisión fue menor, probablemente debido a la gran variabilidad de valores de diámetro y altura considerados en la muestra. Respecto al modelo compatible ahusamiento-volumen los estadísticos de ajuste también fueron muy similares entre especies, con una precisión entre 1.55 (*P. teocote*) y 1.92 cm (*P. cooperi*), con un valor promedio de REMC de 1.7 cm. Este valor de REMC se debió, probablemente, a la variabilidad del grosor de la corteza a lo largo del fuste de algunas de las especies evaluadas, principalmente *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. engelmannii*. Con base en los buenos ajustes obtenidos, el modelo de Fang et al. (2000) es la mejor alternativa para estimar del volumen comercial, por lo que es recomendable su uso como modelo de distribución de productos para las especies consideradas en el estudio.

Zobel y Talbert (1988) señalan que los factores de forma pueden considerarse una característica fenotípica de las especies, por lo que dicha forma es resultado del potencial genético y del ambiente en el cual crecen, lo cual respalda las ligeras diferencias encontradas en el perfil fustal de los árboles de las especies evaluadas en este estudio. Por otra parte, los factores de forma permiten analizar los tipos dendrométricos representados en los diferentes segmentos del fuste. De acuerdo con lo que señalan Uranga-Valencia, De los Santos-Posadas, Valdez-Lazalde, López-Upton y Navarro-Garza (2015) se espera que factores de forma entre 0.4 y 0.5 describan fustes más parecidos a un paraboloide que a un cono; de igual manera, valores mayores de 0.5 indican una forma del fuste entre un paraboloide y un cilindro. Valores iguales a 0.5, 0.33 y 0.25 definen fustes semejantes a un paraboloide, cono y neiloide, respectivamente.

En este estudio los factores de forma obtenidos permiten asumir que los fustes presentan forma paraboloide, ya que todos fueron mayores a 0.5 y diferentes entre especies; por lo que dicha diferencia de los factores de forma entre especies debe tomarse en cuenta al momento de calcular el volumen total o comercial. Por ejemplo, considere un árbol de cada especie con el mismo diámetro (45 cm) y misma altura (20 m); a pesar de tener exactamente las mismas

dimensiones dichos árboles no contendrán el mismo volumen, debido a la forma distinta de su fuste. En este caso, 1.81, 1.78, 1.62, 1.65 y 1.64 m^3 para *P. cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. teocote*, respectivamente. Ninguna especie presentó el mismo factor de forma promedio, por lo que no se puede usar un mismo factor para dos o más especies.

Respecto a los factores de forma por categoría diamétrica, fueron mayores en las categorías de diámetro de 10 a 20 cm en combinación con las clases de altura de 3 a 12 m, lo que significa que los árboles pequeños de todas las especies son más cilíndricos en las etapas de crecimiento juvenil; incluso, todas las especies presentaron un factor de forma mayor de 0.6 en las categorías de 10 y 15 cm. A partir de 25 cm de diámetro, *P. cooperi* y *P. durangensis* contienen más volumen que las otras especies.

Como señalan Tlaxcala-Méndez et al. (2016) el ahusamiento es una característica definida por el ambiente y el potencial genético de la especie, lo cual explica las diferencias en los factores de forma promedio obtenidos en este estudio para cada especie; sin embargo, es necesario un estudio más amplio en el cual se compare la forma de fuste de una misma especie en regiones forestales distintas. Un estudio de este tipo permitiría ubicar las regiones forestales donde los fustes son geoméricamente más cilíndricos y proporcionarían mayor volumen de productos primarios.

CONCLUSIONES

Se desarrollaron modelos predictivos de volumen de fuste con corteza y modelos compatibles de ahusamiento-volumen para las cinco principales especies maderables de la región forestal de El Salto, Durango, con datos procedentes de las condiciones y tipos de rodales representativos de la región. Para todas las especies el modelo que mejor predice el volumen con corteza del fuste fue el de Schumacher-Hall; el cual es una tarifa de dos entradas que considera el diámetro normal con corteza (cm) y la altura total (m) como variables explicativas. Para el caso concreto en el que solo se desee obtener el volumen comercial, se recomienda utilizar la ecuación de volumen compatible de Fang et al. (2000) para todas las especies. El factor de forma es mayor en las categorías diamétricas menores de 20 cm; por otra parte, el factor de forma promedio es diferente entre todas las especies, excepto para *P. cooperi* y *P. durangensis* (0.57). El factor de forma promedio fue mayor a 0.5 para todas las especies, el cual difiere del usado tradicionalmente en la región (0.6).

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Tecnológico Nacional del México a través de la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2018-2 (proyecto 67.17.18-P).

REFERENCIAS

- Barrio Anta, M., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez González, J. G., & von Gadow, K. (2007). Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, 64(5), 511-520. doi: 10.1051/forest:2007028
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus. *Forest Science*, 46(3), 397-409. doi: 10.1093/forests/46.3.397
- Burkhardt, H. E., & Tomé, M. (2012). *Modeling forest trees and stands*. London: Springer.
- Corral-Rivas, J. J., Diéguez-Aranda, U., Corral Rivas, S., & Castedo-Dorado, F. (2007). A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 238(1-3), 118-129. doi: 10.1016/j.foreco.2006.09.074
- Cruz-Cobos, F., Santos-Posadas, H. M., & Valdez-Lazalde, R. (2008). Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia*, 42(4), 473-485. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n4/v42n4a10.pdf>
- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(5), 1190-1205. doi: 10.1139/x06-008
- Diéguez-Aranda, U., Rojo-Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F.,... Sánchez Rodríguez, F. (2009). *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia*. Lugo, España: Xunta de Galicia.
- Fang, Z., Borders, B. E., & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46(1), 1-12. doi: 10.1093/forests/46.1.1
- Furlan Gama, F., Dos Santos, J. R., & Mura, J. C. (2010). Eucalyptus biomass and volume estimation using interferometric and polarimetric SAR data. *Remote Sensing*, 2(4), 939-956. doi: 10.3390/rs2040939
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Vargas-Larreta, B., Martínez-Angel, L., García-Magaña, J. J., & Hernández-Ramos, J. (2019). Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Agrociencia*, 53(1), 115-131. Recuperado de <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1755/1755>
- Quiñonez Barraza, G., García Espinoza, G. G., & Aguirre-Calderón, O. A. (2018). ¿Cómo corregir heterocedasticidad y autocorrelación de residuales en modelos de ahusamiento y crecimiento en altura? *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 28-59. doi: 10.29298/rmcf.v9i49.151
- Quirós, R., Chinchilla, O., & Gómez, M. (2005). Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 7-15. Recuperado de <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/412.pdf>
- SAS Institute Inc. (2004). *SAS/ETS® 9.1 User's Guide* [Manual de usuario]. NC, US: SAS Institute Inc. Recuperado de https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/ets_ug_7314.pdf
- Tlaxcala-Méndez, R. M., De los Santos-Posadas, H. M., Hernández-De la Rosa, P., & López-Ayala, J. L. (2016). Variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). *Agrociencia*, 50(1), 89-105. Recuperado de <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/2369>
- Uranga-Valencia, L. P., De los Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., López-Upton, J., & Navarro-Garza, H. (2015). Volumen total y ahusamiento para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en tres condiciones de bosque. *Agrociencia*, 49(7), 787-801. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n7/v49n7a7.pdf>
- Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J. J., Aguirre-Calderón, O. A., López-Martínez, J. O., De los Santos-Posadas, H. M., Zamudio Sánchez, F. J.,... Aguirre-Calderón, C. G. (2017). SiBiFor: Forest Biometric System for forest management in Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 437-455. doi: 10.5154/rchscfa.2017.06.040
- Zavala Zavala, D. (1996). Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Revista Ciencia Forestal en México*, 21(79), 165-181. Recuperado de <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1004/2309>
- Zobel, B., & Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos

Index of urban coastal resilience for the management of urban solid waste

María Luisa Hernández-Aguilar*✉, Randy Mauricio Martínez-Torres*,
Gerardo Daniel López-Montejo*

Hernández-Aguilar, M. L., Martínez-Torres, R. M., & López-Montejo, G. D. (2021). Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e2808, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021842808>

RESUMEN

Los huracanes representan la mayor amenaza de las comunidades costeras. Pueden convertir ciudades enteras en escombros y dejar sus calles cubiertas de basura, animales muertos y desechos tóxicos. El objetivo principal fue determinar el grado de resiliencia en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad costera de Tulum, Quintana Roo, México, tras el impacto de un huracán. En este sentido, el enfoque de resiliencia se centra en la capacidad de respuesta institucional para la continuidad de operaciones durante una situación de emergencia. Se construyó un modelo definido por componentes e indicadores para la amenaza natural, la vulnerabilidad en la gestión institucional y capacidad de respuesta. Se obtuvo un grado de resiliencia cercano a 25%, indicando falta de políticas para la gestión de RSU generados por amenazas naturales. Una de las

Palabras clave: resiliencia; desastres; residuos sólidos urbanos; huracanes; indicadores; Quintana Roo.

Keywords: resilience; disasters; urban solid waste; hurricanes; index; Quintana Roo.

Recibido: 20 de agosto de 2020 Aceptado: 6 de septiembre de 2021

* Centro de Información Geográfica, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Quintana Roo campus Chetumal. Boulevard Bahía S/N esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque, C. P. 77019, Chetumal, Quintana Roo, México. Correo electrónico: malu@uqroo.edu.mx; randy.mmt18@gmail.com; lmontejo@uqroo.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7699-9418>; <https://orcid.org/0000-0001-5702-6584>; <https://orcid.org/0000-0001-8841-7289>

✉ Autor para correspondencia

ventajas destacadas de este modelo es que puede ser replicado para otra amenaza y territorio.

ABSTRACT

Hurricanes pose greatest hazard to coastal communities. They can turn entire cities into rubble and leave their streets littered with trash, dead animals, and toxic waste. The main objective was to determine the degree of resilience in the management of Urban Solid Waste (MSW) of the coastal city of Tulum, Quintana Roo, Mexico, after the impact of a hurricane. In this sense, the resilience approach focuses on the institutional response capacity for the continuity of operations during an emergency situation. A model defined by components and indicators for natural hazard, vulnerability in institutional management and response capacity was built. The result reveals a low degree of resilience, close to 25%, indicating a lack of policies for the management of MSW generated by natural hazards. One of the outstanding advantages of this model is that it can be replicated for another threat and another territory.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el impacto que han provocado los fenómenos hidrometeorológicos en México y el mundo ha sido alarmante. Los huracanes afectan principalmente a las ciudades costeras, provocan grandes pérdidas económicas en infraestructura y medios de vida (Hernández, Carreño, & Castillo, 2018). Las pérdidas causadas ponen a la vista la combinación de las fragilidades ambientales con

la combinación de las vulnerabilidades sociales, económicas, institucionales, culturales, entre muchas más (Hernández et al., 2018; Hernández-Aguilar & Castillo-Villanueva, 2012; Hernández Aguilar, Frausto Martínez, & López Montejo, 2021). Ante un posible desastre producido por el impacto de un huracán uno de los servicios de saneamiento más afectado y, por lo general, no atendido con la prioridad debida, es el sistema de manejo y recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Este servicio puede verse interrumpido y provocar la acumulación de escombros de edificios, árboles y otro tipo de basura, como animales muertos.

Por lo general las autoridades recurren a soluciones rápidas para deshacerse de ellos; sin embargo, éstos pueden ser susceptibles a ser valorizados o requieren sujetarse a tratamientos o disposición final diferente (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012). Si se aborda el problema de la saturación e interrupción de los servicios de recolección de RSU en caso de desastre por huracán desde un pensamiento sistémico, como un sistema socio-ecológico complejo y adaptativo, se podría conocer la capacidad del sistema para volver a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal (Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015; Costache, 2017; Hernández Aguilar & Frausto Martínez, 2019; Holling, 1973; 2001).

Actualmente las teorías de los sistemas socio-ecológicos resilientes incorporan mecanismos que permiten la continuidad y la subsistencia, éstos aprenden de los cambios y choques inesperados (Baho et al., 2017; Costache, 2017). Incorporar esta perspectiva a la gestión de desastres permite diseñar sistemas de gobernanza multinivel que pueden mejorar esta capacidad de respuesta y adaptación. Desde una perspectiva resiliente, de acuerdo con Hernández Aguilar y Frausto Martínez (2019) se deben reconocer dos características que deben ser controladas al presentarse una amenaza: la continuidad de operaciones (mantenimiento de las funciones urbanas) y la flexibilidad en los procesos (adaptación y respuesta).

A partir de la última década se ha prestado una atención significativa al desarrollo de herramientas que intentan medir la vulnerabilidad, el riesgo o la resiliencia de las comunidades ante los desastres. Se ha prestado especial atención al desarrollo de índices compuestos para cuantificar estos conceptos reflejando su despliegue en otros campos, como el desarrollo sostenible (Baho et al., 2017; Beccari, 2016; Castillo Villanueva, Velázquez Torres, Chávez Alvarado, & Camacho Sanabria, 2018; Costache,

2017; Cutter, Boruff, & Shirley, 2003; Hernández et al., 2018; Martínez Torres, 2018). Con base en lo anterior, el trabajo que se presenta tiene como objetivo principal determinar el grado de resiliencia en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad costera de Tulum, Quintana Roo, México tras el impacto de los huracanes. El Índice de Resiliencia Urbana Costera para el manejo de RSU es el principal resultado, que tiene como antecedentes principales el Índice de Riesgo por Huracán de Hernández et al. (2018), el Proyecto Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastre por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen (Castillo Villanueva et al., 2018) y la tesis de licenciatura de Martínez (2018).

La ciudad de Tulum, Quintana Roo, México se presentó como estudio de caso, ya que muestra alta vulnerabilidad al paso de huracanes por localización geográfica y por ser una ciudad turística costera con crecimiento poblacional descontrolado, lo que incide en las limitaciones del gobierno local para dotar de acceso de servicios públicos a toda su población; entre ellos, la recolecta de basura y el servicio de agua (Martínez Torres, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad costera de Tulum es la culminación y extremo sur del Corredor Turístico Cancún-Tulum conocido como la Riviera Maya en el Estado de Quintana Roo, al sureste de México y una población de 22,923 habitantes a 2020 de acuerdo con las proyecciones del Consejo Estatal de Población (COESPO). El municipio de Tulum tiene una extensión territorial de aproximadamente 2,040.94 km² y ocupa 4.9% de la superficie del estado (figura 1). Colinda al Norte con el municipio Solidaridad; al Este con el municipio de Cozumel y el Mar Caribe; al Sur con el municipio de Felipe Carrillo Puerto y al extremo Oeste limita con el municipio de Lázaro Cárdenas, parte de Felipe Carrillo Puerto y el estado de Yucatán.

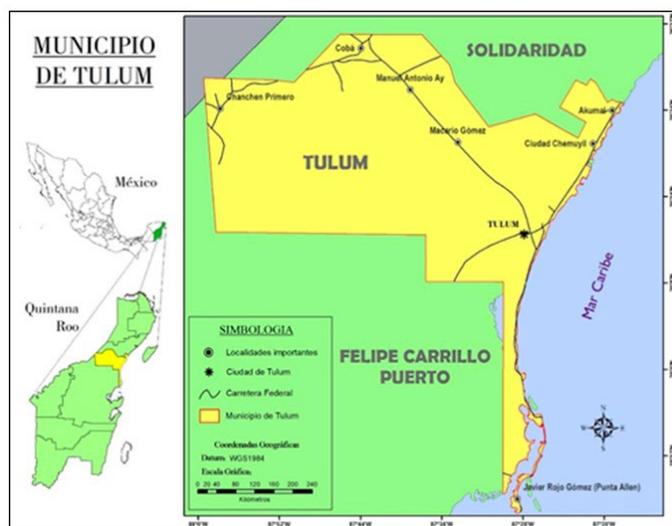


Figura 1. Localización de la ciudad de Tulum en el contexto nacional.
Elaboración propia.

Aspectos conceptuales

Amenaza. La amenaza natural en este trabajo son los huracanes, los cuales el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001) ubica dentro de la clasificación de riesgos hidrometeorológicos y los define como un fenómeno natural capaz de modificar el paisaje teniendo como agente perturbador principal el agua. Esta variable, Amenaza de Huracán (A_H), se compone de indicadores para cada uno de sus cuatro elementos físicos asociados a los ciclones tropicales: viento, oleaje, marea de tormenta y lluvia.

Vulnerabilidad. La recolecta y el manejo de los RSU en situaciones normales para la mayoría de los municipios en México no es tan eficiente como se desea. El impacto de una amenaza natural puede afectar de mayor manera a un sistema que ni siquiera antes era satisfactorio. Como ejemplo se puede señalar que en agosto de 2021 el huracán Grace, categoría 1 con vientos de 130 km/h tocó tierra en la ciudad costera de Tulum causando daños menores, pero produciendo grandes cantidades de basura (figura 2).



Figura 2. Desechos generados al paso del huracán Grace 2021, Tulum, Quintana Roo.
Fotografía del equipo de investigación.

Cutter et al. (2003) señalan que la definición amplia de vulnerabilidad infiere un potencial de pérdida; sin embargo, desde la perspectiva de una ciudad costera como sistema socio-ecológico se define a la variable vulnerabilidad como la susceptibilidad de que existan efectos adversos en la capacidad de regresar a su estado inicial (Baho et al., 2017; Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015; Holling, 1973; 2001). En este sentido el gobierno municipal de la ciudad de Tulum se ve rebasado en el sistema de recolección; tanto en la generación de RSU como en el acopio. Por esto, tras el impacto directo de un fenómeno hidrometeorológico se observa un incremento de RSU y se reduce, en términos efectivos, la capacidad del sistema de recolección y tratamiento; no obstante que los servicios públicos municipales realizan acciones preventivas al inicio de la temporada de huracanes, como poda de árboles, desazolve del sistema pluvial y brigadas de limpieza (figura 3).

De acuerdo con los datos obtenidos de la Dirección de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.), durante el año 2014 se recolectaron alrededor de 22,636.50 m³ de RSU en la ciudad de Tulum, con un promedio diario de 62 m³; mientras que para 2015 aumentó a 25,606.50 m³ de RSU colectados, promediando 70.1 m³ diarios. De acuerdo con INECC-SEMARNAT (2012), el peso volumétrico promedio de los RSU es de 150 kg/m³; siendo así que la generación diaria en la ciudad de Tulum fue de 10 t. Esta variable, *Vulnerabilidad de RSU* (V_{RSU}), se encuentra referida en este trabajo como la vulnerabilidad en la "Generación de RSU", compuesta por cinco indicadores: 1) generación de RSU; 2) residuos sólidos per cápita; 3) falta de cobertura de recolección; 4) disposición final de los RSU; y 5) eficiencia de los camiones recolectores.

Resiliencia como capacidad de respuesta. El incremento del riesgo de desastre a nivel mundial, donde los impactos y factores de estrés amenazan a los sistemas sociales y ecológicos en conjunto, aunado a diversas condiciones de vulnerabilidad, requiere acciones integrales que permitan gestionar los riesgos y aumentar su resiliencia. Por esta razón, una alta resiliencia socio-ecológica es sinónimo de sustentabilidad, a la vez que una escasa supone una limitada sustentabilidad para el sistema (Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015). La resiliencia de un sistema experimenta cambios durante el ciclo de

adaptación, pero preserva sus atributos esenciales para autoorganizarse después de una perturbación.

Los componentes de un sistema de recolecta de RSU en condiciones normales se encuentran concatenados entre sí, desde su origen hasta su disposición final. En este sentido pueden tener muchas variaciones, pero siempre deben adaptarse a las condiciones de cada situación local; por ello y de manera muy simple el manejo de los RSU se podría dividir en tres procesos básicos: generación, recolección y disposición final. En este estudio el sistema de recolecta de RSU de la ciudad de Tulum, en su conjunto, se entiende como un sistema socio-ecológico complejo y adaptativo. Sin embargo, ante el impacto de amenazas naturales, como los huracanes, se desequilibra y necesita un proceso de respuesta y adaptación. Para el cálculo de la capacidad de respuesta en el manejo y gestión de residuos sólidos urbanos (CR_{RSU}) se consideraron cinco indicadores: 1) recuperación de RSU generados; 2) número de plantas o centros de acopio y reciclaje; 3) cobertura de recolección; 4) programa de manejo de RSU ante desastres; y 5) eficiencia del servicio de recolecta.

La metodología aquí presentada es el resultado; en primer lugar, de un proceso estadístico a partir de las ecuaciones ya establecidas, que emplean los conceptos de riesgo, amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta en Cardona (1993), Henao Salazar (2013) y Office of the United Nations Disaster Relief Coordinators (1980) para la integración del índice que evalúe el manejo y gestión de los RSU (figura 4). En segundo lugar se utilizó la configuración del modelo conceptual desarrollado por Hernández et al. (2018) para construir el sistema de indicadores de resiliencia en el manejo de RSU ante la amenaza de huracán, de acuerdo con las variables establecidas (figura 5).



Figura 3. Acciones preventivas ante un desastre natural en la ciudad de Tulum.
Fotografías de H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.).

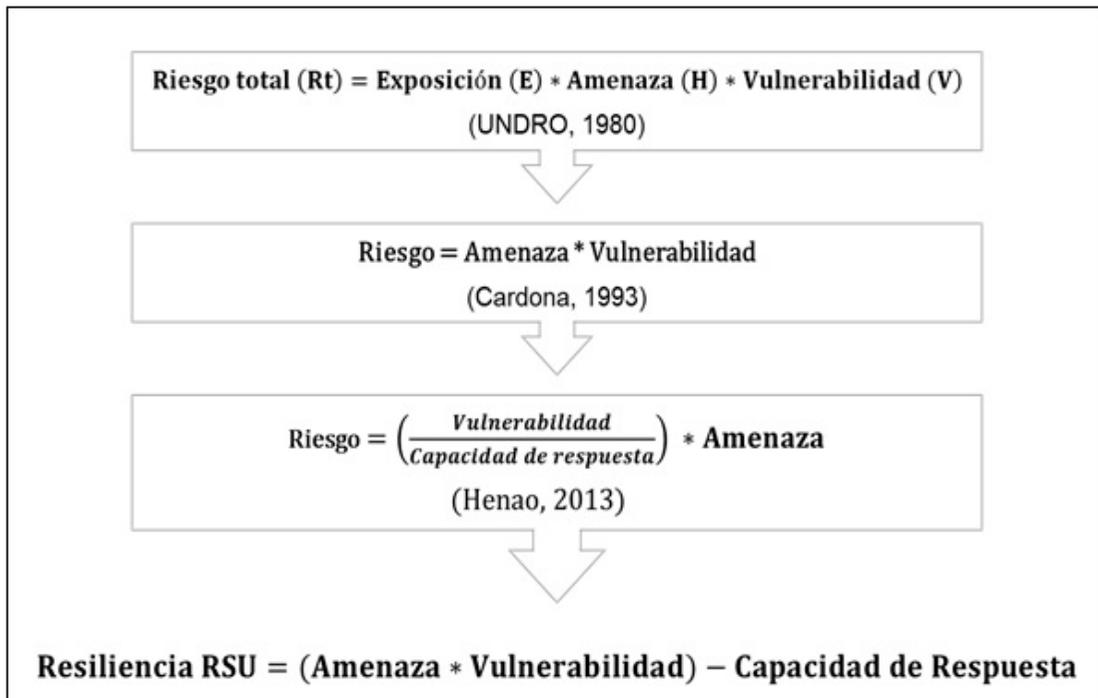


Figura 4. Proceso metodológico para la obtención de la ecuación final.
Elaboración propia.

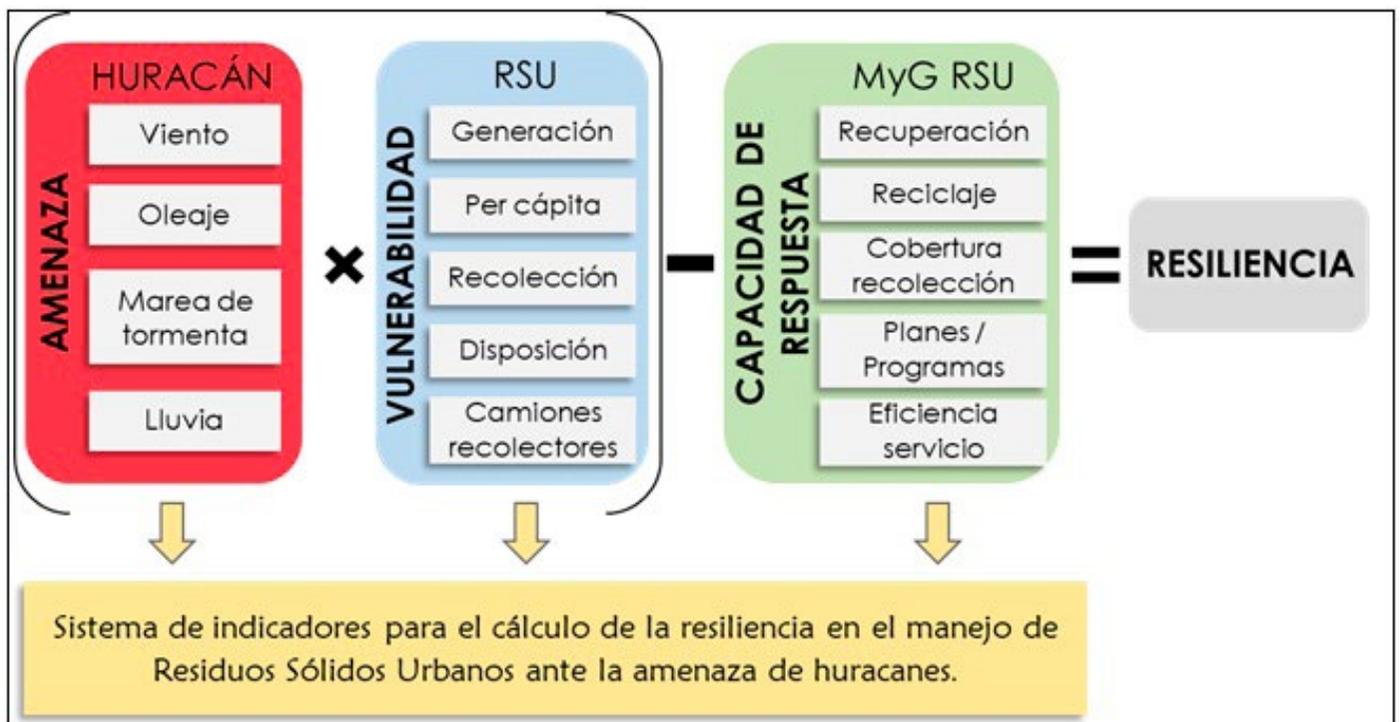


Figura 5. Modelo conceptual.
Imagen de Randy Mauricio Martínez-Torres (2018).

RESULTADOS

Para el cálculo de la primera variable de la ecuación (figura 4), la amenaza de huracán (A_H), los datos fueron adquiridos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en Hernández Hunzón y Cirilo Bravo (2005), año en que el huracán Emily tocó tierra al norte de la ciudad de Tulum, con categoría 4 en la escala Saffir-Simpson. Los componentes con sus respectivos indicadores definidos para esta primera variable se detallan en la tabla 1, compuesta por 10 columnas: la primera para la componente, la segunda para el peso de la componente, la tercera para el nombre del indicador y la cuarta para el peso; asignados de acuerdo con la importancia y daño que causan los

factores que traen consigo los huracanes, tomando en consideración que la suma de los pesos dentro de cada componente debe sumar 1. Las otras dos columnas indican el valor mínimo y máximo que puede obtener el indicador. Para definir estos valores se utilizaron datos oficiales o históricos de eventos; en este caso para el valor máximo se tomaron como referencia los datos meteorológicos alcanzados por el huracán Dean, que afectó el estado de Quintana Roo en 2007. En último lugar, el valor de la variable A_H se obtiene mediante la suma ponderada de los componentes, que a su vez se obtienen de la suma ponderada de los indicadores estandarizados (tabla 1).

Tabla 1
Amenaza (AH): componentes e indicadores para el huracán Emily (2005)

Componente (C)	Peso (C)	Indicador	Peso (P)	Valor mínimo	Valor máximo	Dato E (Emily)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)	Valor de la (C)
Viento	0.35	Categoría huracán	0.5	1	5	4	0.75	0.38	0.24
		Velocidad del viento	0.3	100	300	215	0.58	0.17	
		Presión central	0.2	800	1,050	955	0.62	0.12	
Oleaje	0.1	Amplitud	0.5	0	30	2	0.07	0.03	0.01
		Altura	0.5	0	25	3	0.12	0.06	
Marea de tormenta	0.25	Marea de tormenta	1	0.5	20	1.5	0.05	0.05	0.01
Lluvia	0.3	Intensidad	0.3	1	5	2	0.25	0.08	0.14
		Duración	0.3	0	24	24	1.00	0.30	
		Altura o profundidad	0.3	1	500	124.5	0.25	0.07	
		Frecuencia	0.1	5	500	155	0.30	0.03	
								$A_H =$	0.40

Nota: Elaboración propia con base en datos obtenidos de CONAGUA en Hernández Hunzón y Cirilo Bravo (2005).

De la misma manera, la construcción y definición de la componente "Generación, recolección y disposición RSU" y los cinco indicadores que integran la variable Vulnerabilidad de RSU (V_{RSU}), expuestos en la tabla 2, caracterizan datos recabados de fuentes primarias y secundarias; entre ellas de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.); así como de datos abiertos de los *Indicadores básicos del desempeño ambiental - Residuos Sólidos* de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (2017), en conjunto con algunos resultados obtenidos por Hernández et al. (2018). Para establecer los valores máximos y mínimos que puede alcanzar esta variable al impacto de un huracán se tomaron como punto de referencia datos de recolección de RSU de Playa del Carmen, Quintana Roo, al presentar características similares a las de la zona de estudio,

al ser una ciudad costera con gran crecimiento poblacional por migración e importante actividad turística, además de estar fuertemente amenazada por los huracanes.

La V_{RSU} se calcula a partir de la suma de sus indicadores multiplicados por el peso asignado para el único componente que la integra (tabla 2). Los valores obtenidos fueron estandarizados de 0 a 100 en caso de la vulnerabilidad (V_{RSU}) y la *capacidad de respuesta* (CR_{RSU}), con el fin de garantizar la comparabilidad de los datos. Cabe señalar que el peso dado para los indicadores definidos para cada una de las variables que componen el índice propuesto (tablas 1, 2 y 3) se originaron de manera subjetiva a partir de conocimientos empíricos, fuentes primarias y secundarias. Sin embargo, se recomienda que sean pesos objetivos, derivados de consultas o talleres participativos entre sociedad y gobierno.

Tabla 2
 Cálculo de la variable V_{RSU}

Componente	Indicador	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
Generación, recolección y disposición RSU	Generación de residuos sólidos urbanos	0.3	5	450	70	14.61	4.38
	Residuos sólidos per cápita	0.2	0	5	3.11	62.20	12.44
	Falta de cobertura de recolección	0.1	0	100	15	15.00	1.50
	Disposición final de los RSU	0.2	1	3	1	100	20.00
	Eficiencia de los camiones recolectores	0.2	0	100	87.5	12.50	2.50
						$V_{RSU} =$	40.82

Nota: Elaboración propia.

Por otra parte, la variable *Capacidad de Respuesta* (CR_{RSU}) también se presenta a través de un solo componente y cinco indicadores (tabla 3), que buscan evaluar las estrategias y manejo que emplean las autoridades correspondientes para poder continuar, resistir y recuperarse de los

daños causados por fenómenos naturales como los huracanes (tabla 3), para cuya obtención se sigue el mismo procedimiento de las variables anteriores.

Tabla 3
Cálculo de la variable CR_{RSU}

Componente	Indicador	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
Manejo y gestión de RSU	Recuperación de RSU generados	0.3	0	70	8	11.43	3.43
	Número de plantas o centros de acopio y reciclaje	0.1	0	6	1	16.67	1.67
	Cobertura de recolección	0.1	0	100	85	85.00	8.5
	Programa de manejo de RSU ante desastres	0.3	1	2	1	0.00	0.00
	Eficiencia del servicio de recolecta	0.2	0	3	2	66.67	13.33
						$CR_{RSU} =$	26.93

Nota: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados de las variables A_H , V_{RSU} y CR_{RSU} para la ciudad de Tulum (tablas 1, 2 y 3) se procedió a calcular el Índice de Resiliencia Urbana Costera para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (IR_{MRSU}) sustituyendo los valores en la ecuación. Cabe mencionar que para el valor obtenido de A_H se determinó manejar un factor de impacto (1 + A_H) como un coeficiente de potencialización de la amenaza (Hernández et al., 2018).

$$IR_{MRSU} = [(1 + A_H)] * (V_{RSU}) - CR_{RSU}$$

$$IR_{MRSU} = [(1 + 0.40) * (40.82)] - 26.93$$

$$IR_{MRSU} = 30.22\%$$

Para entender mejor el resultado, la V_{RSU} toma sus valores de las 70 t diarias de RSU que se generan en la ciudad de Tulum. Se generan por habitante 3.11 kg/día y su disposición final es tiradero a cielo abierto (H. Ayuntamiento de Tulum, s. f.). Los servicios de restaurantes, hoteles y actividades asociados al turismo favorecen que sus pobladores y visitantes consuman productos fácilmente desechables y no amigables al ambiente, lo que genera cantidades de basura difíciles de tratar en el sitio de disposición

final adecuado. Por otra parte, la gestión y manejo de RSU evaluada por la variable CR_{RSU} toma su valor por el escaso número de centros de reciclaje y la disposición de solamente dos camiones recolectores que permiten cubrir únicamente 85% de la ciudad; porcentaje que va disminuyendo por el crecimiento de la población en asentamientos irregulares que no favorecen al sistema de recolecta de RSU de la ciudad de Tulum. Con la finalidad de representar los resultados por niveles de resiliencia el índice se clasifica en cinco rangos de valores porcentuales (figura 6). Esta forma de representar los resultados puede contribuir a la creación de un sistema de alerta o monitoreo para el manejo de los RSU ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos que identifique de mejor manera el grado de resiliencia (Hernández Aguilar & López Montejo, 2020).

Resiliencia para el manejo de RSU	
Grado	%
Muy Alto	80 - 100
Alto	60 - 80
Medio	40 - 60
Bajo	20 - 40
Muy bajo	0 - 20

Figura 6. Clasificación del grado de resiliencia.
Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la variable *Vulnerabilidad* (V_{RSU}) obtuvo un valor de 40.82%, el cual refleja una alta vulnerabilidad en cuanto a la generación, recolección y disposición de los RSU; que corresponde principalmente con las grandes cantidades de basura que se generan en una ciudad pequeña, cuya actividad económica predominante es el turismo; además de que no cuenta con un tratamiento óptimo ni un sitio de disposición final adecuado. Por su parte, el resultado de la *Capacidad de Respuesta* (CR_{RSU}) fue de 26.93%; lo que señala las deficiencias en las estrategias locales para el manejo y gestión de los RSU, debido a que no se tiene un plan de manejo de residuos ante desastres por huracanes, por ejemplo.

Sin embargo, cuentan con un centro de acopio y reciclaje, aunque solamente se recupera menos de 10% del total de los RSU generados. El grado de resiliencia obtenido, cercano a 25%, exhibe bajo nivel en la capacidad de respuesta para Tulum en un día normal y ante desastres (figura 6). De acuerdo con Costache (2017) y Hernández et al. (2018), la evaluación de la vulnerabilidad tiende a destacar aquellos sistemas o componentes de sistemas que se ven muy afectados por perturbaciones; mientras que la evaluación de la resiliencia se centra en las características de los sistemas que los hacen más robustos en el contexto de una perturbación. Estos mismos autores señalan que los indicadores como herramientas de gestión son imprescindibles como un medio para medir lo actual frente a lo que se ha planificado o lo que se espera lograr.

Para poder lograr una ciudad más resiliente en materia de manejo de RSU será necesario reforzar la infraestructura del servicio, la implementación y cumplimiento de leyes y reglamentos asociados; así como capacitar a los tomadores de decisión

y a la población en general. La aplicación de esta metodología no es limitativa para la amenaza de huracán, una de sus ventajas es poder ser utilizada para otro tipo de amenaza y en otros contextos geográficos. Entre las desventajas se puede mencionar la falta de disponibilidad de datos por parte de los gobiernos locales y que éstos coincidan con el año del fenómeno natural. Otra limitante fundamental fue la relacionada con la asignación de pesos, ya que estos fueron ajustados subjetivamente. Se recomienda, para el punto anterior y para validar el sistema, convocar a talleres participativos con actores clave involucrados y sociedad.

CONCLUSIONES

Este estudio muestra cómo una evaluación conjunta del riesgo, la exposición y la vulnerabilidad social proporciona datos valiosos para la evaluación de estrategias de resiliencia, desde un enfoque y una metodología integral y holística, mediante conceptos y líneas de acción desde el contexto global hasta lo local. Se debe tener en cuenta que Tulum como ciudad costera tiene un crecimiento poblacional acelerado por su actividad principal, el turismo; por lo que dejar de lado el manejo adecuado de los RSU puede conllevar a la contaminación de los acuíferos y áreas naturales protegidas con que cuenta, sobre todo ante un desastre natural.

Se seleccionaron ciertos indicadores de vulnerabilidad y capacidad de adaptación con el propósito de describir en primeros pasos la gestión y manejo de los RSU ante la amenaza del impacto de huracanes; pero el desarrollo de otros indicadores complementarios podría profundizar y arrojar resultados más detallados, igual que una correlación entre ellos. Se comprueba la hipótesis de que la ciudad cuenta con mínima resiliencia en el manejo de RSU ante un huracán. La correlación entre el año de impacto de un huracán con el dato de recolección de RSU para el mismo año pueden suponer futuros trabajos de investigación. Finalmente, un proceso de mejora continua en la capacidad de un sistema para lograr los objetivos deseados debe considerar cómo hacer frente a las perturbaciones y utilizar el concepto de resiliencia como complemento de la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Baho, D. L., Allen, C. R., Garmestani, A., Fried-Petersen, H., Renes, S. E., Gunderson, L., & Angeler, D. G. (2017). A quantitative framework for assessing ecological resilience. *Ecology and Society*, 22(3), 1-17. doi: 10.5751/ES-09427-220317
- Beccari, B. (2016). A comparative analysis of disaster risk, vulnerability and resilience composite indicators. *PLOS Currents Disasters*. doi: 10.1371/currents.dis.19f9c194f3e3724d9ffa285b157c6ee3.
- Cardona A., O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En A. Maskrey (Comp.), *Los desastres no son naturales* (pp. 51-74). Bogotá, Colombia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/MTQ5.pdf>
- Castillo-Villanueva, L., & Velázquez-Torres, D. (2015). Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 17(2), 11-32.
- Castillo Villanueva, L. M., Velázquez Torres, D., Chávez Alvarado, R., & Camacho Sanabria, J. M. (2018). *Resiliencia en ciudades costeras del caribe mexicano ante desastre por huracanes*. Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México* [Archivo pdf descargable]. Ciudad de México, México: Autor. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICO-ODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>
- Costache, A. (2017). Conceptual delimitations between resilience, vulnerability and adaptive capacity to extreme events and global change. *Annals of Valahia University of Targoviste. Geographical Series*, 17(2), 198-205. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/321015642_Conceptual_Delimitations_Between_Resilience_Vulnerability_and_Adaptive_Capacity_to_Extreme_Events_and_Global_Change#read
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. doi: 10.1111/1540-6237.8402002
- H. Ayuntamiento de Tulum. (s. f.). [Comunicación personal de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales].
- Henao Salazar, A., (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: Un estudio de caso en los Andes colombianos. *Agroecología*, 8(1), 85-91. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183031/152501>
- Hernández, M. L., Carreño, M. L., & Castillo, L. (2018). Methodologies and tools of risk management: Hurricane risk index (HRi). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 926-937. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.08.006
- Hernández-Aguilar, M. L., & Castillo-Villanueva, L. (2012). Capacidad institucional ante la reducción del riesgo de desastres en Quintana Roo: Marco de Acción de Hyogo. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14(2), 23-48. Recuperado de <https://quivera.uaemex.mx/article/view/9624>
- Hernández Aguilar, M. L., & Frausto Martínez, O. (2019). Resiliencia urbano-costera frente al cambio climático desde el enfoque socio-ecológico: El caso de Tulum, Q. Roo. En M. L. Castillo Villanueva, D. Velázquez Torres, R. Chávez Alvarado, & J. M. Camacho Sanabria (Coords.), *Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastres por huracanes* (pp. 205-225). Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo.
- Hernández Aguilar, M. L., & López Montejo, G. D. (2020). Atlas de riesgos como instrumentos de sistemas de alertas tempranas. En O. Frausto Martínez, J. C. Morales Hernández, & C. D. Aguilar Becerra (Coords.), *Sistema de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en México* (pp. 87-105). Ciudad de México, México: UAGRO-REDESCLIM-CONACYT.
- Hernández Aguilar, M. L., Frausto Martínez, O., & López Montejo, G. D. (2021). Capítulo II. Desafíos de los sistemas locales de la gestión integral del riesgo de desastre, sistemas socioecológicos y cambio climático. En J. C. Morales Hernández, E. González Sosa, C. M. Welsh Rodríguez, & O. Frausto Martínez (Coords.), *Gestión de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en sistemas socio-ecológicos* (pp. 39-71). Ciudad de México, México: CLAVE.
- Hernández Hunzón, A., & Cirilo Bravo, M. G. (2005). *Resumen del huracán "Emily" del Océano Atlántico* [Documento en pdf]. México: Comisión Nacional del Agua.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- _____ (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4, 390-405. doi: 10.1007/s10021-001-0101-5
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* [Archivo pdf descargable]. México: Autor. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>
- Martínez Torres, R. M. (2018). *Manejo de residuos sólidos urbanos ante desastres por huracanes: una contribución a la resiliencia urbana-costera en la ciudad de Tulum, Quintana Roo* (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1928/TD791.2018-1928.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (2017). Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental-Residuos sólidos [Base de datos]. México: SEMARNAT. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental-residuos-solidos>
- Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator. (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis: Report of expert group meeting (9-12 July 1979)* [Documento en pdf]. Recuperado de https://digitalibrary.un.org/record/95986/files/UNDRO_ExpGrp_1-EN.pdf



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Inclusión de harina y aceite de semilla de moringa como sustitutos y estabilizantes de grasa en pastas cárnicas

Inclusion of flour and oil of moringa seed as replacers and stabilizers fat on meat batter

Yazmin Margarita Muñoz-Guevara*, Sughey Ramona Sinagawa-García*,
Jesús Alberto Lara-Reyes*, Alejandro Isabel Luna-Maldonado*, Zayd
Eliud Rangel-Nava*, Gerardo Méndez-Zamora*✉

Muñoz-Guevara, Y. M., Sinagawa-García, S. R., Lara-Reyes, J. A., Luna-Maldonado, A. I., Rangel-Nava, Z. E., & Méndez-Zamora, G. (2021). Inclusión de harina y aceite de semilla de moringa como sustitutos y estabilizantes de grasa en pastas cárnicas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84). e3318, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843318>

RESUMEN

Esta investigación evaluó el efecto de la adición de harina con aceite (HSMcA) y sin aceite de semilla de moringa (HSMsA) y aceite de semilla de moringa (ASM) como sustitutos y estabilizantes de grasa dorsal (GD) en pastas cárnicas (PaC) no cocidas y cocidas de salchichas Frankfurt. T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. La pérdida por cocción, fluido total expulsado y grasa expulsada resultaron diferentes ($P < 0.05$) en la estabilidad de las PaC no cocidas. En PaC cocidas T3 mostró valores más altos en a^* , Chroma, Hue (tonalidad), capacidad antioxidante, fuerza de corte y elasticidad; T2 obtuvo más dureza y gomosidad. La harina y aceite de semilla de moringa pueden sustituir la grasa dorsal de la formulación de pastas cárnicas para salchicha Frankfurt.

Palabras clave: estabilidad; emulsión; color; capacidad antioxidante; perfil de textura.

Keywords: stability; emulsion; color; antioxidant capacity; texture profile.

Recibido: 9 de agosto de 2021 Aceptado: 18 de octubre de 2021

* Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Francisco Villa s/n, Col. Ex-Hacienda El Canadá, C. P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México. Correo electrónico: yazmin_margarita_21@hotmail.com; sughey.sinagawagr@uanl.edu.mx; chuy30@live.com.mx; alejandro.lunam@uanl.edu.mx; zayd.uanl.f@gmail.com; gerardo.mendezzm@uanl.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4253-4943>; <https://orcid.org/0000-0002-5961-0968>; <https://orcid.org/0000-0002-8766-4461>; <https://orcid.org/0000-0002-9528-3052>; <https://orcid.org/0000-0002-0030-2565>; <https://orcid.org/0000-0002-1428-5217>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The study evaluated the addition of moringa seed flour with oil (MSFO) and moringa seed flour without oil (MSFwO), and moringa seed oil (MSO) as replacer and stabilizer on meat batter (MB) raw and cooked of Frankfurter sausage. T1: control MB + 100% BF; T2: MB + 50% BF + 50% MSFO; T3: MB + 50% BF + 50% MSFwO; T4: MB + 0% BF + 50% MSFO + 50% MSFwO; T5: MB + 50% BF + 50% MSO. Cook loss, total fluid expelled, and fat expelled were different ($P < 0.05$) in the stability of raw MB. In the cooked MB, T3 gave the highest values on a^* , Chrome, Hue (tonality), antioxidant capacity, shear force, and springiness; T2 was higher at hardness and gumminess. Moringa seed flour and oil can replace the dorsal fat of the formulation of meat pastes for Frankfurter sausage.

INTRODUCCIÓN

La percepción acerca de la dieta y salud ha permitido el desarrollo de productos alimentarios saludables, como productos cárnicos bajos en grasa y sodio con antioxidantes y antimicrobianos naturales, enriquecidos con fibra dietética y ácidos grasos ω -3 y ω -6 (Hygreeva, Pandey, & Radhakrishna, 2014). Aunque algunas de las funciones principales de la grasa son la textura y aroma de los productos cárnicos, su sustitución puede ser mediante el uso de ingredientes no cárnicos, como ligadores o extensores (Al-Juhaimi, Ghafoor, Hawashin, Alsawmahi, & Babiker, 2015).

La sustitución de la principal fuente de grasa saturada en los productos cárnicos; es decir, la grasa

dorsal de cerdo, por aceites vegetales y marinos en su forma líquida es interesante desde el punto de vista nutricional, pero es un desafío tecnológico; por lo que la producción de productos reformulados con características cercanas a la reformulación con grasa saturada sería una estrategia tecnológica (De Souza Paglarini et al., 2017). También la harina de semilla de *Moringa oleifera* puede usarse en la formulación de cárnicos porque tiene un alto potencial como ligador (Al-Juhaimi et al., 2015). La industria alimentaria ha encontrado en la misma una alternativa natural para mejorar la calidad de los alimentos, ya que de ella se pueden usar la harina de hojas, semillas, flores, vainas y tallos en los alimentos, los cuales contienen compuestos bioactivos; por ejemplo, la semilla de moringa puede ser fuente de compuestos fenólicos, ácidos grasos, fibra dietética y proteínas (Saucedo-Pompa et al., 2018). Al respecto, Moyo, Masika y Muchenje (2012) indicaron que las hojas y semillas de moringa contienen cantidades apreciables de minerales esenciales, vitaminas, aminoácidos y ácidos grasos. De acuerdo con Anwar y Bhanger (2003), Al-Juhaimi et al. (2015) y González Garza et al. (2017), las semillas de moringa contienen 29.36-37.48% de proteína cruda, 35-40% de aceite y 5.45-6.60% de cenizas, además de su alta capacidad antioxidante.

Sin embargo, son limitados los estudios que han reportado el uso de la harina de semilla de moringa (HSM) en los productos cárnicos. Por ejemplo, Al-Juhaimi et al. (2015) evaluaron el efecto de 2, 4 y 6% de HSM para reemplazar carne de bovino en la elaboración de hamburguesas. Estos autores encontraron que al incrementar el contenido de moringa aumentaban los valores de color (luminosidad, color amarillo) y perfil de textura (dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad) e indicaron que la HSM tiene potencial como ligador. Adicionalmente, la HSM puede ser ingrediente funcional en productos cárnicos debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, siendo 3% útil en la mortadela de pollo para reducir y estabilizar los lípidos (Auriema et al., 2019). Estos resultados pueden ser útiles para experimentar el desarrollo de productos cárnicos emulsionados y evaluar su estabilidad.

En esta investigación se evaluó el efecto de la adición de harina y aceite de semilla de moringa en la formulación de pastas cárnicas de salchicha Frankfurt sobre la estabilidad de la emulsión, propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y textura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ingredientes de la formulación de las pastas cárnicas (PaC)

Las semillas de *Moringa oleifera* se obtuvieron del Centro de Agricultura Protegida, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. La harina de semilla de moringa con y sin aceite se procesaron en el Laboratorio de Biotecnología, en la Facultad de Agronomía de la UANL. La grasa y la carne de cerdo y bovino se adquirieron en una tienda comercial especializada; mientras que los polifosfatos, nitritos, ascorbato y condimentos en la empresa PIASA (Proveedores de Ingeniería, S. A. de C. V., Apodaca, Nuevo León, México).

Diseño experimental

Cinco tratamientos se establecieron para adicionar la harina de semilla de moringa con aceite (HSMcA; pH= 5.92) y sin aceite (HSMsA; pH= 6.33) y aceite de semilla de moringa (ASM; pH= 5.10) para sustituir 50% de grasa dorsal (GD) en la formulación de pastas cárnicas (PaC; tabla 1): T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; y T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. Esto se estableció con base en el estudio de Silva-Vazquez, Flores-Giron, Quintero-Ramos, Hume y Mendez-Zamora (2018).

Obtención de harina y aceite de semilla de moringa

La cáscara de las semillas se retiró, después las semillas se molieron en una licuadora (Oster, Monterrey, México) y la harina se tamizó a través de una malla de 70 μm . Esta harina fina se desgrasó con relación 1:3 (hexano) mediante agitación durante 1 h y luego se centrifugó a 6000 r. p. m. durante 10 min a temperatura ambiente para eliminar los residuos grasos. La harina recuperada se secó y lavó tres veces con agua para remover los polisacáridos solubles. Finalmente, la harina se secó en un horno a 60 °C durante 24 h y se obtuvo el polvo fino. En el caso del aceite de la semilla de moringa se obtuvo desgrasando la harina de semillas con hexano en una relación 1:3 p/v, después el aceite se recuperó con tratamiento térmico a 60 °C por 4 h para evaporar el hexano y se almacenó a 4 °C.

Tabla 1
Formulación para pastas cárnicas de salchicha Frankfurt

Ingredientes (g/kg) ¹	Tratamientos ²				
	T1	T2	T3	T4	T5
Carne de bovino	144.50	144.30	144.30	144.30	144.30
Carne de cerdo	546.00	546.00	546.00	546.00	546.00
GD	253.00	126.75	126.75	126.75	126.75
Hielo	265.20	265.20	265.20	265.20	265.20
Almidón	57.20	57.20	57.20	57.20	57.20
ASM	0.00	0.00	0.00	0.00	126.75
HSMcA	0.00	126.75	0.00	63.38	0.00
HSMsA	0.00	0.00	126.75	63.38	0.00
NaCl	23.83	23.83	23.83	23.83	23.83
Polifosfatos	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
NO ₂ (156 p. p. m.)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Ascorbato de sodio	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Condimento salchicha	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50

Nota: ¹ GD: grasa dorsal; ASM: aceite de semilla de moringa; HSMcA: harina de semilla de moringa con aceite; HSMsA: harina de semilla de moringa sin aceite; NaCl: cloruro de sodio; NO₂: nitrito de sodio.

² T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; y T5: PaC + 50% GD + 50% ASM.

Elaboración propia.

Preparación de pastas cárnicas

Cada tratamiento se formuló para 1.3 kg de PaC, realizando dos réplicas por cada tratamiento. El procedimiento de la elaboración de las PaC se realizó de acuerdo con Silva-Vazquez et al. (2018). Para los tratamientos T2 a T4 la HSMcA y la HSMsA se agregaron con el condimento para salchichas. El ASM (T5) se agregó después de incorporar la GD.

Estabilidad de la emulsión

En esta prueba, 500.0 g de PaC se colocaron en 20 tubos Eppendorf® (50 ml) con 25.0 g de PaC por réplica. La pérdida por cocción (PC) de las pastas cárnicas se evaluó de acuerdo con el método de Álvarez y Barbut (2013); los tubos con pasta se calentaron en un baño en agua a 72 °C por 90 min, enfriados en agua fría a 15 °C por 5 min y se colectaron los exudados; la siguiente ecuación se usó: $PC = \frac{[(\text{peso crudo} - \text{peso cocido}) / \text{peso crudo}] \times 100}{100}$. La estabilidad de la emulsión se evaluó y calculó de acuerdo con el método de Miklos, Xu y Lametsch (2011) para determinar el fluido total expulsado (% FTE) y el porcentaje de grasa.

Análisis fisicoquímicos en pastas no cocidas y cocidas

El pH de las PaC no cocidas y cocidas se midió introduciendo un electrodo de punción conectado al potenciómetro (HANNA; HI99163, Woonsocket RI, USA). El color se determinó directamente en las pastas no cocidas y en la parte interna de las pastas cocidas con el colorímetro (SADT®, Chin Spec®, Color Difference Meter, Colorimeter-SC20, Beijing, China) y se registró L* (luminosidad), a* (tendencia al rojo), b* (tendencia al amarillo), ángulo Hue (tonalidad) y Chrome (saturación). Estos análisis se determinaron en seis PaC no cocidas y muestras cocidas (25 g de PaC embutida en tubos Eppendorf® (50 ml), calentados a 72 °C por 90 min y enfriados a temperatura ambiente).

Actividad antioxidante (ABTS) de la pasta cárnica cocida

Para determinar la actividad antioxidante de las PaC cocidas de salchicha Frankfurt, 5.0 g de muestra se molieron en un mortero con agua en una relación 1:3 p/v, después se centrifugó a 6,000 r. p. m. por 10 min a 22 °C. El sobrenadante se colocó en un tubo de 2 ml y almacenó a -20 °C hasta su uso. La actividad

antioxidante se estimó con base al método de Re et al. (1999) y algunas modificaciones. Una curva de Trolox a diferentes concentraciones: 0, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 $\mu\text{M} \pm (0.02)$ se preparó con 125 μl , donde 10 μl de cada concentración se mezcló con 1 ml de reactivo ABTS se mezclaron y posteriormente se midió la absorbancia a 732 nm al inicio de la reacción y después de 6 min de reacción. Las muestras se determinaron por triplicado y se graficaron las absorbancias de la curva para obtener la ecuación $y = mX + b$. Finalmente, el porcentaje de inhibición se usó para estimar los equivalentes Trolox (ET) en $\mu\text{M/g}$ de producto.

Análisis de textura

Para llevar a cabo el análisis de textura, 10 tubos Eppendor® (50 ml) se usaron para colocar 40.0 g de PaC en cada uno y se calentaron a 72 °C por 90 min, enfriados a temperatura ambiente y almacenados a 4 °C por 12 h hasta el análisis. La fuerza de corte (FC) y el análisis de perfil de textura (APT) se realizaron en un analizador de textura (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems Serrey, England) en diez secciones de 2.5 cm de diámetro y 3.0 cm de largo a una temperatura de 4 °C (figura 1). Para la FC (N), una navaja Warner-Bratzler se adaptó en el texturómetro y se establecieron velocidades de 2 mm/s en pre-prueba y prueba, 10 mm/s post-prueba y una distancia de 30 mm.

El APT se realizó de acuerdo con lo establecido por Méndez-Zamora et al. (2015); 10 muestras cilíndricas, 3.0 cm de alto y 2.5 cm de diámetro. Se comprimieron dos veces a 60% de la altura original de los cilíndricos; se usó en la prueba un plato de compresión de 75 mm de diámetro. Curvas de deformación tiempo-fuerza se obtuvieron con las siguientes condiciones: velocidad preprueba 1.0 mm/s, en prueba y postprueba 5 mm/s. La dureza (Dur; N), adhesividad (Adhes; g s^{-1}), elasticidad (Elast; mm), cohesividad (Cohe), gomosidad (Goms; g), masticabilidad (Mast; g mm) y resistencia (Resist) se evaluaron en esta prueba.



Figura 1. Prueba del análisis de textura de las salchichas realizado en el Laboratorio de Ingeniería, en la Facultad de Agronomía de la UANL.

Fotografía tomada por el equipo de investigación.

Análisis estadístico

El efecto de la HSMcA, HSMsA y ASM para sustituir la grasa dorsal en la formulación de las PaC se realizó mediante análisis de varianza para rechazar H_0 (igualdad de tratamientos) con un valor de probabilidad menor a 0.05 ($P < 0.05$); se consideró el modelo estadístico $y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$, donde los tratamientos representaron el efecto fijo (τ_i) y los tiempos de elaboración de réplicas se consideraron como efecto bloque (β_j). Cuando existió efecto significativo ($P < 0.05$) de los tratamientos, la prueba estadística Tukey se usó para comparar las medias a un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS

Estabilidad de las pastas cárnicas no cocidas

La PC, FTE, %FTE y %Grasa resultaron diferentes ($P < 0.05$) entre los tratamientos (tabla 2). El T3 (50% GD y HSMsA) presentó los valores más altos en FTE, %FTE y %Grasa, mientras que T1 (PaC control + 100% GD) obtuvo los valores más bajos en estas variables (menor pérdida de fluidos), seguido de T5 (PaC + 50% GD + 50% ASM).

Fisicoquímica de las pastas cárnicas no cocidas

En relación con la evaluación de pH y color se observaron diferencias ($P < 0.05$; tabla 3) en pH, L*, a*, b*, Chroma y Hue de los tratamientos. El pH más alto se presentó en T1, mientras que L*, b* y Hue* aumentaron para T5; a* y Chroma incrementaron en T3 y disminuyeron en T1; asimismo, el pH, L* y Hue decrecieron en T3.

Tabla 2

Estabilidad de pastas cárnicas de salchichas Frankfurt reducidas en grasa formuladas con harina y aceite de semilla de moringa

Tratamientos ¹	Variables ²			
	PC (%)	FTE (g)	%FTE	%Grasa
T1	1.42 ^b	0.45 ^c	1.80 ^c	4.73 ^d
T2	5.80 ^a	1.25 ^b	4.99 ^b	11.94 ^b
T3	8.06 ^a	1.94 ^a	7.76 ^a	14.98 ^a
T4	7.30 ^a	1.73 ^a	6.91 ^a	14.11 ^{ab}
T5	2.74 ^b	0.59 ^c	2.35 ^c	8.63 ^c
EEM	0.53	0.11	0.46	0.64
P-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Nota: ¹ T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. EEM: error estándar de la media.

² PC: pérdida por cocción; FTE: fluido total expulsado; %FTE: por ciento de fluido total expulsado; %Grasa: por ciento de grasa expulsada.

^{a-c} Medias en la misma columna con diferente letra, difieren estadísticamente ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Elaboración propia.

Tabla 3

pH y color de pasta cárnica (cruda) de salchicha Frankfurt usando harina y grasa de semilla de moringa como sustitutos de grasa

Tratamientos ¹	Variables ²					
	pH	L*	a*	b*	Chroma	Hue
T1	5.93 ^a	71.92 ^b	5.17 ^b	12.25 ^a	13.47 ^c	66.92 ^a
T2	5.72 ^b	68.98 ^c	11.22 ^a	13.23 ^a	17.39 ^a	49.83 ^b
T3	5.63 ^c	68.63 ^c	11.55 ^a	13.10 ^a	17.52 ^a	48.62 ^b
T4	5.69 ^b	70.34 ^{bc}	11.14 ^a	12.96 ^a	17.13 ^a	49.18 ^b
T5	5.90 ^a	81.92 ^a	5.36 ^b	13.55 ^a	14.64 ^b	67.99 ^a
EEM	0.01	0.57	0.26	0.32	0.26	1.21
P-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0714	< 0.0001	< 0.0001

Nota: ¹ T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. EEM: error estándar de la media.

² pH: potencial de hidrógeno; L*: luminosidad; a*: tendencia al color rojo; b*: tendencia al color amarillo; Chroma: índice de saturación; Hue: ángulo Hue (índice de tono).

^{a-c} Medias en la misma columna con diferente letra, difieren estadísticamente ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Elaboración propia.

Fisicoquímica de las pastas cárnicas cocidas

Los resultados de la evaluación de pH, color y CA (ABTS) presentaron diferencia estadística ($P < 0.05$) entre los tratamientos (tabla 4). El pH aumentó para T1, L* incrementó en T5; mientras que T3 mostró valores altos en a*, b*, Chroma, Hue y CA. Por otro lado, el T1 obtuvo los valores más bajos en a*, b*, Chroma, Hue* y CA (ABTS); pero T4 tuvo valores bajos en pH y L*.

Análisis de la textura de pastas cárnicas cocidas

La fuerza de corte (FC), dureza (Dur), elasticidad (Elast), cohesividad (Coeh), gomosis (Goms) y resistencia (Resist) se afectaron ($P < 0.05$) por los tratamientos (tabla 5). La FC y Elast aumentaron en T3 (PaC + 50% GD + 50% HSMsA); mientras que Dur, Goms y Mast incrementaron en T2 (PaC + 50% GD + 50% HSMcA). Por otra parte, Coeh y Resist aumentaron para T1 (PaC control + 100% GD); pero FC, Dur y Elast disminuyeron.

Tabla 4

pH, color y capacidad antioxidante en pastas cocidas de salchicha Frankfurt usando harina y grasa de semilla de moringa

Tratamientos ¹	Variables ²						
	pH	L*	a*	b*	Chroma	Hue	CA (ABTS**; ET µM/g)
T1	6.14 ^a	70.98 ^{cb}	9.59 ^c	8.13 ^d	12.63 ^d	40.58 ^c	1.04 ^c
T2	5.90 ^c	71.48 ^b	10.87 ^{ab}	11.63 ^b	15.94 ^b	46.93 ^{ab}	1.12 ^{bc}
T3	5.80 ^d	70.39 ^{bc}	11.17 ^a	12.90 ^a	16.95 ^a	49.80 ^a	1.30 ^c
T4	5.80 ^d	70.21 ^c	10.98 ^{ab}	12.41 ^{ab}	16.58 ^{ab}	48.53 ^a	1.15 ^{abc}
T5	6.01 ^b	76.84 ^a	10.24 ^{bc}	9.95 ^c	14.32 ^c	44.21 ^b	1.27 ^{ab}
EEM	0.01	0.29	0.19	0.24	0.18	0.82	0.04
P-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0004

Nota: ¹ T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. EEM: error estándar de la media.

² pH: potencial de hidrógeno; L*: luminosidad; a*: tendencia al color rojo; b*: tendencia al color amarillo; Chroma: índice de saturación; Hue: ángulo Hue (índice de tono); CA: capacidad antioxidante.

^{a-c} Medias en la misma columna con diferente letra, difieren estadísticamente ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Elaboración propia.

Tabla 5

Análisis de textura de pastas cárnicas cocidas con harina y grasa de semilla de moringa

Tratamientos ¹	Variables ²							
	FC (N)	Dur (N)	Adh (g s)	Elast (mm)	Coeh	Goms (g)	Mast (g mm)	Resist
T1	8.60 ^b	81.46 ^c	-89.57 ^a	0.827 ^b	0.643 ^a	52.19 ^b	43.19 ^b	0.308 ^a
T2	14.06 ^a	138.78 ^a	-70.18 ^a	0.848 ^{ba}	0.540 ^b	74.98 ^a	63.36 ^a	0.224 ^b
T3	14.68 ^a	132.01 ^a	-62.96 ^a	0.867 ^a	0.524 ^b	70.02 ^{ba}	60.90 ^a	0.201 ^b
T4	13.13 ^a	123.11 ^{ba}	-66.99 ^a	0.830 ^b	0.466 ^b	59.63 ^{ba}	49.62 ^{ba}	0.171 ^b
T5	10.59 ^b	103.97 ^{bc}	-84.37 ^a	0.838 ^{ba}	0.640 ^a	66.04 ^{ba}	55.58 ^{ba}	0.283 ^a
EEM	0.56	6.69	11.97	0.008	0.020	4.86	4.22	0.013
P-value	< 0.0001	< 0.0001	0.3536	0.0056	< 0.0001	0.0196	0.0097	< 0.0001

Nota: ¹ T1: PaC control + 100% GD; T2: PaC + 50% GD + 50% HSMcA; T3: PaC + 50% GD + 50% HSMsA; T4: PaC + 0% GD + 50% HSMcA + 50% HSMsA; T5: PaC + 50% GD + 50% ASM. EEM: error estándar de la media.

² FC: fuerza de corte; Dur: dureza; Adh: adhesividad; Elast: elasticidad; Coeh: cohesividad; Goms: gomosis; Mast: masticabilidad; Resist: resistencia.

^{a-c} Medias en la misma columna con diferente letra, difieren estadísticamente ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Estabilidad de las pastas cárnicas no cocidas

La habilidad para mantener la humedad y otros jugos en el producto antes y después del tratamiento térmico es un atributo importante de la salchicha y otros productos cárnicos emulsionados (Tahmasebi, Labbafi, Emam-Djomeh, & Yarmand, 2016). Hughes, Cofrades y Troy (1997) encontraron comportamientos similares a T3 y T4 en PC y %FTE cuando incorporaron 1% de fibra de avena, además de 12 y 30% de grasa en salchicha Frankfurt; esos autores indicaron que la fibra de avena puede compensar parcialmente algunos cambios en salchichas de bajo contenido graso. En el presente estudio con HSMcA y HSMsA presentaron la mayor inestabilidad en las PaC; es decir, la harina de la semilla de moringa no tiene capacidad para ligar agua.

Por otra parte, Lin y Huang (2003) encontraron resultados altos en %Grasa (12.15-12.82) cuando usaron 18% de grasa en la formulación de Frankfurt con goma konjac y gelano, similares a T2 (50% HSMcA) del presente estudio, superados por T3 y T4. Esta posible inestabilidad puede ser atribuida a la reducción del pH en las PaC cuando se usó harina de semilla de moringa con y sin grasa (HSMcA y HSMsA; tabla 3) que afecta las proteínas miofibrilares y disminuye la absorción de agua durante la emulsificación (Lin & Huang, 2003). Ogunsina, Radha y Govardhan Singh (2010) indicaron que la solubilidad mínima de la harina de moringa ocurre en un rango de pH de 4.0 a 9.0 (27.82 y 29.20%) donde mostraron dos puntos isoeléctricos. De modo similar Mune Mune, Bakwo Bassogog, Nyobe y René Minka (2016) encontraron menor capacidad de emulsificación (CE) cuando usaron 2 y 4% de harina de semilla de moringa (HSM) (CE 2%: 3.70 y 4.89%; CE 4%: 13.04 y 8.70%) y mejoraron estabilidad de la emulsión (EE; 2% de HSM: 23.91 y 15.22%; 4% de HSM: 39.67 y 53.84). Esto puede ser atribuido para los resultados obtenidos en T2 a T4, que presentaron los valores más altos de %FTE y %Grasa, indicando que la CE se afecta en un pH cercano a 5.7 (tabla 3).

Los resultados obtenidos por Miklos et al. (2011) cuando emplearon diacilgliceroles de la grasa de cerdo (10, 50 y 100%) indicaron una mejora en la estabilidad de la emulsión, como se obtuvo en el presente estudio para T2 y T5. De acuerdo con estos autores, el FTE consiste de agua y grasa no ligada por la red proteica formada durante el tratamiento térmico, que influye sobre el estado físico de la grasa a 70 °C, el cual causa la fusión de la grasa y desestabiliza las proteínas (Miklos et al., 2011). En este estudio se notó

que T1 resultó más estable seguido de T5, donde se usó 50% ASM; esto indica que el ASM es más estable en condiciones térmicas que la HSMcA y la HSMsA.

Fisicoquímica de las pastas cárnicas no cocidas

Silva-Vazquez et al. (2018) obtuvieron diferencias en pH y color entre los tratamientos cuando evaluaron la sustitución de GD en la formulación de PaC con 15 y 30% de inulina y 7.5% pectina, atribuyendo que la disociación de grupos -COOH y ácidos orgánicos de la pectina causa la reducción de pH y los cambios en color puede deberse a la dilución de la mioglobina en la carne. En este estudio con HSMcA y HSMsA (T2-T4), los grupos funcionales -COO- de las proteínas (22 a 36.7 g/100 g; Saucedo-Pompa et al., 2018) pudieron influenciar en los valores bajos de pH obtenidos en las PaC no cocidas; en contraste con a* para T2 a T4, incrementaron más que T1 y T2. Esto podría deberse a la presencia de componentes fenólicos antioxidantes (medioresinol, quercetina, luteolina y ácido feruloilquinico) que se encuentran en las semillas de la moringa (Saucedo-Pompa et al., 2018), los cuales mejoraron el color rojo (a*) y el tono (Hue) de las PaC. Esto fue corroborado con los resultados obtenidos de capacidad antioxidante en las PaC (tabla 4), donde los tratamientos T2 a T5 presentaron valores altos respecto al grupo control (T1).

En relación con L*, la incorporación de harina de semilla de moringa (con y sin grasa) disminuyó los valores de esta variable; esto es atribuible al incremento de la absorción de las moléculas de agua que disminuyen la reflexión de la luz; sin embargo, el valor alto de L* en T5 podría deberse a la dispersión de la luz causada por la formación de la emulsión cuando el aceite mezcló con la proteína muscular (Zhuang et al., 2016) y esto provocó una mayor reflexión de la luz cuando el color se midió en las PaC no cocidas; por tanto, se obtuvo un valor más alto de L*.

Fisicoquímica de las pastas cárnicas cocidas

En contraste con el pH de las PaC cocidas de T2 a T4, estos resultaron ser más bajos respecto a los resultados obtenidos por Choi et al. (2009; 2010; 2015) cuando evaluaron aceites vegetales (10%) de oliva, maíz, soya, canola y semilla de uva, aceite de semilla de uva (0, 5, 10 y 15%) y 2.0% fibra de arroz en emulsiones cárnicas bajas en grasa. Estos autores atribuyeron sus resultados a la alcalinidad de la fibra de arroz, que contrario a este estudio, la harina de semilla de moringa resulta ser más ácida, lo que pudo provocar una reducción del pH en las PaC cocidas. Asimismo, los resultados en L* y b* son similares a Choi et al. (2009; 2010); pero contrastan con a*, por lo que la

sustitución de grasa en la formulación de salchichas puede afectar L^* , a^* y b^* . Con los resultados de la presente investigación en T2 y T5 puede indicarse que el ASM mejora L^* debido a la dispersión de los glóbulos de grasa en la red proteica. Esto también puede atribuirse a los resultados obtenidos en a^* , b^* , Chroma y Hue que resultaron ser más altos de T2 a T4. Mismos comportamientos se obtuvieron en CA, donde las formulaciones de las PaC cocidas con HSMcA, HSMsA y ASM aumentaron respecto al tratamiento control (T1). Esto demostró que los ingredientes de la semilla de moringa aportan compuestos antioxidantes como lignanos, flavonoides, ácidos fenólicos y sus derivados (Saucedo-Pompa et al., 2018) en las PaC cocidas.

Análisis de la textura de pastas cárnicas cocidas

Al-Juhaimi et al. (2015) encontraron incrementos en Dur, Elast y Coeh al incrementar niveles de harina de semilla de moringa (HSM; 2, 4 y 6%) para reemplazar carne de bovino en la carne para hamburguesa e indicaron que la HSM tiene potencial como ligador. Estos resultados pueden atribuirse a lo indicado por Zhuang et al. (2016); las proteínas solubles en sal, como emulsificantes, son los principales componentes de la interfase proteica de las membranas, estabilizando el sistema emulsión y formando más interacciones proteína-proteína durante el cocinado considerando la fibra incorporada que inmoviliza el agua, por lo que el gel formado presenta mejoras en las propiedades de textura.

Zhuang et al. (2016) obtuvieron incrementos en Dur, Goms y Mast cuando incorporaron 10% aceite sésamo y 3% fibra dietética de azúcar de caña en PaC bajas en grasa. Kim, Setyabrata, Lee, Jones y Kim (2016) obtuvieron incrementos en estas variables cuando evaluaron harina de larvas de gusano no tratada, desgrasada y ácido-hidrolizada para sustituir 10% de grasa en la formulación de emulsiones de salchichas. En este estudio, las HSMcA y HSMsA (T2, T3 y T4) incrementaron los valores de FC y Dur; pero al considerar la estabilidad de la emulsión (tabla 2) de estos tratamientos puede indicarse que las harinas de la semilla de moringa (T2-T4) no mejoraron la solubilidad de las proteínas en presencia de la sal, ni ligar moléculas de agua; lo que causó resistencia al corte y deformación debido a la pérdida de fluidos.

T1 y T5 aumentaron en Cohe y Resist pero disminuyeron en Elast, Goms y Mast; ya que estos tratamientos presentaron el mayor contenido de grasa dorsal (GD) y aceite de semilla moringa (ASM). Esto porque la grasa interviene en la estabilización de las pastas cárnicas, reduce la pérdida por cocción, mejora la capacidad de retención de agua, provee

sabor, jugosidad y dureza (Choi et al., 2009; 2010; 2015); esto ocurre cuando el glóbulo de grasa queda atrapado en la red proteica del producto (Tahmasebi et al., 2016; Youssef & Barbut, 2009) y es sometido al tratamiento térmico, cuya consecuencia es que los glóbulos de grasa quedan fijados debido a la desnaturalización de las proteínas. Asimismo, Herrero, Carmona, Pintado, Jiménez-Colmenero y Ruiz-Capillas (2012) indicaron que las diferencias en la textura de las salchichas Frankfurt son determinadas por las características de cada fase lipídica y su función en la matriz proteica de la carne, ya que la grasa animal y emulsión aceite de oliva en agua determinan las propiedades de textura del producto cárnico cocido. En el presente estudio con ASM (T5) mejoró la fuerza de corte y dureza de las PaC porque los glóbulos de grasa permanecieron en la red proteica del producto.

CONCLUSIONES

La harina de semilla de *Moringa oleifera* con y sin grasa no estabiliza las pastas cárnicas porque presentaron mayor cantidad de fluido total expulsado y grasa expulsada. La grasa de semilla de moringa logra estabilizar las pastas cárnicas porque tiene menos pérdida de fluidos. La harina de semilla de la planta estudiada, tanto con aceite como sin él, mejora el color rojo en las pastas cárnicas no cocidas; pero las harinas combinadas incrementan la luminosidad.

En las pastas cárnicas cocidas la sustitución de grasa dorsal por harinas y aceite de semilla de moringa mejoran el color rojo y la capacidad antioxidante. La textura de las pastas cárnicas cocidas con harina y aceite de semilla de moringa y tuvieron efectos negativos al incrementar la fuerza de corte, dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Estos elementos pueden incorporarse como sustitutos de grasa en la formulación de productos cárnicos.

REFERENCIAS

- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Hawashin, M. D., Alsawmahi, O. N., & Babiker, E. E. (2015). Effects of different levels of *Moringa oleifera* seed flour on quality attributes of beef burgers. *CyTA - Journal of Food*, 14(1), 1-9. doi: 10.1080/19476337.2015.1034784
- Álvarez, D., & Barbut, S. (2013). Effect of inulin, β -Glucan and their mixtures on emulsion stability, color and textural parameters of cooked meat batters. *Meat Science*, 94(3), 320-327. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.02.011
- Anwar, F., & Bhangar, M. I. (2003). Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6558-6563. doi: 10.1021/jf0209894
- Auriema, B. E., Dinalli, V. P., Kato, T., Yamaguchi, M. M., Marchi,

- D. F., & Soares, A. L. (2019). Physical and chemical properties of chicken mortadella formulated with *Moringa oleifera* Lam. seed flour. *Food Science and Technology*, 39(Suppl. 2), 504-509. doi: 10.1590/fst.25018
- Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Kim, H.-W., ... Kim, C.-J. (2009). Characteristics of low-fat meat emulsion systems with pork fat replaced by vegetable oils and rice bran fiber. *Meat Science*, 82(2), 266-271. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.01.019
 - Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Kim, H.-W., ... Kim, C.-J. (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. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.08.048
 - Choi, Y.-S., Kim, H.-W., Hwang, K.-E., Song, D.-H., Jeong, T.-J., Kim, Y.-B., ... Kim, C.-J. (2015). Effects of fat levels and rice bran fiber on the chemical, textural, and sensory properties of frankfurters. *Food Science and Biotechnology*, 24(2), 489-495. doi: 10.1007/s10068-015-0064-5
 - De Souza Paglarini, C., de Figueiredo Furtado, G., Paulo Biachi, J., Silva Vidal, V. A., Martini, S., Soares Forte, M. B., ... Pollonio, M. A. R. (2017). Functional emulsion gels with potential application in meat products. *Journal of Food Engineering*, 222, 29-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.026>
 - González Garza, N. G., Chuc Koyoc, J. A., Torres Castillo, J. A., García Zambrano, E. A., Betancur Ancona, D., Chel Guerrero, L., & Sinagawa García, S. R. (2017). Biofunctional properties of bioactive peptide fractions from protein isolates of moringa seed (*Moringa oleifera*). *Journal of Food Science and Technology*, 54(13), 4268-4276. doi: 10.1007/s13197-017-2898-8
 - Herrero, A. M., Carmona, P., Pintado, T., Jiménez-Colmenero, F., & Ruiz-Capillas, C. (2012). Lipid and protein structure analysis of frankfurters formulated with olive oil-in-water emulsion as animal fat replacer. *Food Chemistry*, 135(1), 133-139. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.04.114
 - Hughes, E., Cofrades, S., & Troy, D. J. (1997). Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Science*, 45(3), 273-281. doi: 10.1016/S0309-1740(96)00109-X
 - Hygreeva, D., Pandey, M. C., & Radhakrishna, K. (2014). Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Science*, 98(1), 47-57. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.04.006
 - Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. (2016). Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38(Part A), 116-123. doi: 10.1016/j.ifset.2016.09.023
 - Lin, K.-W., & Huang, H.-Y. (2003). Konjac/gellan gum mixed gels improve the quality of reduced-fat frankfurters. *Meat Science*, 65(2), 749-755. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00277-2
 - Méndez-Zamora, G., García-Macías, J. A., Santellano-Estrada, E., Chávez-Martínez, A., Durán-Meléndez, L. A., Silva-Vázquez, R., & Quintero-Ramos, A. (2015). Fat reduction in the formulation of frankfurter sausages using inulin and pectin. *Food Science and Technology*, 35(1), 25-31. doi: 10.1590/1678-457X.6417
 - Miklos, R., Xu, X., & Lametsch, R. (2011). Application of pork fat diacylglycerols in meat emulsions. *Meat Science*, 87(3), 202-205. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.10.010
 - Moyo, B., Masika, P. J., & Muchenje, V. (2012). Effect of supplementing crossbred Xhosa lop-eared goat castrates with *Moringa oleifera* leaves on growth performance, carcass and non-carcass characteristics. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4), 801-809. doi: 10.1007/s11250-011-9970-6
 - Mune Mune, M. A., Bakwo Bassogog, C. B., Nyobe, E. C., & René Minka, S. R. (2016). Physicochemical and functional properties of *Moringa oleifera* seed and leaf flour. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1-9. doi: 10.1080/23311932.2016.1220352
 - Ogunsina, B. S., Radha, C., & Govardhan Singh, R. S. (2010). Physicochemical and functional properties of full-fat and defatted *Moringa oleifera* kernel flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(1), 2433-2439. doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02423.x
 - Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. doi: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3
 - Saucedo-Pompa, S., Torres-Castillo, J. A., Castro-López, C., Rojas, R., Sánchez-Alejo, E. J., Ngangyo-Heya, M., & Martínez-Avila, G. C. G. (2018). Moringa plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. *Food Research International*, 111, 438-450. doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.062
 - Silva-Vazquez, R., Flores-Giron, E., Quintero-Ramos, A., Hume, M. E., & Mendez-Zamora, G. (2018). Effect of inulin and pectin on physicochemical characteristics and emulsion stability of meat batters. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 306-310. doi: 10.1080/19476337.2017.1403490
 - Tahmasebi, M., Labbafi, M., Emam-Djomeh, Z., & Yarmand, M. S. (2016). Manufacturing the novel sausages with reduced quantity of meat and fat: The product development, formulation optimization, emulsion stability and textural characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 76-84. doi: 10.1016/j.lwt.2015.12.011
 - Youssef, M. K., & Barbut, S. (2009). Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. *Meat Science*, 82(2), 228-233. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.01.015
 - Zhuang, X., Han, M., Kang, Z.-L., Wang, K., Bai, Y., Xu, X.-L., & Zhou, G.-H. (2016). Effects of the sugarcane dietary fiber and pre-emulsified sesame oil on low-fat meat batter physicochemical property, texture, and microstructure. *Meat Science*, 113, 107-115. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.11.007



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

El impacto de la pandemia por COVID-19 sobre la incidencia delictiva: Evidencia para México y zonas metropolitanas

The impact of the COVID-19 pandemic on crime incidence: Evidence for Mexico and metropolitan areas

Carlos Obed Figuroa-Ortiz*✉, Raúl Vladimir Gómez-Díaz**

Figuroa-Ortiz, C. O., & Gómez-Díaz, R. V. (2021). El impacto de la pandemia por COVID-19 sobre la incidencia delictiva: Evidencia para México y zonas metropolitanas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84). e3258, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843258>

RESUMEN

El presente trabajo evalúa las repercusiones de la pandemia por COVID-19 sobre las incidencias de distintos tipos de delitos. De acuerdo con la teoría, se parte del supuesto de que las medidas implementadas para evitar el aumento en las tasas de contagio, como la reducción en la concentración de personas y la baja movilidad peatonal condujeron a una menor tasa delictiva. Se analizan los datos mensuales reportados al SENSP para el periodo 2015–2020; a saber, incidencia delictiva total, lesiones dolosas totales, con arma de fuego y con arma blanca; así como robos a casa habitación y a transeúntes, ambos con y sin violencia tanto a nivel nacional como para nueve zonas metropolitanas. Se utiliza el filtro

Palabras clave: COVID; series de tiempo; incidencia delictiva.

Keywords: COVID; time series; crime incidence.

Recibido: 1 de junio de 2021 Aceptado: 18 de octubre de 2021

* Cátedras CONACyT. Métodos Cuantitativos, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara. Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C. P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. Correo electrónico: carlosobed.figuroa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1351-0232>

** Métodos Cuantitativos, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara. Periférico Norte N° 799, Núcleo Universitario Los Belenes, C. P. 45100, Zapopan, Jalisco, México. Correo electrónico: raul.gomez8220@alumnos.udg.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0862-2106>

✉ Autor para correspondencia

Hodrick-Prescott para determinar las variaciones en la tendencia, evidenciando un claro cambio durante el periodo de la Jornada Nacional de Sana Distancia. El resultado obtenido valida la hipótesis que relaciona la movilidad con tasas de delincuencia.

ABSTRACT

This work evaluates the impact caused by the COVID-19 pandemic on the frequency of occurrence of different types of crimes. According to the theory, it is assumed that the measures implemented to avoid the increase in contagion rates, such as the reduction in the concentration of people and the low pedestrian mobility led to less crime rate. Monthly data reported to the SENSP for the period 2015-2020 are analyzed; namely, total criminal incidence, total malicious injuries, with firearms and with knives; as well as robberies to house rooms and passers-by, both with and without violence, both at the national level as for 9 metropolitan areas. The Hodrick-Prescott filter is used to decompose the previously seasonally adjusted original series and determine the variations in the trend, showing a clear change during the Healthy Distance National Journey's period. The result obtained validates the hypothesis that relates mobility to crime rates.

INTRODUCCIÓN

La actual crisis sanitaria ocasionada por COVID-19 ha generado en México un cambio en actividades económicas y sociales. Las restricciones a la movilidad en conjunto con la implementación de un semáforo con diferentes niveles de actividad comercial

permitida y la clasificación en sectores básicos y no básicos ha dado como resultado una serie de implicaciones negativas en las variables económicas del país, dado que se han ocasionado descensos en los ingresos de las personas a consecuencia de despidos masivos por limitantes en la producción o por el cierre parcial, aunque en algunos casos definitivo, de diferentes tipos de negocios.

A nivel individual se ha dado un aumento en las medidas de aislamiento social, lo que aunado a las medidas mencionadas anteriormente ha intensificado la reducción de la movilidad, ya que los despidos masivos ocasionaron que muchas personas no salieran de sus hogares. De igual forma, esto se reflejó en los negocios que se mantuvieron abiertos durante las distintas etapas de restricciones a las actividades comerciales, debido a que tuvieron que cumplir con una serie de medidas, como evitar aglomeraciones de personas y la sanitización, lo cual redujo más la movilidad a consecuencia de la disminución en el flujo de clientes. Lo anteriormente descrito lleva a repensar la forma en que se correlacionan las tasas de robos a transeúntes y el tránsito de personas en la vía pública, el robo a casa y su relación con el confinamiento social, así como las lesiones dolosas y el distanciamiento social. El hilo conductor son las variaciones en la movilidad y su efecto en los cambios en la incidencia delictiva en general y en los hechos delictivos antes mencionados.

Como se mencionó anteriormente, menos gente en la calle puede haber significado menos objetivos para los robos callejeros, pero también cuidado por parte de los disuasores (menor alumbrado público, menor patrullaje, etc.). Una mayor cantidad de negocios cerrados implicaría un crecimiento en la posibilidad de robo dada la baja en la protección que se puede observar; mientras que el distanciamiento social y el confinamiento en casa puede significar una disminución en los delitos a los hogares, dado que actuaría como disuasor. El rápido desarrollo y la complejidad de los cambios en gran parte de la vida diaria hacen que sea difícil predecir la dirección o la magnitud de cualquier cambio en la delincuencia.

El enfoque de actividades rutinarias (Cohen & Felson, 1979; Stickle & Felson, 2020) se puede utilizar para comprender las relaciones entre el crimen y las actividades diarias de las personas. Para que ocurra un delito, los delincuentes deben tener a la vista un objetivo adecuado ante la ausencia de agentes disuasores (seguridad pública, alarmas, cámaras de vigilancia) que dificulten la comisión del mismo (Di Tella & Schargrodsky, 2004); un ejemplo puede ser el robo a transeúntes que requiere, además de

la ausencia de la autoridad correspondiente, que los ciudadanos en el lugar no intervengan y que la infraestructura pública sea deficiente (Vilalta, 2017).

En esta investigación se analizaron los efectos de la reducción en la movilidad mediante series de tiempo. Las unidades de análisis son nueve zonas metropolitanas, las cuales cumplen con tener la mayor cantidad de datos completos necesarios para el análisis a efectuar en el periodo determinado sin cambios significativos en la metodología que limiten la aplicación de la metodología diseñada; es importante también considerar que estas zonas son las de mayor tamaño a nivel nacional y, por ende, su representatividad es la que mejor se adapta; por último, que tuvieron una homogeneidad en las observaciones para el periodo determinado. Por tanto, las zonas serán Acapulco, Aguascalientes, Cancún, Ciudad Juárez, Guadalajara, Mérida, Monterrey, Tijuana, Valle de México y el agregado nacional. Los delitos considerados fueron lesiones dolosas, total y por arma blanca y arma de fuego, robo a transeúnte con y sin violencia y robo a casas con y sin violencia, mediante la descomposición de los datos en tendencia, ciclo, estacionalidad e irregularidad en los datos mensuales desde 2015 hasta 2020 para poder comparar los datos de años previos a la pandemia con los generados recientemente y teniendo en cuenta los cambios en la movilidad.

La finalidad de realizar esto es determinar si en los periodos en los que comenzaron las medidas de aislamiento los índices delictivos tuvieron un descenso y en los meses posteriores al relajamiento de la Jornada Nacional de Sana Distancia nacional; es decir, la nueva normalidad, se regresó a los niveles anteriormente mostrados. La pregunta que se trató de responder es ¿Cuál fue el impacto, ya sea directo o indirecto, de la reducción en la movilidad por las medidas mencionadas sobre la incidencia delictiva durante el periodo de confinamiento? Así como determinar el tiempo en que se llevó a cabo el regreso a los niveles originales en los datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este informe utiliza datos mensuales a nivel nacional y de nueve zonas metropolitanas: Acapulco, Aguascalientes, Cancún, Ciudad Juárez, Guadalajara, Mérida, Monterrey, Tijuana y Valle de México. Estas metrópolis fueron elegidas porque todas conforman un amplio reflejo de la realidad nacional al estar en distintas zonas geográficas, con distintos enfoques económicos y realidades sociales diferentes. Esto permite monitorear las tendencias delictivas emergentes que quedarían ocultas en los boletines anuales de estadísticas delictivas producidos por muchas agencias. Los datos abiertos sobre delitos tienen algunas limitaciones, pero se han utilizado con éxito en investigaciones anteriores sobre tendencias delictivas (Ashby, 2020; Campedelli, Aziani, & Favarin, 2020; Gerrell, Kardell, & Kindgren, 2020; Halford, Dixon, Farrell, Malleson, & Tilley, 2020; Mohler et al., 2020; Payne, Morgan, & Piquero, 2020; Stickle & Felson, 2020; Travaini, Caruso, & Merzagora, 2020). En el caso de México, cabe destacar que estos datos corresponden a la presunta ocurrencia de delitos registrados en las averiguaciones previas iniciadas o carpetas de investigación y no a los reportes policíacos, como en los análisis previamente mencionados.

Las complejas interacciones entre los objetivos, ya sea patrimoniales o personales, delincuentes y agentes disuasores, significa que es probable que la pandemia de COVID-19 tenga diferentes relaciones con los tipos de delitos. Este estudio se centró en los tipos de delitos que se sabe son relativamente propensos a ser denunciados a la policía y relativamente no se ven afectados por las variaciones en las prácticas de registro policial. Se analiza la incidencia delictiva total para una mejor comprensión del comportamiento general de la delincuencia y, adicionalmente se utilizan:

1. Lesiones dolosas, tanto el total como por arma blanca y arma de fuego
2. Robo a transeúnte con y sin violencia
3. Robos a casa con y sin violencia

buscando capturar de una forma desagregada, las variaciones en las distintas categorías de hechos delictivos que enfrenta la ciudadanía en su entorno.

Comprender las relaciones entre COVID-19 y el crimen requiere una estimación de cuánto crimen se esperaría que ocurriera en ausencia de la pandemia (Payne & Morgan, 2020; Payne et al., 2020).

Esto es difícil porque muchos factores influyen en la cantidad de delitos que se producen. Sin embargo, estas comparaciones corren el riesgo de sacar conclusiones falsas porque ignoran las tendencias a largo plazo (que afectan las comparaciones interanuales) y las variaciones estacionales (que complican las comparaciones a lo largo del año). Por este motivo se realiza un análisis de series de tiempo en el cual se debe tener en cuenta que cada serie puede ser descompuesta en cuatro componentes: tendencia, ciclo, estacionalidad e irregularidad.

Todas ellas consideradas determinísticas a excepción del componente irregular que se considera un componente estocástico, donde la tendencia es entendida como el componente de la serie que representa movimientos de larga duración; mientras que el ciclo se asocia a las oscilaciones de corto plazo provocadas por el ajuste hacia la tendencia. La estacionalidad consiste en fluctuaciones de carácter sistemático que presentan los datos a lo largo del tiempo.

El primer paso es desestacionalizar la serie de tiempo utilizando el procedimiento automático Census X-13; mientras que para descomponer los datos en tendencia y ciclo se utiliza el filtro de Hodrick- Prescott, siendo este filtro el más extendido en la literatura. El filtro de Hodrick y Prescott (HP) surge para estimar la tendencia, i.e. la curva suave que indica el patrón de largo plazo de una serie de tiempo y el ciclo como diferencia entre serie (desestacionalizada) y tendencia. El filtro trabaja con la serie desestacionalizada y aplicada con logaritmos para disminuir la variabilidad de la misma. De tal modo que:

$$Y_t = T_t + C_t \text{ con } t = 1, 2, \dots, T$$

Al aplicar este filtro se extrae una serie suavizada (Y_{tend}) de la serie original (Y_t). El filtro se basa en minimizar la varianza de la diferencia entre la serie original y la suavizada, penalizando la aceleración (segunda diferencia) de la serie suavizada con el parámetro lambda ($\lambda > 0$). Formalmente, la serie suavizada se obtiene como resultado de:

$$\text{Min}_{Y_t^{tend}} \sum_{t=1}^T (Y_t - Y_t^{tend})^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(Y_{t+1}^{tend} - Y_t^{tend}) - (Y_t^{tend} - Y_{t-1}^{tend})]^2$$

Bajo el supuesto de que la serie original tiene las componentes de tendencia y ciclo, la serie suavizada (Y_{tend}) es una estimación de la tendencia y la diferencia con la original ($Y_t - Y_{tend}$) es una

estimación de la componente cíclica. Es un número predeterminado, que es el parámetro de suavizado, con la función principal de controlar las segundas diferencias de la componente permanente. Cuanto mayor sea λ más alisada será la componente de tendencia estimada. De este modo, es posible extraer las tendencias de incidencia delictiva, así como los tipos de delitos para determinar el impacto que la pandemia tiene sobre su trayectoria, así como su nueva tendencia, dado el cambio en los patrones.

RESULTADOS

Antes de considerar los patrones en los tipos de delitos se pueden identificar características generales entre los mismos. La primera es que comparar los datos de incidencia delictiva con base en un modelo de pronóstico supone que la frecuencia del crimen (en ausencia del coronavirus) habría seguido siendo determinada por las mismas fuerzas que en años anteriores. Si bien esto será cierto en muchos casos, es probable que para algunos tipos de delitos en algunas ciudades, otros factores hagan que la frecuencia de delitos en 2020 difiera de lo que se podría haber esperado en función de la frecuencia de delitos en años anteriores.

La segunda característica general a destacar es que no existe una relación aparente entre COVID-19 y crimen de ningún tipo durante el primer trimestre de 2020 hasta el inicio de la Jornada Nacional de Sana Distancia (23 de marzo de 2020) y los posibles efectos emergen más tarde. Por tanto, los futuros investigadores deben asegurarse de que sus métodos analíticos no combinen datos de antes y después de principios de marzo, lo que podría enmascarar cualquier efecto.

El tercer hallazgo general de las cifras que se presentan a continuación es que ningún tipo de delito cambió de manera uniforme en todas las ciudades estudiadas. Esto tampoco debería sorprender, ya que se sabe que la delincuencia depende en gran medida del contexto y los contextos de las diferentes ciudades varían considerablemente. Es probable que la comprensión del contexto que subyace a las diferentes relaciones entre el coronavirus y el crimen sea una cuestión importante para los futuros investigadores en esta área. En todas las figuras que se presentan los datos desestacionalizados (línea azul), su tendencia total (rojo), la tendencia que tenían los datos hasta 2019 (verde), así como una línea punteada en el mes de inicio de la Jornada Nacional

de Sana Distancia (marzo de 2020). En todos los casos el cuadrante IV contiene los datos agregados a nivel nacional.

Incidencia delictiva total

A continuación, se detallan las zonas metropolitanas que aportaron más información al análisis de las tendencias, si bien se desarrollaron los gráficos para el resto, solamente se abordan las más destacadas. La figura 1 muestra el comportamiento de la incidencia delictiva para el periodo de análisis. A nivel nacional claramente se nota la caída de 30% entre 2020m3 y 2020m4, lo que coincide con el inicio del confinamiento, regresando para el 2020m10 al nivel previo a la caída. La caída en los meses siguientes al inicio del confinamiento está presente en todas las zonas metropolitanas, aunque con distintas profundidades y con una gran similitud con la ZMVM. Asimismo, un aspecto importante a destacar es el cambio en las tendencias de largo plazo como consecuencia de la pandemia. La tendencia nacional se ve claramente modificada de ir al alza al verse arrastrada a la baja por la caída en la incidencia, esto se repite en todos los casos (un ejemplo son los casos de Cd. Juárez y Tijuana, cuadrante II y III) con la excepción de Monterrey (cuadrante I), donde la tendencia con los datos de la pandemia va al alza ante el rebote que se da, lleva datos a niveles superiores al preconfinamiento para octubre de 2020.

Lesiones dolosas

La figura 2 muestra que a nivel nacional las lesiones dolosas se comportan de manera similar a la incidencia delictiva total con una caída de 30% y recuperación de 25% para el 2020m10. Acapulco, Mérida, Monterrey (cuadrante II) y Tijuana parecen no tener modificaciones en sus tendencias pese a los cambios en el comportamiento por el confinamiento. Aguascalientes, Cancún (cuadrante I) y Cd. Juárez muestran cómo sus tendencias se aplanan tras ser crecientes; mientras que los datos de Guadalajara (cuadrante III) muestran cómo al igual que en Aguascalientes el rebote es prácticamente inexistente tras el fin de la Jornada Nacional de Sana Distancia.

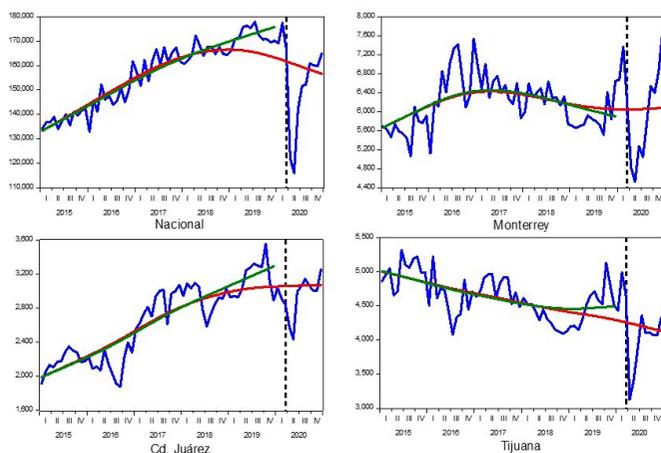


Figura 1. Serie de incidencia delictiva nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

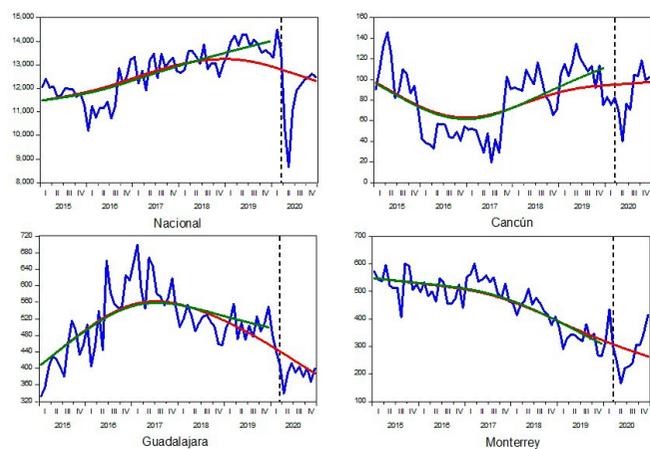


Figura 2. Serie de lesiones dolosas nacionales de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

Las lesiones dolosas dentro de la clasificación del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SENSP) tienen dos grandes divisiones, a saber; por arma blanca y por arma de fuego. En el caso de las lesiones por arma blanca (figura 3), solo a nivel nacional y en el Valle de México, siendo estas bastante similares, puede observarse una caída pronunciada con su posterior rebote en el confinamiento, dado que en el resto de las observaciones el comportamiento no afecta la tendencia de largo plazo al tener un comportamiento aleatorio a lo largo del tiempo. Guadalajara (cuadrante I) presenta un comportamiento sin tendencia definida, mientras que Monterrey (II) presenta un ligero incremento en los datos. Mérida (III)

muestra una caída a lo largo del periodo con apenas variación en esta tendencia.

Las lesiones por arma de fuego (figura 4) no tienen relación con el comportamiento de las lesiones dolosas en general, si bien la tendencia hasta 2019 era hacia un crecimiento ligero, con excepción de Cd. Juárez y Monterrey (cuadrante II) el resto de las zonas muestran un comportamiento a la baja, sin grandes rebotes y tendiendo a estabilizarse en un nivel menor a la inicial, como se muestra en el caso de Cancún y Guadalajara (I y III).

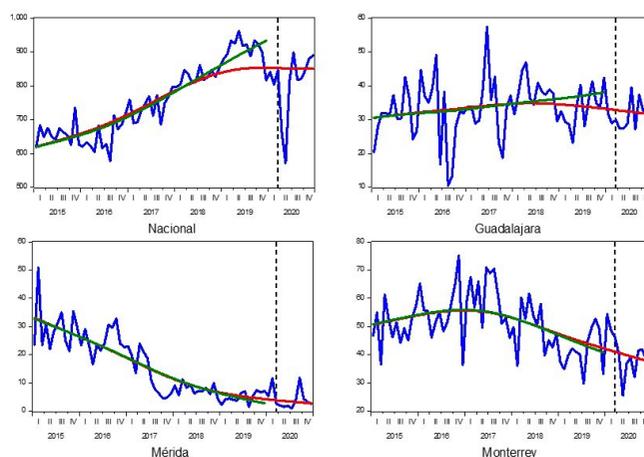


Figura 3. Serie de lesiones de arma blanca nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

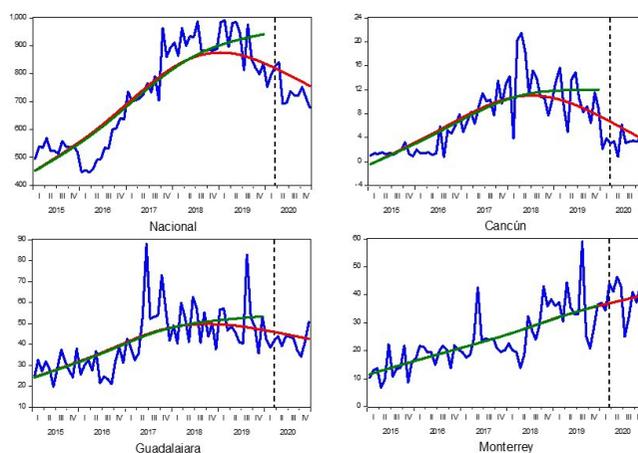


Figura 4. Serie de Lesiones por arma de fuego nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

Robo a casa habitación

Este delito, de acuerdo con el enfoque de actividades de rutina, implicaría que ante la jornada de sana distancia y el confinamiento voluntario para quedarse en casa significaría que es más probable que las personas estén en casa y, por tanto, puedan actuar como guardianes de su propiedad. De esta forma se puede dividir el robo a casa habitación en robo con y sin violencia. La figura 5 muestra la frecuencia de robos residenciales con violencia, donde a nivel nacional puede observarse una caída alrededor de 2020m4, que se recupera para 2020m7, además de modificar la tendencia a la baja dada la caída en general de este tipo de delito. En las zonas metropolitanas parece no existir relación alguna entre la pandemia y este delito, lo cual sería consistente con la teoría. Para mostrar estos comportamientos se presentan los resultados para Guadalajara, Monterrey y Tijuana (cuadrantes I, II y III).

Los datos de robo a casa habitación que se muestran en la figura 6 corresponden a los que se realizaron sin violencia. Aquí conforme a la teoría se ve una clara disminución, dado que ahora al tener a los propietarios en casa los delincuentes pueden ser disuadidos. Entre 2020m2 y 2020m4 la caída fue de alrededor de 37%, quedando el rebote en 2020m10, con 10% menos que el nivel inicial. Cancún (cuadrante I) muestra un claro cambio en la tendencia, si bien la variación en este tipo de hechos delictivos por la pandemia es mínima. Cd. Juárez (cuadrante II) igualmente presenta un cambio en la tendencia, aunque con una caída de 40% entre 2020m2 y 2020m5. Finalmente, en el caso de Tijuana parece no haber tenido efecto alguno la pandemia.

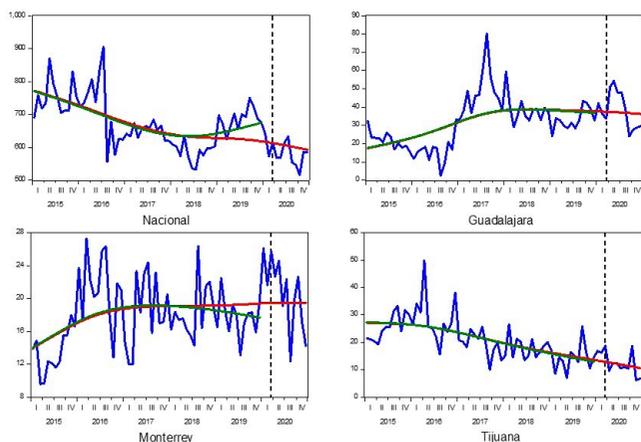


Figura 5. Serie de robos residenciales con violencia nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

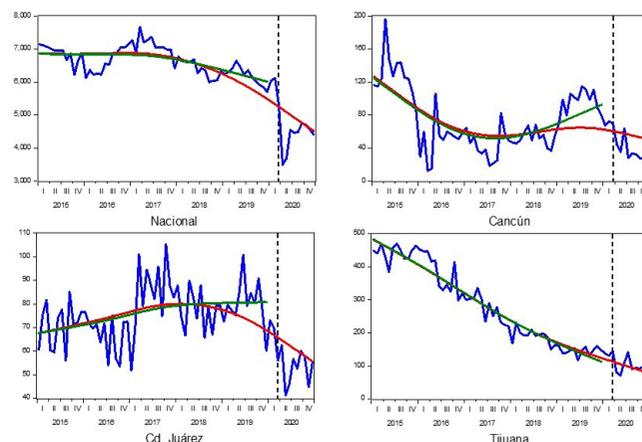


Figura 6. Serie de robos residenciales sin violencia nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

Robo a transeúntes

El principal impulsor del robo a transeúntes es la movilidad; es decir, la disponibilidad de individuos proclives a ser robados. Además de la reducción de personas fuera de sus hogares, es posible que la distribución de transeúntes en el espacio haya cambiado durante la pandemia, por ejemplo, al haber menos lugares de esparcimiento.

La figura 7 muestra los datos del robo a transeúntes con violencia. Nuevamente a nivel nacional la caída es de 35% entre 2020m3 y 2020m4 con un regreso a los niveles iniciales para 2020m10; además de que la tendencia de largo plazo claramente cambia a la baja tras los datos de la pandemia. Esto se repite con las zonas metropolitanas (Tijuana y Monterrey en los cuadrantes II y III), excepto para Cancún (cuadrante I), donde la tendencia creciente desde 2018 no se revierte por la caída en el periodo del confinamiento; a pesar de que para febrero de 2020 parece haber una eliminación de este hecho delictivo, quizá debido a la caída del turismo a nivel mundial.

Para el robo a transeúntes sin violencia (figura 8) a nivel nacional la caída es de 48% en el periodo de inicio del confinamiento, aunque regresó al nivel inicial en octubre. Cancún muestra una caída similar; sin embargo, para 2020m6 el rebote está 50% encima del nivel inicial. Aguascalientes y Guadalajara tras la caída muestran una estabilización para el segundo semestre con una tendencia decreciente más marcada. Al igual que en el caso anterior, Cancún tiene su caída un mes antes de las medidas de confinamiento y su tendencia se mantiene al alza.

Para el resto de las zonas se muestra una tendencia decreciente, donde para Tijuana la caída es de 60%; mientras Monterrey, tras la caída de 30% para 2020m3, hacia 2020m1 presentó rebote 30% superior al nivel inicial.

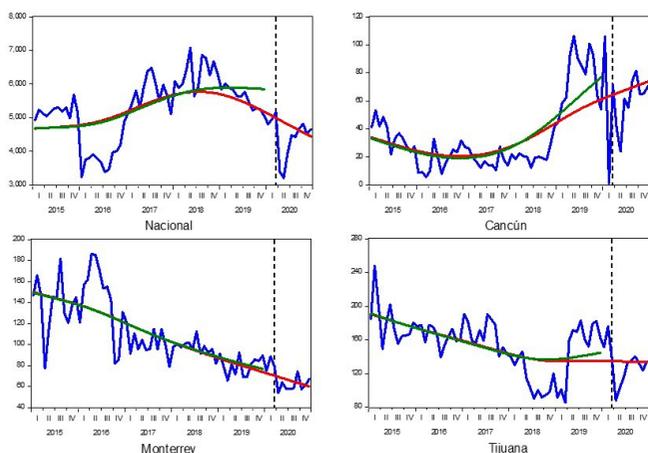


Figura 7. Serie de robos a transeúntes con violencia nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

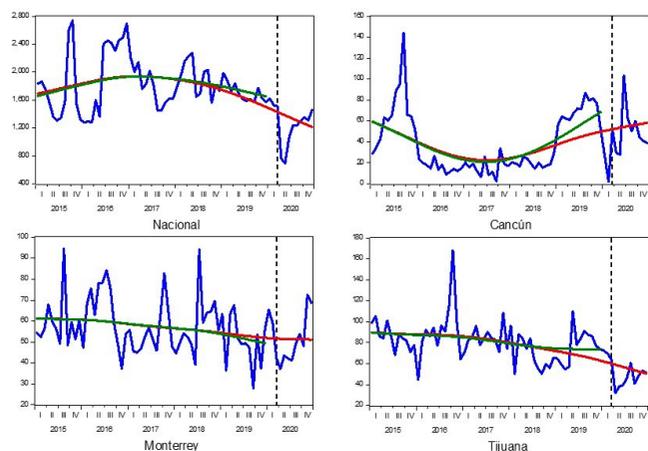


Figura 8. Serie de robos a transeúntes sin violencia nacional de 2015 a 2020. Elaboración propia con datos del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2021).

DISCUSIÓN

Este trabajo contribuye de manera empírica mediante la presentación de un análisis de series de tiempo que permite descomponer los datos para entender el impacto de la pandemia sobre la incidencia delictiva en general y sobre los distintos tipos de lesiones dolosas, robo a casa habitación y a

transeúnte, en particular. Lo anterior se realiza con el propósito de servir como base para la determinación del impacto de la pandemia por COVID-19 sobre las tendencias del crimen ante cambios en las actividades de las víctimas. Los resultados obtenidos son relevantes, dado que muestran que los impactos son diferenciados en las zonas metropolitanas, tanto en su variación inicial como en el tiempo en el cual se regresa a los niveles previos al inicio de la Jornada Nacional de Sana Distancia. Asimismo, se muestran las posibles modificaciones o bien tendencias estables dependiendo del tipo de hecho delictivo que se analice.

Para la incidencia delictiva total es importante determinar qué factores influyen en los cambios en las tendencias. Si bien el agregado nacional muestra un cambio hacia la baja, lo que se repite de forma consistente en la mayoría de las zonas metropolitanas, se debe tener en mente el caso de Monterrey, en donde la tendencia cambió al alza con un rebote más allá de los niveles iniciales hacia fin de año tras una caída de 40%. El caso contrario se da en Acapulco y Mérida, donde si bien tuvieron una caída de 50% en los dos meses posteriores al confinamiento, la tendencia a la baja se mantuvo, haciendo casi imperceptible el cambio en la tendencia exhibida previamente. Cuando se analizan únicamente las lesiones dolosas, este tipo de hecho delictivo comprende aproximadamente 8% del total de las denuncias. De esta forma, en términos generales, las lesiones dolosas se comportan de una forma similar a la incidencia total para las distintas zonas metropolitanas en lo que respecta a sus tendencias previas y durante la pandemia. Sin embargo, el caso de Tijuana es distinto al observarse que la tendencia para las lesiones dolosas no se ve afectada por la pandemia, aun cuando experimenta una caída de 50% en los meses postconfinamiento y el rebote se mantiene 25% por debajo de los niveles iniciales; contrario al caso de su incidencia total, donde se observa una caída en la tendencia, si bien el rebote es similar a las lesiones dolosas.

Si se analizan los componentes de lesiones dolosas por arma blanca y de fuego, representan entre 5 y 7% del total de las lesiones dolosas totales a nivel nacional cada una; sin embargo, se comportan de manera muy diferente. Las lesiones por arma blanca muestran tendencias cercanas a las lesiones totales a nivel nacional, pero a nivel zona metropolitana esto no sucede. Con excepción de Guadalajara, donde se tiene un claro cambio de tendencia, en el resto de las observaciones la pandemia parece no afectar de ninguna manera la tendencia de este tipo de lesiones.

Para el caso de arma de fuego, a nivel nacional entre 2015 y 2019 se duplicaron este tipo de hechos; mientras que las lesiones dolosas totales crecieron 35%. Los datos nacionales muestran descenso de 20% por el confinamiento, lo que modifica sensiblemente su tendencia sin tener un rebote considerable. Respecto a las zonas metropolitanas se tienen cambios a la baja en todas las observaciones; excepto para Monterrey, donde no hubo caída en el mes siguiente al confinamiento y su tendencia al alza no se ve afectada por la pandemia, lo cual es contrario a su tendencia a la baja en las lesiones totales. De la misma forma, Cd. Juárez muestra tendencia al alza que no se afecta por la pandemia pese a tener una caída de 70% en los meses posteriores y un rebote de 35%, lo contrario a la tendencia del agregado de las lesiones dolosas.

Para el robo a casa habitación, los datos sin violencia a nivel nacional caen 20% entre 2015 y 2019, mientras en el hecho con violencia se mantiene sin variación para el mismo período; asimismo, en conjunto el robo a casa habitación pasó de ser de 7% en 2015 a 4% hacia el final de 2019. Es importante resaltar que en el robo a casa habitación sin violencia en todas las zonas metropolitanas se tenía una tendencia prepandemia a la baja, lo que se confirma en los datos de 2020, donde únicamente Ciudad Juárez tiene una tendencia superior a la observada en los años previos; sin embargo, sólo implica una disminución en la pendiente de la tendencia. Para el caso del uso de la violencia, en la mayoría de los casos se tiene una tendencia similar a la de prepandemia o se exhibe un ligero descenso, donde únicamente Monterrey se comporta de manera distinta al pasar de una tendencia a la baja a tener una tendencia estable con los datos de la pandemia, dado que no se puede notar cambio alguno en los meses inmediatos al confinamiento y sí un alto nivel de volatilidad en los datos.

Finalmente, se tienen los datos de robo a transeúntes, que en conjunto representan 5% de la incidencia total para 2015 y 4% para 2020, con una caída de 15% en el caso sin violencia; mientras que el robo a transeúnte con violencia tiene los mismos valores para el inicio de 2015 y el final de 2019. La relación entre el caso con violencia es de 3 a 1 respecto al no violento. Ambos tipos tienen tendencia a la baja cuando se incluyen datos del año 2020; excepto para Cancún, donde si bien se reduce la tendencia previa, ésta permanece creciente hacia el final del período, esto teniendo en cuenta que la caída en los datos se da entre enero y febrero de 2020; es decir, previo al

confinamiento nacional, lo que podría deberse a las características turísticas de esta zona metropolitana.

CONCLUSIONES

Este trabajo permite generar una visión tanto nacional como de algunas zonas metropolitanas del país, mismas que presentan distintas características respecto a sus datos sobre la incidencia delictiva agregada, como a los distintos tipos de delitos que se desagregaron buscando entender el comportamiento de los hechos delictivos, antes y durante la pandemia por COVID-19. Al utilizar el análisis de series de tiempo se puede observar claramente en qué tipo de delito y en qué zona metropolitana en específico se tuvo afectación, ya sea positiva o negativa por el confinamiento que se dio ante la Jornada Nacional de Sana Distancia en marzo de 2020.

Los resultados muestran que la pandemia ha afectado de forma desigual a las zonas metropolitanas, con énfasis en el caso de Cancún, Cd. Juárez y Tijuana, donde una tiene un carácter turístico basado en el extranjero y las otras una relación estrecha con EE. UU. al ser cruces fronterizos de personas y mercancía. Asimismo, el Valle de México por el tamaño de población suele ir de la mano de los resultados nacionales.

Para la incidencia delictiva total como hechos delictivos descritos en particular sería importante determinar qué factores influyen en los cambios en las tendencias. Si bien, de acuerdo con la teoría, la pandemia implica al inicio un cambio en el número de hechos delictivos denunciados; un punto que debería analizarse a profundidad es la velocidad de retorno a los datos iniciales previos a la Jornada Nacional de Sana Distancia. Factores específicos de cada zona metropolitana llevaron a una mayor o menor caída en los meses posteriores al inicio del confinamiento.

REFERENCIAS

- Ashby, M. P. J. (2020). Initial evidence on the relationship between the coronavirus pandemic and crime in the United States. *Crime Science*, 9(1). doi: 10.1186/s40163-020-00117-6
- Campedelli, G. M., Aziani, A., & Favarin, S. (2020). Exploring the effects of COVID-19 containment policies on crime: An empirical analysis of the short-term aftermath in Los Angeles. arXiv. doi: 10.48550/arXiv.2003.11021
- Cohen, L. E., & Felson, M. (1979). Social change and crime rate trends: A routine activity approach. En M. A. Andresen, P. J. Brantingham, & J. B. Kinney (Eds.), *Classics in Environmental Criminology* (pp. 588-608). FL, US: Routledge. doi: 10.4324/9781439817803-12
- Di Tella, R., & Schargrodsky, E. (2004). Do police reduce crime? Estimates using the allocation of police forces after a terrorist attack. *American Economic Review*, 94(1), 115-133. doi: 10.1257/000282804322970733
- Gerrell, M., Kardell, J., & Kindgren, J. (2020). Minor covid-19 association with crime in Sweden. *Crime Science*, 9(1). doi: 10.1186/s40163-020-00128-3
- Halford, E., Dixon, A., Farrell, G., Malleson, N., & Tilley, N. (2020). Crime and coronavirus: Social distancing, lockdown, and the mobility elasticity of crime. *Crime Science*, 9(1). doi: 10.1186/s40163-020-00121-w
- Mohler, G., Bertozzi, A. L., Carter, J., Short, M. B., Sledge, D., Tita, G. E., ... Brantingham, P. J. (2020). Impact of social distancing during COVID-19 pandemic on crime in Los Angeles and Indianapolis. *Journal of Criminal Justice*, 68. doi: 10.1016/j.jcrimjus.2020.101692
- Payne, J. L., & Morgan, A. (2020). COVID-19 and violent crime: A comparison of recorded offence rates and dynamic forecasts (ARIMA) for March 2020 in Queensland, Australia. SocArXiv g4kh7. doi: 10.31219/osf.io/g4kh7
- Payne, J. L., Morgan, A., & Piquero, A. R. (2020). COVID-19 and social distancing measures in Queensland, Australia, are associated with short-term decreases in recorded violent crime. *Journal of Experimental Criminology*, 18, 89-113. doi: 10.1007/s11292-020-09441-y
- Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. (2021). Datos abiertos de incidencia delictiva. Recuperado de <https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/datos-abiertos-de-incidencia-delictiva>
- Stickle, B., & Felson, M. (2020). Crime rates in a pandemic: The largest criminological experiment in history. *American Journal of Criminal Justice*, 45, 525-536. doi: 10.1007/s12103-020-09546-0
- Travaini, G., Caruso, P., & Merzagora, I. (2020). Crime in Italy at the time of the pandemic. *Acta Biomedica Atenei Parmensis*, 91(2), 199-203. doi: 10.23750/abm.v91i2.9596
- Vilalta, C. (2017). Geography of crime. En G. Bruinsma, & D. Weisburd (Eds.), *Encyclopedia of criminology and criminal justice*. NY, US: Springer. doi: 10.1007/978-1-4614-5690-2_100278



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Funcionamiento familiar y consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería

Family functioning and alcohol consumption in Nursing students

Nadia Velázquez-Hernández*, Rocío Castillo-Díaz**, Fani Villa-Rivas**,
Atzyri Marleny Galván-Soto**, Vianey Alejandra Ramírez-Aguirre**

Velázquez-Hernández, N., Castillo-Díaz, R., Villa-Rivas, F., Galván-Soto, A. M., &
Ramírez-Aguirre, V. A. (2021). Funcionamiento familiar y consumo de alcohol en
estudiantes de Enfermería. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma
de Aguascalientes*, 29(84), e3089. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843089>

RESUMEN

El consumo de alcohol es un grave problema de salud pública a nivel internacional, que afecta en mayor medida a los jóvenes, por las consecuencias biopsicosociales que provoca en los consumidores y su contexto. Es relevante determinar la relación que existe entre el funcionamiento familiar con el tipo de consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería. El diseño fue cuantitativo, transversal, correlacional, la muestra fue de 463 estudiantes. Los estudiantes informaron que perciben un funcionamiento familiar normal 80.0%. Respecto al consumo de alcohol 59.0% presentó consumo de bajo riesgo y 22.0% consumo de riesgo, 19.0% presentó consumo perjudicial. Se encontró una relación negativa significativa entre

Palabras clave: familia; alcohol; relaciones familiares; factores de riesgo; adulto joven; estudiantes de Enfermería.
Keywords: family; alcohol; family relations; risk factors; young adult; Nursing students.

Recibido: 6 de marzo de 2021 Aceptado: 1 de octubre de 2021

* Instituto de Investigación Científica, Universidad Juárez del Estado de Durango. Avenida Universidad esq. con Volantín, Zona Centro, C. P. 34000, Durango, Dgo., México. Correo electrónico: nadia.velazquez@ujed.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0976-7086>

** Facultad de Enfermería y Obstetricia, Universidad Juárez del Estado de Durango. De Las Rosas #1302, El Ciprés, C. P. 34217, Durango, Dgo., México. Correo electrónico: rocio.castillo@ujed.mx; fani@ujed.mx; atzyrii_mar@hotmail.com; vianey_dm@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4789-828X>; <https://orcid.org/0000-0001-7222-5151>; <https://orcid.org/0000-0002-7784-5285>; <https://orcid.org/0000-0003-4388-9068>

✉ Autor para correspondencia

el funcionamiento familiar y el consumo de alcohol ($r^2 = -.117$, $p = .012$). Se concluye que los estudiantes con mayor consumo de alcohol percibieron un funcionamiento familiar menor.

ABSTRACT

Alcohol consumption is a serious public health problem worldwide, which affects young people to a greater extent, due to the biopsychosocial consequences it causes in consumers and their context. It is relevant to determine the relationship between family functioning and the type of alcohol consumption in nursing students. The design was quantitative, cross-sectional, correlational, the sample was 463 students. The students reported that they perceive a normal family functioning 80.0%. Regarding alcohol consumption, 59.0% presented low risk consumption and 22.0% risk consumption, 19.0% presented harmful consumption. A significant negative relationship was found between family functioning and alcohol consumption ($r^2 = -.117$, $p = .012$). It is concluded that students with higher risk consumption of alcohol perceived lower family functioning.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que el consumo de alcohol es un grave problema de salud pública a pesar de disponer cada vez de más información respecto a las consecuencias negativas en la salud como la interacción de diferentes factores

biológicos, psicológicos, sociales o contextuales (familiares, escolares y grupales); en 2016 al consumo excesivo de alcohol se le atribuyeron alrededor de 3 millones de defunciones en el mundo, mortalidad superior a la causada por enfermedades como tuberculosis, SIDA y diabetes (OMS, 2018). En América Latina y en el mundo el alcohol es el principal factor de riesgo de muerte y discapacidad para las personas entre 15 y 49 años, edad en la cual las personas son más productivas económicamente. Las mujeres en los países de América presentan la prevalencia más alta del mundo en trastornos relacionados con el consumo de alcohol (OPS, 2015). México se sitúa como el décimo país en consumo de alcohol en América Latina (OMS, 2019).

En México diversas instituciones (Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, Instituto Nacional de Salud Pública, Comisión Nacional Contra las Adicciones, & Secretaría de Salud, 2017) realizaron la Encuesta Nacional del Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017 (ENCODAT), misma que reportó que la prevalencia de consumo en el último mes aumentó de 44.3% a 48.1% en hombres y se observa un crecimiento en el consumo de 19.7% a 24.4% en mujeres; asimismo, la prevalencia de consumo excesivo de alcohol en el último mes aumentó significativamente, de 2011 con 12.3% a 19.8% en 2016. El patrón de consumo diario en población general en el estado de Durango presenta prevalencia mayor a la nacional de 4.4%, de igual manera con el consumo consuetudinario, que reporta prevalencias superiores a la nacional de 12%. La prevalencia de consumo en los hombres es 37.8% más alta que la de consumo nacional, con 29.9% (Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz et al., 2017).

La etapa de adulto joven, considerada de 18 a 25 años, es de mayor riesgo para la ingesta excesiva de alcohol; los jóvenes se encuentran cursando estudios universitarios, con más libertad para salir a divertirse y al mismo tiempo adquirir responsabilidades; distintos roles, exigencias escolares y compromisos para su futura vida como adultos en la familia y en la sociedad (Díaz Martínez et al., 2008; Medina-Mora, 2007). Es importante investigar el consumo en los jóvenes, debido a que conocer los factores de riesgo relacionados con el consumo permite realizar actividades de promoción y prevención en este grupo etario (Méndez Garrido & Azaustre Lorenzo, 2016). La percepción que los jóvenes tienen del funcionamiento familiar puede influir en la adopción de conductas de riesgo para la salud (adicciones, relaciones sexuales de riesgo, pandillerismo), pero la familia que

posee alta comunicación, buena adaptabilidad, relación positiva y un amplio vínculo afectivo entre padres e hijos genera menos probabilidad de consumo de alcohol en los jóvenes universitarios, relacionado a que la familia es un subsistema social transmisor de conocimientos, valores, actitudes, roles y hábitos (Ahumada-Cortez, Gámez-Medina, & Valdez-Montero, 2017; Alonso-Castillo, Un-Aragón, Armendáriz-García, Navarro-Oliva, & López-Cisneros, 2017; Trujillo-Guerrero, Vázquez-Cruz, & Córdova-Soriano, 2016).

En el funcionamiento del grupo familiar pueden intervenir variables afectivas o emocionales que determinan el grado de intimidad y calidad de los sentimientos; variables relativas al ejercicio de la autoridad o capacidad de control y poder de los padres y las relacionadas con la comunicación entre los miembros del grupo. El funcionamiento familiar es definido como la relación de vínculos afectivos entre miembros de la familia capaz de modificar su estructura con el propósito de superar las dificultades evolutivas familiares y el desarrollo de la comunicación (Olson & Gorall, 2003). Algunos investigadores han encontrado que los jóvenes que abusan en el consumo de alcohol perciben a su familia como un contexto conflictivo en el que hay poca comunicación; mientras que los abstemios o los consumidores no abusivos perciben más armonía y comunicación (Tolou-Shams et al., 2018; Vargas Pineda, 2001). Algunos estudios han demostrado que el poseer antecedentes familiares de consumo aumenta este hábito en los jóvenes; por el contrario, quienes no presentan estas características en su historia familiar tienen un bajo o nulo consumo de alcohol (Aldana de Becerra & Álvarez Sánchez, 2019; Folk et al., 2020).

El consumo de alcohol en los jóvenes universitarios se ve influenciado por las amistades (Armendáriz-García, Peña Rodríguez, López García, López Cisneros, & Rodríguez Puente, 2019) debido a la presión de grupo (Álvarez Latorre et al., 2013) y por estrés escolar, sobrecarga académica (Hinojosa García et al., 2017). En los estudiantes de Enfermería se incrementa el estrés durante la práctica clínica, lugar de gran exigencia para los estudiantes (Castillo Díaz & Barraza Macías, 2020), existen consecuencias tras el consumo de alcohol como que 1 de cada 4 jóvenes se ha visto enfrentado a riñas y 1 de cada 10 ha sido víctima de agresiones; esto depende de la estructura familiar, puesto que si existe un funcionamiento familiar con mala jerarquía y sin límites habrá mayor riesgo (Alonso-Castillo et al., 2018; Pulido et al., 2014). En la literatura actual se señala que la mayoría de universitarios en cuya familia presentan antecedentes

de consumo de alcohol manifiestan un alto índice de probabilidad de consumo (Espada Sánchez, Pereira, & García Fernández, 2008; Zucker, Donovan, Masten, Mattson, & Moss, 2009); por el contrario, si hay un clima de cohesión, comunicación y seguridad, los hijos adquirirán un sentimiento de confianza y crecimiento que pueda prevenirlo (Villa Rivas, Castillo Díaz, Velázquez Hernández, & Lomas González, 2020).

La meta del cuidado de Enfermería es mantener un estado de bienestar de las personas, sus familiares y terceros al reducir factores de riesgo de comportamientos no saludables, como el uso y abuso de alcohol. Dado que el consumo se atribuye a causas multifactoriales y a nivel local la información es escasa, en este estudio se plantea analizar la relación entre el funcionamiento familiar y el consumo de los estudiantes de la licenciatura de Enfermería con el fin de aumentar la información en este tema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño del estudio fue descriptivo correlacional (Burns & Grove, 2012), la muestra del estudio se conformó por 463 estudiantes de una universidad pública en el área urbana de Durango, México. El muestreo fue tipo censo, con el total de estudiantes inscritos en el programa de Licenciatura en Enfermería.

Para el presente estudio se utilizó una ficha de antecedentes sociodemográficos y académicos autoaplicable creado por las autoras de este trabajo, cuyo objetivo fue recopilar antecedentes sociodemográficos y académicos. Se diseñó en dos apartados. El primero de antecedentes sociodemográficos, constituido por 10 ítems: edad, género, relación en pareja, número de hijos, estatus laboral, área de procedencia y cohabitantes; todos los ítems con preguntas cerradas (selección múltiple), excepto la edad con respuesta abierta (años cumplidos). El segundo de antecedentes académicos, compuesto por semestre que cursa, turno escolar, promedio de calificación obtenida el semestre anterior, número de materias reprobadas el semestre pasado.

Para conocer el tipo de consumo de alcohol se utilizó el *Cuestionario de Identificación de los Trastornos debido al Consumo de Alcohol* (AUDIT, llamado así por sus siglas en inglés: *Alcohol Use Disorder Identification Test*) y fue desarrollado como parte de un estudio colaborativo de detección y manejo de los problemas relacionados con el alcohol en atención primaria. La prueba AUDIT consta de 10

ítems; las 8 primeras hacen referencia a los últimos 12 meses y las dos últimas a toda la vida. Se divide en tres dominios, que consideran por separado: dominio 1, consumo de alcohol (ítems 1 al 3); dominio 2, síntomas de dependencia (ítems 4 al 6) y dominio 3, consecuencias negativas del consumo (ítems 7 al 10). Las preguntas 1 a la 8 puntúan de 0 a 4 y las preguntas 9 y 10 puntúan 0, 2 o 4, donde el puntaje máximo es de 40 (Babor, Higgins-Biddle, Saunders, & Monteiro, 2001). En el presente estudio de investigación el instrumento AUDIT presentó un Alpha de Cronbach de .84.

El instrumento denominado *Escala de Evaluación Familiar* (APGAR) fue creado por Smilkstein, Ashworth y Montano (1982) y permite evaluar la percepción de la funcionalidad familiar; el instrumento funciona como un acróstico en la que cada letra de APGAR se relaciona con una inicial de la palabra que denota la función familiar estudiada; se evalúan cinco funciones básicas de la familia consideradas las más importantes por el autor, que son: *adaptación, participación, gradiente de recurso personal, afecto y recursos*. El cuestionario debe ser respondido de forma personal o autoadministrado. Consta de cinco ítems y cada uno tiene un puntaje entre 0 y 2 puntos, de acuerdo con la siguiente calificación: 0 (Casi nunca), 1 (A veces) y 2 (Casi siempre) y un total de 10 puntos. Las interpretaciones se consideran contabilizando los puntos de las cinco preguntas dando según puntaje, de 0 a 3: Familias severamente disfuncionales; 4 a 6: Familias moderadamente funcionales; 7 a 10: Familias altamente funcionales. Para el presente estudio el cuestionario presentó un Alpha de Cronbach de 0.81.

El presente trabajo se registró, presentó y aprobó ante el Cuerpo Académico Cuidado Social de la Salud de la Facultad de Enfermería y Obstetricia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED-CA-121), se apegó a lo establecido en la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (SSA, 1987); posteriormente se solicitó autorización de cada profesor que se encontraba en el aula al momento de su clase, se pasó por todos y cada uno de los grupos; previo a la entrega de los instrumentos se entregó el consentimiento informado al cual se dio lectura en voz alta por parte del investigador para aclarar alguna duda, dando énfasis en el criterio de confidencialidad y anonimato, así como en su participación voluntaria; fue firmado por los estudiantes para aceptar la participación en la investigación. Al momento de entregar los cuestionarios de autorreporte, el cuestionario de Caracterización Sociodemográfica, AUDIT y APGAR, se explicaron las instrucciones.

Los resultados se procesaron en el paquete estadístico Stata Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 21.0 para Windows, se utilizó estadística descriptiva e inferencial, coeficiente Alfa de Cronbach en los instrumentos AUDIT y APGAR. Para determinar la normalidad de las variables continuas se realizó la prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov, donde se concluyó que las variables no presentaron distribución normal, por lo cual se aplicó la prueba de Coeficiente de correlación de Spearman.

RESULTADOS

Los resultados muestran que los participantes presentan una edad promedio de 21.2 años (DE= 2.83), predominó el género femenino (80.6%), el semestre

que más predominó fue el primero (15.3%), el turno matutino correspondió a 62.4%. El 70.8% no ejerce ninguna actividad laboral, se dedican únicamente al estudio, 75.2% de los estudiantes entrevistados son de procedencia urbana, 80.1% aún vive con sus padres. Respecto al tipo de consumo de alcohol, 59.0 % de los estudiantes presentaron de bajo riesgo como se puede observar en la tabla 1; mientras que 22.0% calificó en el rango de riesgo. Cabe destacar que dada la población de estudio es preocupante que 19.0% mostrara un consumo perjudicial.

En la tabla 2 se observa que la mayoría de los estudiantes de Enfermería participantes en el estudio percibió un funcionamiento familiar normal (80.0%); sin embargo, 5.4% percibe un funcionamiento familiar grave, el cual corresponde a 25 estudiantes.

Tabla 1

Tipo de consumo de alcohol en los estudiantes de Enfermería

Variables	f	%
Consumo de bajo riesgo	273	59
Consumo de riesgo	102	22
Consumo perjudicial	88	19

Nota: f = Frecuencia, %= Porcentaje
Elaboración propia.

(n= 463)

Tabla 2

Clasificación del funcionamiento familiar de acuerdo con el APGAR

Variables	f	%
Funcionalidad familiar normal	374	80.0
Funcionalidad familiar moderada	64	13.8
Funcionalidad familiar grave	25	5.4

Nota: f = Frecuencia
Elaboración propia.

%= Porcentaje

(n= 463)

Tabla 3

Satisfacción con la ayuda, discusiones, decisiones, satisfacción con el tiempo y sentir que la familia lo quiere

Variable	Casi nunca		A veces		Casi siempre	
	f	%	f	%	f	%
Satisfacción con la ayuda que recibe de su familia	15	3.2	93	20.1	355	76.7
Discusión entre los integrantes de la familia sobre los problemas que tienen en casa	61	13.2	158	34.1	244	52.7
Las decisiones importantes se toman en conjunto	49	10.6	127	27.4	287	62.0
Satisfacción con el tiempo que su familia pasa junto a usted	34	7.3	95	20.5	334	72.1
Siente que su familia lo quiere	12	2.6	47	10.2	404	87.3

Nota: f= Frecuencia
Elaboración propia.

%= Porcentaje

(n= 463)

En la tabla 3 se presenta la satisfacción con la ayuda que recibe de su familia; se observa que los estudiantes de Enfermería entrevistados casi siempre se sienten satisfechos (76.7%) con este aspecto. De acuerdo con la discusión entre los integrantes de la familia sobre los problemas que tienen en casa, manifestaron que en su familia casi siempre discuten los problemas (52.7%); mientras que 34.1% refirió que sólo a veces lo hacen. En lo concerniente a la toma de decisiones importantes 62.0% de los estudiantes

manifestaron que casi siempre se toman en familia; sin embargo, llama la atención que 49 estudiantes manifestaron que en su familia casi nunca sucede así. En cuanto a la satisfacción con el tiempo que su familia pasa junto a ellos, se muestra que 72.1% casi siempre están satisfechos con el tiempo que pasa con su familia; 87.3% de los estudiantes reportó que sienten que su familia los quiere; 10.2%, equivalente a 47 estudiantes, sienten que a veces no los quieren en su familia.

Tabla 4

Correlación de Spearman del funcionamiento familiar y consumo de alcohol

Variable	Funcionamiento familiar
Consumo de alcohol	$r^2 = -.117$ $p = .012$

Nota: r^2 = Correlación de Spearman p = Valor de significancia estadística
Elaboración propia.

La tabla 4 muestra que el funcionamiento familiar se relacionó negativa y significativamente con el consumo de alcohol; es decir, los estudiantes universitarios de la carrera de Enfermería con mayor consumo de alcohol percibieron un funcionamiento familiar menor.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio permitieron conocer la situación actual de los estudiantes de Enfermería, donde se observó que la mayoría de los estudiantes aún viven con sus padres, lo cual concuerda con investigaciones previas (Trujillo-Guerrero et al., 2016); en lo concerniente al tipo de consumo se identificó que más de la mitad de la población reportó bajo riesgo, lo que coincide con estudios que indican que más de la mitad tiene un consumo de bajo riesgo; sin embargo, es relevante resaltar que gran porcentaje reporta un consumo de riesgo y perjudicial; estos resultados concuerdan con Alonso-Castillo et al. (2018) y con Chacón Cuberos et al. (2016). Con respecto al funcionamiento familiar, los resultados reflejaron que gran parte de los estudiantes de Enfermería que participaron perciben un funcionamiento familiar normal; estos resultados son similares a los reportados en otros estudios donde han encontrado que la mayoría perciben un funcionamiento familiar normal (Musitu Ochoa, Suárez Relinque, del Moral Arroyo, & Villarreal González, 2015). Las familias funcionales son capaces de crear un entorno que facilite el desarrollo personal de sus miembros (figura 1), algo muy importante en los estudiantes de Enfermería, puesto que están expuestos a grandes situaciones generadoras de estrés (Castillo Díaz & Barraza Macías, 2020). Es relevante destacar que 25 estudiantes



Figura 1. Se estudia la interacción entre consumo de alcohol en estudiantes y funcionamiento familiar. Fotografía del equipo de investigación.

obtuvieron puntajes para considerarse con una funcionalidad familiar grave, lo cual concuerda con estudios previos en estudiantes (Alonso-Castillo et al., 2018).

En otras investigaciones los resultados no concuerdan con lo encontrado en la presente, ya que se mostró que más de la mitad presentan un test de APGAR familiar con disfunción; ya sea leve, moderada o severa. Posiblemente estos resultados mostraron discrepancia por la zona geográfica o momento histórico: el estudio que difiere con los resultados del presente se realizó en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, siendo uno de los países con mayor índice de violencia y consumo de alcohol, datos que tal vez ayudaran a obtener esos resultados (Solórzano Torres et al., 2016) considerando la zona geográfica donde se realizó la presente investigación como una zona más pacífica que en investigaciones anteriores. En cuanto a la correlación entre consumo de alcohol y funcionamiento familiar se encontró que éste se relacionó negativa y significativamente con el consumo de alcohol; los estudiantes universitarios con mayor consumo percibieron un funcionamiento familiar menor; en una investigación anterior mencionan que se encontró una asociación entre el consumo abusivo del alcohol y pertenecer a una familia disfuncional (Cogollo-Milanés et al., 2011). Otros autores han encontrado que dicho factor incrementa la probabilidad de contacto con el alcohol (Zambrano Guerra, Martínez Pérez, Alonso Cordero, & Álvarez Padilla, 2017). Se observa que la familia juega un papel muy importante; puede ser un factor de protección para el consumo de drogas siempre y cuando en ella se lleven a cabo conductas saludables y donde el vínculo familiar sea fuerte (Musitu Ochoa et al., 2015; Ruiz Morales, Gayoso Herrera, & Prada Chapoñan, 2017) posiblemente porque esta conducta es aprendida y permitida al interior del núcleo familiar y así se reproduce culturalmente como forma de vida y fortalecimiento de sentimiento de pertenencia; lo cual provoca en los jóvenes que conceptualicen el consumo de alcohol como normal, que puede ir desde consumo de bajo riesgo hasta de riesgo y perjudicial (Villa Rivas et al., 2020).

Limitaciones del estudio

Dado que es un diseño transversal es pertinente preguntar qué datos se habrían encontrado en un estudio longitudinal. Otra limitación encontrada es la metodología cuantitativa, se pudieran realizar estudios cualitativos para profundizar en la percepción de los estudiantes respecto a la funcionalidad familiar.

CONCLUSIONES

Con la presente investigación se logró el objetivo de determinar la relación existente entre el funcionamiento familiar y el consumo de alcohol en los estudiantes de enfermería; se encontró relación negativa y significativa entre el funcionamiento familiar y el consumo de alcohol, los estudiantes consumidores de alcohol percibieron un funcionamiento familiar menor. La mayoría de los participantes en el estudio percibió que el funcionamiento de su familia es normal; sin embargo, un mínimo porcentaje percibió que el funcionamiento de su familia es grave. El estudio contribuye a resaltar la importancia del funcionamiento familiar como factor protector para el menor consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería.

Se concluye que son necesarias más acciones de promoción de salud orientadas al fortalecimiento de un buen funcionamiento familiar mediante estrategias como talleres interactivos que garanticen la formación de núcleo familiar en los cuales esté presente la comunicación efectiva y que, de esta manera, se sientan satisfechos con la ayuda que reciben en familia, que tomen decisiones entre todos los integrantes y que ayude para que compartan más tiempo como consecuencia. Implementar estrategias para que las familias muestren mayor afecto a sus integrantes, en este caso a los estudiantes universitarios, logrando percibir que son queridos. Es de suma importancia recolectar datos relevantes en relación con el tema dentro de la población universitaria, ya que se encuentra inmersa dentro del ambiente que más factores de riesgo posee para desarrollar dependencia hacia sustancias como el alcohol, que puede ser la entrada al consumo de otro tipo de drogas.

REFERENCIAS

- Ahumada-Cortez, J. G., Gámez-Medina, M. E., & Valdez-Montero, C. (2017). El consumo de alcohol como problema de salud pública. *Ra Ximhai*, 13(2), 13-24. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/461/46154510001.pdf>
- Aldana de Becerra, G. M., & Álvarez Sánchez, Y. P. (2019). Consumo de alcohol en estudiantes de Enfermería. Una experiencia vivida. *Index de Enfermería*, 28(3), 130-133. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/461/46154510001.pdf>
- Alonso-Castillo, M. M., Un-Aragón, L. T., Armendáriz-García, N. A., Navarro-Oliva, E. I. P., & López-Cisneros, M. A. (2018). Sentido de coherencia y consumo de alcohol en jóvenes universitarios. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(75), 66-72. doi: 10.33064/iycuaa2018751771
- Álvarez Latorre, J. M., Cañón Buitrago, S. C., Castaño Castrillón, J. J., Bernier Ocampo, L. H., Cataño Molina, A. M., Galdino Cruz, P. V., ... Sánchez Rodríguez, C. M. (2013). Factor de riesgo suicida y factores asociados en adolescentes de una institución educativa de Palestina-Caldas. *Archivos de Medicina*, 13(2), 127-141. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2738/273829753003.pdf>
- Armendáriz-García, N., Peña Rodríguez, S., López García, K., López Cisneros, M., & Rodríguez Puente, L. (2019). Comunicación familiar de padres e hijos y consumo de alcohol en adolescentes. *Revista Española de Drogodependencias*, 44(3), 27-39. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/ibc-187423>
- Babor, T. F., Higgins-Biddle, J. C., Saunders, J. B., & Monteiro, M. G. (2001). AUDIT, the Alcohol Use Disorders Identification Test: Guidelines for use in primary health care. US: World Health Organization. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67205/WHO_MSD_MSB_01.6a-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Burns, N., & Grove, S. K. (2012). *Investigación en Enfermería* (3ª ed.). Madrid, España: Elsevier.
- Castillo Díaz, R., & Barraza Macías, A. (2020). *Estresores, factores sociodemográficos y síntomas del estrés percibido en estudiantes de Enfermería*. Durango, México: Red Durango de Investigadores Educativos A.C. Recuperado de <http://www.upd.edu.mx/PDF/Libros/Estresores.pdf>
- Chacón Cuberos, R., Castro Sánchez, M., Caracuel Cáliz, R., Padial Ruz, R., Collado Fernández, D., & Zurita Ortega, F. (2016). Perfiles de consumo de alcohol y tabaco en adolescentes andaluces de primer ciclo de educación secundaria. *Salud y Drogas*, 16(2), 93-104. doi: 10.21134/haaj.v16i2.266
- Cogollo-Milanés, Z., Arrieta-Vergara, K. M., Blanco-Bayuelo, S., Ramos-Martínez, L., Zapata, K., & Rodríguez-Berrio, Y. (2011). Factores psicosociales asociados al consumo de sustancias en estudiantes de una universidad pública *Revista de Salud Pública*, 13(3), 470-479. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/422/42219910009.pdf>
- Díaz Martínez, A., Díaz Martínez, L. R., Hernández-Ávila, C. A., Narro Robles, J., Fernández Varela, H., & Solís Torres, C. (2008). Prevalencia del consumo riesgoso y dañino de alcohol y factores de riesgo en estudiantes universitarios de primer ingreso. *Salud Mental*, 31(4), 271-282. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/sm/v31n4/v31n4a4.pdf>
- Espada Sánchez, J. P., Pereira, J. R., & García Fernández, J. M. (2008). Influencia de los modelos sociales en el consumo de alcohol de los adolescentes. *Psicothema*, 20(4), 531-537. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/727/72720404.pdf>
- Folk, J. B., Brown, L. K., Marshall, B. D. L., Ramos, L. M. C., Gopalakrishnan, L., Koinis-Mitchell, D., & Tolou-Shams, M. (2020). The prospective impact of family functioning and parenting practices on court-involved youth's substance use and delinquent behavior. *Journal of Youth and Adolescence*, 49(1), 238-251. doi: 10.1007/s10964-019-01099-8
- Hinojosa García, L., Gherardi-Donato, E. C. S., Alonso Castillo, M. M., Cocenas da Silva, R., García García, P., & Maldonado García, V. (2017). Estrés académico y consumo de alcohol en universitarios de nuevo ingreso. *Journal Health NPEPS*, 2(1), 133-147. Recuperado de <https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/1615/1663>

- Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, Instituto Nacional de Salud Pública, Comisión Nacional Contra las Adicciones, & Secretaría de Salud. (2017). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017: Reporte de Alcohol*. México: INPRFM. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1rMKaWy34GR51sEnBK2-u2q_BDK9LA0e/view
- Medina-Mora, M. E. (2007). Mexicans and alcohol: Patterns, problems and policies. *Addiction*, 102(7), 1041-1045. doi: 10.1111/j.1360-0443.2007.01857.x
- Méndez Garrido, J., & Azaustre Lorenzo, M. C. (2016). El consumo de alcohol en universitarios. Estudio de las relaciones entre las causas y los efectos negativos. *Revista Complutense de Educación*, 28(3), 689-704. doi: 10.5209/rev_RCED.2017.v28.n3.49725
- Musitu Ochoa, G., Suárez Relinque, C., del Moral Arroyo, G., & Villarreal González, M. E. (2015). El consumo de alcohol en adolescentes: El rol de la comunicación, el funcionamiento familiar, la autoestima y el consumo en la familia y amigos. *Búsqueda*, 2(14), 45-61. Recuperado de <https://revistas.cecar.edu.co/index.php/Busqueda/article/view/58> doi: 10.21892/01239813.58
- Olson, D. H., & Gorall, D. M. (2003). Circumplex model of marital and family systems. En F. Walsh (Autor), *Normal Family Processes* (3a. ed., pp. 514-547). New York: The Guilford Press.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Informe de situación mundial sobre el alcohol y la salud 2018*. Resumen. WA, EE. UU.: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51352/OPSNMH19012_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Informe sobre la situación regional sobre el alcohol y la salud en las Américas*. WA, EE. UU.: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2015/alcohol-Informe-salud-americas-2015.pdf>
- Pulido, J., Indave-Ruiz, B. I., Colell-Ortega, E., Ruiz-García, M., Bartroli, M., & Barrio, G. (2014). Estudios poblacionales en España sobre daños relacionados con el consumo de alcohol. *Revista Española de Salud Pública*, 88(4), 493-513. doi: 10.4321/S1135-57272014000400005
- Ruiz Morales, L. D., Gayoso Herrera, M., & Prada Chapoñan, R. E. (2017). Funcionamiento familiar y factores de riesgo de consumo de drogas en adolescentes de un Centro Juvenil Penitenciario. *PAIAN*, 8(2), 13-28. Recuperado de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/PAIAN/article/view/732>
- Secretaría de Salud. (1987). Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud. En M. Carbonell (Ed.), *Ley General de Salud* (16ª. ed., pp. 422-429). México: Porrúa.
- Smilkstein, G., Ashworth, C., & Montano, D. (1982). Validity and reliability of the family APGAR as a test of family function. *Journal Family Practicing*, 15(2), 303-311. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7097168/>
- Solórzano Torres, F., Narváez, A., Alvarado Villa, G., Silva Calle, X., Guerrero Solorzano, J., Poveda Icaza, X., ... Proaño, C. (2016). La familia y los amigos como riesgo de consumo de alcohol en adolescentes. *CIENCIA UNEMI*, 9(17), 85-91. Recuperado de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/254>
- Tolou-Shams, M., Brogan, L., Esposito-Smythers, C., Healy, M. G., Lowery, A., Craker, L., & Brown, L. K. (2018). The role of family functioning in parenting practices of court-involved youth. *Journal of Adolescence*, 63(1), 165-174. doi: 10.1016/j.adolescence.2017.12.016
- Trujillo-Guerrero, T. J., Vázquez-Cruz, E., & Córdova-Soriano, J. E. (2016). Percepción de la funcionalidad familiar y el consumo de alcohol en adolescentes. *Atención Primaria*, 23(3), 100-103. doi: 10.1016/j.af.2016.07.003
- Vargas Pineda, D. R. (2001). Alcoholismo, tabaquismo y sustancias psicoactivas. *Revista de Salud Pública*, 3(1), 74-88. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v3n1/v3n1a06.pdf>
- Villa Rivas, F., Castillo Díaz, R., Velázquez Hernández, N., & Lomas González, N. Y. (2020). Familia, tiempo libre y consumo de alcohol en estudiantes de preparatoria. *Visión Educativa IUNAES*, 14(31), 93-104. Recuperado de <https://anglodurango.edu.mx/web/content/6663?unique=80bd8fcfee274be4feb2c776b29768b9f196457&download=true>
- Zambrano Guerra, F. X., Martínez Pérez, M., Alonso Cordero, M. E., & Álvarez Padilla, A. L. (2017). Relación entre alcoholismo, el funcionamiento familiar y otras afecciones psicológicas. *Medimay*, 23(2), 112-123. Recuperado de <http://revcmhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/1009/1418>
- Zucker, R. A., Donovan, J. E., Masten, A. S., Mattson, M. E., & Moss, H. B. (2009). Developmental processes and mechanisms: Ages 0-10. *Alcohol Research and Health*, 32(1), 16-29. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23104444/>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Biopsia de músculo esquelético: Una herramienta importante para la investigación de la fisiología del ejercicio

Skeletal muscle biopsy: An important approach to exercise physiology research

Katya Vargas-Ortiz*, Victoriano Pérez-Vázquez*, Paulina Guadalupe Montaño-Ascencio**, Maciste H. Macías-Cervantes*✉

Vargas-Ortiz, K., Pérez-Vázquez, V., Montaño-Ascencio, P. G., & Macías-Cervantes, M. H. (2021). Biopsia de músculo esquelético: Una herramienta importante para la investigación de la fisiología del ejercicio. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e4161 <https://doi.org/10.33064/iycuua2021844161>

RESUMEN

A partir de la década de los sesenta las biopsias de músculo y estudios bioquímicos han mejorado la comprensión de la fisiología del ejercicio. El avance en la técnica de las biopsias y el desarrollo de la biología molecular han permitido mayor entendimiento sobre la regulación molecular del metabolismo en las fibras musculares y su adaptación al ejercicio. Sin embargo, su utilidad ha sido cuestionada argumentando que el riesgo del procedimiento podría ser mayor al beneficio obtenido. El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión de la literatura sobre la seguridad y la eficacia de la biopsia en músculo esquelético para el estudio del ejercicio. Dicha revisión evidencia que, realizada correctamente y por un experto, la biopsia

Palabras clave: biopsias; ejercicio; ética; fisiología; músculo esquelético.

Keywords: biopsies; exercise; ethics; physiology; skeletal muscle.

Recibido: 22 de abril de 2020 **Aceptado:** 10 de septiembre de 2021

* Departamento de Ciencias Médicas, División de Ciencias de la Salud, Campus León, Universidad de Guanajuato. 20 de Enero No. 929, Col. Obregón, C. P. 37320, León Gto., México. Correo electrónico: k.vargasortiz@ugto.mx; vicpe@yahoo.com; macistehabacuc@yahoo.com.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3779-5575>; <https://orcid.org/0000-0001-9241-9084>; <https://orcid.org/0000-0002-7942-9269>

** Departamento de Medicina y Nutrición, División de Ciencias de la Salud, Campus León, Universidad de Guanajuato. 20 de Enero No. 929, Col. Obregón, C. P. 37320, León Gto., México. Correo electrónico: radiodiagnostico.bajo@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2162-4993>

✉ Autora para correspondencia

de músculo esquelético es un procedimiento seguro, de bajo riesgo y es una herramienta efectiva para la investigación de la fisiología del ejercicio.

ABSTRACT

Beginning in the 60s muscle biopsies along with biochemical studies have improved the understanding of exercise physiology. The advancement in the technique of biopsies and the development of molecular biology have allowed greater understanding about the molecular regulation of metabolism in muscle fibers and their adaptation to exercise. However, the usefulness of biopsies has been questioned by arguing that the risk of the procedure could be greater than the benefit. The aim of the present work was to review the literature on the safety and efficacy of skeletal muscle biopsy for the study of exercise. This review shows that, performed correctly and by an expert, skeletal muscle biopsy is a safe, low-risk procedure and is an effective tool for exercise physiology research.

INTRODUCCIÓN

En el área de la investigación básica las muestras de músculo son usadas para examinar características estructurales y funcionales, como propiedades contráctiles, tipo, tamaño y distribución de las fibras musculares, capilarización, capacidad enzimática, análisis y presencia de proteínas, análisis de ADN y mARN, función mitocondrial y respuesta metabólica. El procedimiento es tolerado, haciendo factible la realización de estudios longitudinales en el mismo

sujeto. El manejo y almacenamiento de las muestras debe ser adecuado; en general, la mayoría de las determinaciones mencionadas se realizan en tejido congelado; de esta manera, las muestras se conservan durante mucho tiempo. A continuación, se profundizará acerca de la trascendencia de las biopsias de músculo esquelético como una importante herramienta para la descripción de los efectos del ejercicio.

Inicialmente las biopsias para el estudio del músculo esquelético se realizaban post mortem o por medio de biopsias abiertas con la necesidad de anestesia general y una herida amplia, el paciente debía estar hospitalizado al menos un día. Con este tipo de biopsias se estudiaban las características macroscópicas y relaciones músculo-nervio periférico. Los primeros análisis macroscópicos del músculo obtenido a través del procedimiento y una biopsia percutánea son acreditados al neurólogo francés Guillaume-Benjamin-Amand Duchenne (1806-1875), reconocido por describir la distrofia muscular, entre otros estudios. Duchenne construyó una aguja que permitía la obtención de tejido muscular a través de biopsias percutáneas semiabiertas en sujetos vivos y sin anestesia (Charriere & Duchenne, 1865).

En la década de 1960 John Holloszy en la Universidad de Washington y Charles Tipton en la Universidad de Iowa estudiaron el metabolismo muscular y examinaron factores relacionados con la fatiga; estos investigadores emplearon modelos murinos. En la misma época, Bergström en el Instituto Karolinska (Suecia) reintrodujo el procedimiento de biopsia con aguja y emergieron fisiólogos del deporte capacitados en bioquímica, como Bengt Saltin quien colaboró con Bergström a finales de 1960 estudiando el efecto de la dieta sobre la resistencia aeróbica y nutrición muscular. Saltin combinó sus conocimientos sobre el procedimiento de la biopsia con el talento bioquímico de Gollnick y ambos fueron responsables de los primeros estudios sobre las características y uso de las fibras musculares humanas durante el ejercicio (Wilmore & Costill, 1999).

El procedimiento utilizado por Bergström en 1962 es conocido como biopsia por punción y fue modificada con succión por Evans en 1982 con el objetivo de incrementar la cantidad de la muestra obtenida (Evans, Phinney, & Young, 1982); actualmente es la más utilizada en el área de investigación. Implica insertar una aguja dentro del músculo, al retirarla se obtienen entre 150 y 200 mg de tejido (Shanely et al., 2014; Tarnopolsky, Pearce, Smith, & Lach, 2011; Viru & Viru, 2003).

Incidencias de efectos adversos asociados a la técnica de Bergström modificada por succión para biopsia muscular

A la luz de los códigos de ética para la investigación con humanos se ha discutido la pertinencia de la realización de las biopsias musculares, dichos códigos mencionan que el beneficio para la sociedad debe ser mayor que los riesgos mínimos para los individuos (Highstead, Tipton, Creson, Wolfe, & Ferrando, 2005; Neves et al., 2012). En publicaciones previas se han estudiado numerosas investigaciones en las que se han realizado biopsias musculares, tanto para diagnosticar una patología, como para estudios de investigación de fisiología del ejercicio, con el objetivo de conocer los efectos adversos asociados a la técnica de Bergström modificada por succión. En dichas revisiones se han tomado en cuenta biopsias realizadas en ambos sexos en niños (< 18 años) (Derry, Nicolle, Keith-Rokosh, & Hammond, 2009; Tarnopolsky et al., 2011), en jóvenes (> 18 años) (Derry et al., 2009; Highstead et al., 2005; Neves et al., 2012; Tarnopolsky et al., 2011) y en adultos mayores (> 60 años) (Derry et al., 2009; Highstead et al., 2005), en sujetos con alteraciones neuromusculares (Derry et al., 2009), en voluntarios sanos (Highstead et al., 2005) e incluso se ha comparado la pertinencia de las biopsias entre sujetos sanos y pacientes con alteraciones musculares y/o articulares con mutaciones mitocondriales, con diabetes o con insuficiencia cardíaca crónica (Neves et al., 2012; Tarnopolsky et al., 2011).

Los efectos adversos que se presentaron fueron [efecto (incidencia en %): dolor (0.3 - 1.27), hematoma y hemorragia (0.01 - 1.4), infecciones (0 - 0.5), entumecimiento y dolor local > 3 días (0.04) y ataque de pánico (0.21). Además, se reportó que la cicatrización fue normal (Highstead et al., 2005) con tasa de éxito de 99.9% respecto al tamaño y calidad del tejido tomado (Tarnopolsky et al., 2011). Las dificultades para obtener la muestra se debieron generalmente a una marcada obesidad, edema o pérdida de músculo (Derry et al., 2009). No se reportan fracasos en tomas de muestra debidos al personal, seguramente porque fueron realizadas por expertos.

Con estas revisiones se concluyó que el procedimiento para realizar la técnica de Bergström modificada por succión era bien tolerado, eficiente y se obtuvieron muestras de gran calidad y buen tamaño (150-200 mg) para aplicar diversas técnicas de investigación, generando nuevos conocimientos. Es importante puntualizar que los médicos neuromusculares y neuropatólogos tradicionalmente optan por no utilizar dicha técnica debido a que los tamaños de muestra son pequeños e inadecuados para el diagnóstico (Tarnopolsky et al., 2011).

Existen otras técnicas percutáneas: utilizando concótomo o microbiopsia. En el primer caso se realiza una biopsia semiabierta en la cual se utilizan pinzas tipo aligador o un concótomo en lugar de la aguja de Bergström (Henriksson, 1979); sin embargo, no se ha encontrado una clara ventaja de esta última técnica en comparación con las agujas Bergström (Viru & Viru, 2003). Por otro lado, las biopsias con agujas de microbiopsia para muestreo del vasto lateral no requieren una incisión en la piel ni la fascia, pero se extrae menor cantidad de tejido y se ha observado que utilizar este tipo de aguja tiene implicaciones sobre los resultados en análisis de metabolismo mitocondrial, como la subestimación de la emisiones de H₂O₂ (peróxido de hidrógeno) y alteración en la relación de los tipos de fibras musculares que deben ser considerados y tomar algunas medidas preventivas (Hughes et al., 2015).

A través de los años se han empleado diferentes tipos de músculos para los estudios en fisiología del ejercicio como el sóleo, el tibial anterior, el deltoides, el bíceps braquial y el tríceps braquial; sin embargo, actualmente la mayoría de las biopsias son realizadas en el músculo vasto lateral por su tamaño, su accesibilidad y por estar lejos de las principales estructuras vasculonerviosas (Paoli, Pacelli, Toniolo, Miotti, & Reggiani, 2010). Otros avances tecnológicos permitieron la incorporación de diferentes técnicas de imagen como ultrasonido, rayos X, tomografía axial computarizada (TAC) o resonancia magnética nuclear (RMN) para dirigir las biopsias con mayor precisión y seguridad. Actualmente una forma práctica, segura y económica de realizar las biopsias es con orientación ultrasonográfica; las imágenes obtenidas por esta técnica permiten determinar exactamente la localización y profundidad del músculo para evitar el daño a vasos sanguíneos y obtener muestras de buena calidad para los análisis posteriores.

La biopsia con aguja Trucut 14 G x 11 cm guiada por ultrasonido (figura 1) ha sido un procedimiento que los autores del presente han implementado en el grupo de trabajo. Con los médicos expertos del equipo han realizado 131 biopsias en tres investigaciones cuyo objetivo fue conocer el efecto de tipos de entrenamiento sobre la expresión de proteínas musculares en adolescentes con exceso de peso y/o obesidad; los efectos adversos que se presentaron fueron dolor > 3 días (2%), dolor local intenso el día de la biopsia (0.9%). En el último caso se dio seguimiento y no se encontraron datos de inflamación ni sangrado, el participante refirió que el dolor se debió a que ese día realizó ejercicio vigoroso,

se le trató con analgésico (10 mg de Ketorolaco) cada 8 h por 3 días, con lo que se eliminó la molestia. El entumecimiento se presentó en 0.9% de los casos, complicación de hemorragia en el 0.007% y no hubo ningún caso de infección (Archundia-Herrera et al., 2017; Macías-Cervantes et al., 2014; Vargas-Ortiz et al., 2015); además, 40% de los participantes no requirió analgésico después. Con lo anterior se corroboró que la obtención de biopsias con aguja Trucut, al igual que la técnica de Bergström modificada con succión, es un procedimiento seguro cuando se realiza por expertos y se deben tomar algunas consideraciones.



Figura 1. Biopsia del músculo vasto lateral guiada por ultrasonido. Toma de muestra utilizando aguja Trucut 14 G (Gauge) de diámetro x 11 cm de longitud; teniendo una imagen clara de la zona deseada, se introduce la aguja hasta alcanzar la masa muscular. Imagen del equipo de investigación.

Consideraciones importantes para la toma de biopsia muscular

En el presente grupo de investigación para disminuir al mínimo los efectos adversos y obtener una muestra muscular de calidad y tamaño adecuado (figura 2) utilizable en diversas metodologías científicas, un radiólogo intervencionista ha realizado las biopsias. El procedimiento se realiza en condiciones de asepsia, mediante anestesia local de la piel y el músculo vasto lateral con 10 ml de xilocaína (2%), se realiza una incisión de 2-3 mm con una hoja de bisturí número 10. Por dicha incisión se introduce, con orientación

por ultrasonido, una aguja Trucut para biopsia de 14 G y se realiza el disparo. En cada disparo se obtienen aproximadamente 50 mg de tejido, al cual se le elimina sangre y tejido adiposo con un buffer compuesto por 20 mM de Tris/HCl pH7.8, 10 mM ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), 2 mM ditioneitol (DTT) e inhibidor de proteasas; el tejido muscular sumergido en el buffer se almacena a -70°C para análisis posteriores. Si es necesario más de un disparo, el tejido obtenido en el primero se retira de la aguja Trucut con pinzas estériles.

Para finalizar el procedimiento se presiona la herida para disminuir el sangrado, se limpia y desinfecta el área de la pierna y se colocan gasas estériles con tela adhesiva. Se dan instrucciones por escrito a los participantes acerca de las eventuales complicaciones (hemorragia, hematoma y/o inflamación) que pudieran ocurrir y los cuidados que deben tener para una correcta cicatrización. Otro aspecto por considerar es que las investigaciones con seres humanos deben contar con la autorización del comité de ética de la institución donde se realicen; además, se le debe explicar claramente al participante de manera verbal y escrita los procedimientos que se le realizarán y los riesgos a los que quedará expuesto, para que si acepta participar otorgue su autorización mediante firma en el consentimiento informado.

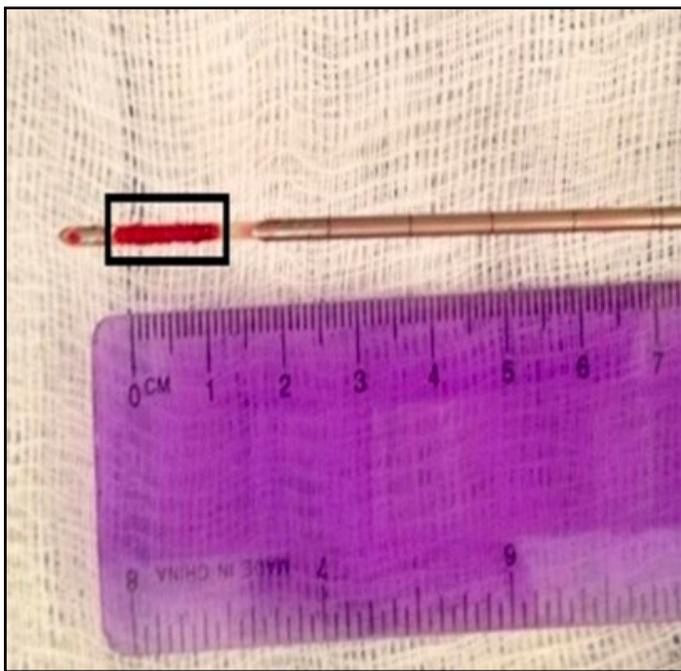


Figura 2. Tamaño de la muestra de tejido muscular obtenida en cada disparo que se indica en esta imagen con un rectángulo negro. Imagen del equipo de investigación.

Biopsias musculares. Una ventana al conocimiento sobre la fisiología del ejercicio

El estudio del músculo esquelético ha enriquecido el conocimiento científico respecto a la fisiología del ejercicio. Desde 1967 Holloszy reportó que en respuesta al entrenamiento prolongado la mitocondria del músculo exhibe un alto control respiratorio acoplado a la fosforilación oxidativa (Holloszy, 1967).

En los últimos 40 años ha mejorado de manera importante la comprensión sobre la adaptación crónica y aguda del ejercicio, acerca de cómo previene o es parte del tratamiento de ciertas enfermedades. Se ha estudiado su efecto en diferentes áreas como la bioquímica, la biomecánica, la bioenergética, la función neuroendocrina del sistema nervioso y cardiopulmonar y la fisiología del músculo esquelético, entre otras. El gran avance en la comprensión de los procesos subyacentes al efecto del ejercicio ha sido apoyado con investigaciones científicas que utilizaron las biopsias, que en conjunto con técnicas histoquímicas y bioquímicas válidas para analizar el tejido muscular antes, durante y después de ejercicio han permitido conocer y describir la distribución y contenido de los tipos de fibras musculares, la actividad enzimática, la respuesta y adaptación a los diversos tipos de entrenamiento; el uso de energía durante el ejercicio y factores relacionados con la fatiga, así como la biogénesis mitocondrial en músculo esquelético en respuesta al ejercicio.

Por ejemplo, la distribución de las fibras de contracción lenta y rápida es diferente en cada músculo (Saltin & Gollnick, 2011); incluso algunos reportes señalan que en un mismo músculo la distribución de fibras es diferente dependiendo de la profundidad a la cual se obtiene el tejido (Lexell, Henriksson-Larsen, & Sjöström, 1983). Sin embargo, es necesario hacer una biopsia estándar en la cual se considere pierna derecha o izquierda, profundidad y dirección de inserción de la aguja, así como la posición sobre el vientre muscular. También se ha demostrado que la distribución de las fibras musculares varía con la edad y la actividad física (Lexell, 1993; Lexell & Taylor, 1991) y que el entrenamiento mejora el metabolismo de lípidos y glucosa por la activación del coactivador 1 α del receptor activado por el proliferador de peroxisomas (PGC-1 α), de la proteína cinasa activada por AMP (AMPK) y de p53; lo que incrementa la función y biogénesis mitocondrial (Dumke et al., 2009; Elder, Bradbury, & Roberts, 1982; Pilegaard, Saltin, & Neuffer, 2003; Saleem, Carter, Iqbal, & Hood, 2011; Scarpulla, 2011; Uguccioni, D'Souza, & Hood, 2010).

En la tabla 1 se describen algunos trabajos realizados desde 2010 a la fecha en los cuales se ha investigado tanto el efecto agudo como el efecto crónico del ejercicio en diferentes tipos de entrenamiento, con diversos tipos de participantes

respecto al nivel de actividad física y si son sanos o tienen algún padecimiento. El número de biopsias realizadas a cada sujeto varía desde 2 hasta 12; en ningún estudio se reportaron eventos adversos y todas las biopsias se tomaron en el músculo vasto lateral.

Tabla 1
Investigaciones sobre el efecto del ejercicio tomando las biopsias con la técnica de Bergström y con la aguja Trucut

Referencia	Tipo de participantes	Periodo de entrenamiento	Biopsias/sujeto
Efecto Agudo			
HIIT			
Perry et al. (2012)	Hombres saludables activos sanos	1 sesión	2
Psilander et al. (2013)	Hombres saludables activos sanos	2 sesiones	6
Little et al. (2011)	Hombres saludables activos sanos	1 sesión	4
Cobley et al. (2012)	Hombres saludables sedentarios y adultos mayores sedentarios y activos	1 sesión	3
Psilander et al. (2010)	Deportistas de élite hombres	2 sesiones	4
HIIT vs. EA			
Skovgaard et al. (2016)	Hombres entrenados	3 sesiones	12
Archundia-Herrera et al. (2017)*	Adolescentes mujeres con obesidad o sobrepeso	1 sesión	2
EA			
Edgett, Hughes et al. (2016)	Hombres sanos activos	1 sesión	3
Little et al. (2010)	Hombres sanos activos	1 sesión	2
Iversen et al. (2011)	Hombres y mujeres activos y sedentarios	1 sesión	3
EA vs. reposo en cama			
Ringholm et al. (2011)	Sujetos sanos y activos	1 sesión 7 días reposo en cama	2-6
ER + vibración			
Item et al. (2013)	Hombres sanos y activos	2 sesiones	3
Efecto Agudo vs. Crónico			
HI vs. EA			
Scribbans et al. (2014)	Hombres y mujeres activos	2 sesiones (EF.A) 6 semanas (EF.C)	2 6
HIIT			
Edgett, Bonafiglia et al. (2016)	Hombres sanos y activos	1 sesión (EF.A) 6 semanas (EF.C)	4
Efecto Crónico			
HIIT			
Gillen et al. (2014)	Hombres y mujeres sedentarios con obesidad o sobrepeso	6 semanas	2
Boyd et al. (2013)	Hombres sedentarios	3 semanas	2
Vincent et al. (2015)	Hombres moderadamente activos	2 semanas	2
Gurd et al. (2011)	Hombres y mujeres activos	2 semanas	2
Gunnarsson et al. (2012)	Jugadores de fútbol	5 semanas	2
HIIT + otro vs. otro			
Wens et al. (2017)	Hombres y mujeres con esclerosis múltiple	12 semanas	2
EA			
Macías-Cervantes et al. (2014), Vargas-Ortiz et al. (2015)*	Adolescentes varones con obesidad, sedentarios	12 semanas	2
Hey-Mogensen et al. (2010)	Hombres sedentarios con obesidad con y sin DM2	10 semanas	2
EA + ER			
Phielix et al. (2010)	Hombres sanos y con DM2	12 semanas	2
EA + ER vs. ER			
Kazior et al. (2016)	Hombres sedentarios sanos	7 semanas	2
Senderismo			
Tam et al. (2016)	Mujeres	12-14 días	3
Levett et al. (2015)	Mujeres y hombres sanos	47 días	2

Nota: HIIT, entrenamiento por intervalos de alta intensidad; EA, entrenamiento aeróbico; ER, entrenamiento de resistencia muscular o fuerza; EF.A, efecto agudo; EF.C, efecto crónico; DM2, diabetes mellitus tipo 2; * Usando Aguja Trucut, en el resto de las referencias se utilizó la técnica de Bergström.
Elaboración propia.

El aporte científico ha sido en diferentes áreas del conocimiento. Por ejemplo, el efecto agudo del entrenamiento por intervalos de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés: *High Intensity Interval Training*) regula las lanzaderas de fosfato dependientes de creatina cinasa mitocondrial, lo cual podría mejorar el mantenimiento de la homeostasis energética durante la contracción muscular (Perry et al., 2012). Este tipo de ejercicio realizado después de una depleción de glucógeno muscular mejora la capacidad oxidativa de la mitocondria al amplificar la expresión de los marcadores genéticos para la biogénesis mitocondrial (BM) (Psilander et al., 2013). Una sesión de HIIT de cinco series de alta intensidad en bicicleta activa las vías de señalización de la BM en adultos mayores sedentarios; y si se realiza ejercicio a lo largo de la vida se preserva el contenido del PGC-1 α , un coactivador de la BM (Cobley et al., 2012).

Una carga de HIIT es suficiente para aumentar la expresión de irisina en adolescentes sedentarias con obesidad (Archundia-Herrera et al., 2017); la irisina tiene la capacidad de incrementar la termogénesis y, por consiguiente, el consumo de calorías. Asimismo, se ha comparado el efecto del HIIT con poco y alto volumen; los reportes señalan que ambos volúmenes incrementan los marcadores de BM (Psilander, Wang, Westergren, Tonkonogi, & Sahlin 2010), específicamente se ha demostrado que con poco volumen es posible activar la BM a través de mecanismos que involucran la abundancia de PGC-1 α en el núcleo celular (Little et al., 2011). Además, para los atletas de élite en los cuales el consumo de oxígeno (VO $_2$) y sus adaptaciones metabólicas ya están cerca de su máximo genético, el HIIT de volumen bajo es buena estrategia para seguir mejorando (Psilander et al., 2010). El entrenamiento con HIIT se caracteriza porque con poco tiempo de entrenamiento por sesión se generan adaptaciones fisiológicas benéficas; incluso con una sesión de este entrenamiento se estimula la BM, la regulación de sustratos y la angiogénesis, que no son evidentes con 60 min de ejercicio aeróbico (Skovgaard et al., 2016).

Por su parte, los efectos agudos del ejercicio aeróbico (EA), que a diferencia del HIIT es de mayor volumen, son la activación citosólica de la proteína cinasa activada por mitógeno p38 (p38 MAPK) y de la AMPK; ambas moléculas son señales potenciales que incrementan la abundancia y activación de PGC-1 α nuclear (Little et al., 2010), y éste a su vez incrementa la BM. Además, los adultos mayores mantienen la habilidad de responder a una carga aguda de EA inmediatamente después del entrenamiento y a las 2 h, incrementando el mARN de marcadores de

angiogénesis y de la BM (Iversen et al., 2011). Otra proteína que activa marcadores de la BM es la SIRT3 y aumenta su contenido en células musculares como efecto agudo y crónico del EA (Edgett, Hughes et al., 2016; Vargas-Ortiz et al., 2015). Otra investigación mostró que la inactividad física mediante reposo en cama induce cambios desfavorables en el músculo, que afectan tanto la capacidad funcional como la adaptabilidad a una sesión de EA después de 7 días de reposo en cama (Ringholm et al., 2011).

En los últimos años también se han utilizado estrategias de entrenamiento novedosas como el ejercicio de resistencia muscular (ER) o fuerza, combinado con vibración en todo el cuerpo y oclusión sostenida en el pliegue inguinal del muslo; esta modalidad de ejercicio activó genes angiogénicos y metabólicos que usualmente sólo se activan con EA (Item et al., 2013). Se ha comparado también el efecto del HIIT y el EA, ambos tipos de ejercicio inducen adaptaciones similares tanto de manera aguda como crónica en el contenido de glucógeno muscular y en la activación de señales de la BM y de la capacidad oxidativa (Scribbans et al., 2014).

LPR130 es un coactivador transcripcional propuesto para promover la expresión de genes mitocondriales que mejoran la fosforilación oxidativa y la oxidación de ácidos grasos. Al comparar el efecto del HIIT el contenido de LPR130 no incrementó ni como efecto agudo ni crónico del ejercicio, pero sus blancos corriente abajo sí, además se cree que la regulación del PGC-1 α , la SIRT3 y el LPR130 se coordinan una a la otra (Edgett, Bonafiglia et al., 2016).

El HIIT también ha mostrado efectos crónicos prometedores, como la mejoría de la función mitocondrial con tan sólo 2 semanas de entrenamiento (Vincent et al., 2015), mejoría en el VO $_2$, disminución de la presión arterial y el nivel de glucosa en adultos con sobrepeso y obesidad (Gillen et al., 2014). En hombres sedentarios con sobrepeso u obesidad, la mejoría en la capacidad aeróbica y rendimiento en el ejercicio son dependientes de la intensidad y el volumen del ejercicio, pero los marcadores de capacidad oxidativa no lo son (Boyd et al., 2013). Otros efectos crónicos producidos por el HIIT son el aumento en el contenido de SIRT1 y su actividad en el núcleo celular en voluntarios activos sanos, lo que estimula la BM posiblemente vía activación de AMPK (Gurd et al., 2011) y en jugadores de fútbol que realizan una sesión a la semana de HIIT incrementa su desempeño con un concomitante incremento en el transportador de monocarboxilato 1 (MCT1) y mejoría en la economía de la carrera (Gunnarsson et al., 2012). Si además el HIIT se combina con ER, mejora la tolerancia a la

glucosa por medio del aumento en el transportador de glucosa 4 (Glut4) después de 12 semanas de entrenamiento en pacientes con esclerosis múltiple (Wens et al., 2017).

Los efectos crónicos que se han mostrado con entrenamiento aeróbico son mejoría en la respiración muscular y mitocondrial en pacientes sedentarios con obesidad con y sin diabetes mellitus tipo 2 (DM2) (Hey-Mogensen et al., 2010). Además, un análisis proteómico mostró que 12 semanas de EA en adolescentes con sobrepeso u obesidad mejora la expresión de un conjunto de proteínas que ayudan especialmente al metabolismo de la glucosa e incrementan la fosforilación oxidativa (Macías-Cervantes et al., 2014). Adicionalmente, si al EA se le combina con ER y se realiza por 12 semanas, tanto sujetos sanos como pacientes con DM2 incrementan su contenido mitocondrial a la par de la sensibilidad a la insulina (Phielix et al., 2010). La combinación de estos dos tipos de ejercicio ha creado controversia, algunos resultados mostraban que el EA podría afectar la adaptación de ER. Sin embargo, al comparar la combinación de estos ejercicios con sólo ER, el EA no compromete las vías anabólicas que son activadas por el ER; el entrenamiento combinado incrementó la expresión de las proteínas AKT y mTOR (la activación de la vía AKT-mTOR se considera importante en el desarrollo de masa muscular), mientras que el ER sólo incrementó mTOR (Kazior et al., 2016).

El efecto crónico del senderismo también ha sido motivo de investigación, en mujeres la exposición a hipoxia crónica induce modificaciones musculares que dañan el metabolismo aeróbico. Sin embargo, el ejercitarse en altitudes mayores es viable para estimular adaptaciones funcionales benéficas de los sistemas de transporte y utilización de oxígeno; es decir, rendimiento físico (Tam et al., 2016). Otra adaptación crónica encontrada inducida por este tipo de entrenamiento es que el músculo se comporta como un productor de sustratos activando la reprogramación metabólica capaz de mantener el ciclo del ácido cítrico, controlar la traducción de proteínas, evitar el gasto energético y activar la autofagia mediada por chaperonas (Levett et al., 2015).

CONCLUSIONES

La realización de biopsias en el área de la investigación para lograr mayor comprensión del efecto del ejercicio en diferentes tipos de sujetos bajo diversidad de

condiciones ha sido y seguirá siendo una herramienta clave. La biopsia es un procedimiento probado, seguro y bien tolerado por los participantes. Además, realizar investigaciones utilizando este procedimiento brindará mayor beneficio a la sociedad que los riesgos que implica; los riesgos se minimizan al máximo y no tiene efectos a largo plazo si se cuenta con el personal calificado para realizar las biopsias.

REFERENCIAS

- Archundia-Herrera, C., Macías-Cervantes, M., Ruiz-Munoz, B., Vargas-Ortiz, K., Kornhauser, C., & Perez-Vazquez, V. (2017). Muscle irisin response to aerobic vs HIIT in overweight female adolescents. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 9. doi: 10.1186/s13098-017-0302-5
- Boyd, J. C., Simpson, C. A., Jung, M. E., & Gurd, B. J. (2013). Reducing the intensity and volume of interval training diminishes cardiovascular adaptation but not mitochondrial biogenesis in overweight/obese men. *PLOS ONE*, 8(7), e68091. doi: 10.1371/journal.pone.0068091
- Charriere, M., & Duchenne, G. B. (1865). Emporte piece histologique. *Bull Academy National Medicine*, 30, 1050-1051.
- Cobley, J. N., Bartlett, J. D., Kayani, A., Murray, S. W., Louhelainen, J., Donovan, T., ... Close, G. L. (2012). PGC-1 α transcriptional response and mitochondrial adaptation to acute exercise is maintained in skeletal muscle of sedentary elderly males. *Biogerontology*, 13(6), 621-631. doi: 10.1007/s10522-012-9408-1
- Derry, K. L., Nicolle, M. N., Keith-Rokosh, J. A., & Hammond, R. R. (2009). Percutaneous muscle biopsies: Review of 900 consecutive cases at London Health Sciences Centre. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 36(2), 201-206. doi: 10.1017/s0317167100006569
- Dumke, C. L., Davis, J. M., Murphy, E. A., Nieman, D. C., Carmichael, M. D., Quindry, J. C., ... McAnulty, L. S. (2009). Successive bouts of cycling stimulates genes associated with mitochondrial biogenesis. *European Journal of Applied Physiology*, 107(4), 419-427. doi: 10.1007/s00421-009-1143-1
- Edgett, B. A., Bonafiglia, J. T., Baechler, B. L., Quadrilatero, J., & Gurd, B. J. (2016). The effect of acute and chronic sprint-interval training on LRP130, SIRT3, and PGC-1 α expression in human skeletal muscle. *Physiological Reports*, 4(17). doi: 10.14814/phy2.12879
- Edgett, B. A., Hughes, M. C., Matusiak, J. B., Perry, C. G., Simpson, C. A., & Gurd, B. J. (2016). SIRT3 gene expression but not SIRT3 subcellular localization is altered in response to fasting and exercise in human skeletal muscle. *Experimental Physiology*, 101(8), 1101-1113. doi: 10.1113/ep085744
- Elder, G. C., Bradbury, K., & Roberts, R. (1982). Variability of fiber type distributions within human muscles. *Journal of Applied Physiology*, 53(6), 1473-1480. doi: 10.1152/jappl.1982.53.6.1473
- Evans, W. J., Phinney, S. D., & Young, V. R. (1982). Suction applied to a muscle biopsy maximizes sample size.

- Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(1), 101-102. doi: 10.1249/00005768-198201000-00018
- Gillen, J. B., Percival, M. E., Skelly, L. E., Martin, B. J., Tan, R. B., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2014). Three minutes of all-out intermittent exercise per week increases skeletal muscle oxidative capacity and improves cardiometabolic health. *PLOS ONE*, 9(11), e111489. doi: 10.1371/journal.pone.0111489
 - Gunnarsson, T. P., Christensen, P. M., Holse, K., Christiansen, D., & Bangsbo, J. (2012). Effect of additional speed endurance training on performance and muscle adaptations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(10), 1942-1948. doi: 10.1249/MSS.0b013e31825ca446
 - Gurd, B. J., Yoshida, Y., McFarlan, J. T., Holloway, G. P., Moyes, C. D., Heigenhauser, G. J. F., ... Bonen, A. (2011). Nuclear SIRT1 activity, but not protein content, regulates mitochondrial biogenesis in rat and human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 301(1), R67-R75. doi: 10.1152/ajpregu.00417.2010
 - Henriksson, K. G. (1979). "Semi-open" muscle biopsy technique. A simple outpatient procedure. *Acta Neurologica Scandinavica*, 59(6), 317-323. doi: 10.1111/j.1600-0404.1979.tb02942.x
 - Hey-Mogensen, M., Højlund, K., Vind, B. F., Wang, L., Dela, F., Beck-Nielsen, H., ... Sahlin, K. (2010). Effect of physical training on mitochondrial respiration and reactive oxygen species release in skeletal muscle in patients with obesity and type 2 diabetes. *Diabetologia*, 53(9), 1976-1985. doi: 10.1007/s00125-010-1813-x
 - Highstead, R. G., Tipton, K. D., Creson, D. L., Wolfe, R. R., & Ferrando, A. A. (2005). Incidence of associated events during the performance of invasive procedures in healthy human volunteers. *Journal of Applied Physiology*, 98(4), 1202-1206. doi: 10.1152/jappphysiol.01076.2004
 - Holloszy, J. O. (1967). Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *Journal of Biological Chemistry*, 242(9), 2278-2282. doi: 10.1016/S0021-9258(18)96046-1
 - Hughes, M. C., Ramos, S. V., Turnbull, P. C., Nejatbakhsh, A., Baechler, B. L., Tahmasebi, H., ... Perry, C. G. R. (2015). Mitochondrial bioenergetics and fiber type assessments in microbiopsy vs. Bergstrom percutaneous sampling of human skeletal muscle. *Frontiers in Physiology*, 18. doi: 10.3389/fphys.2015.00360
 - Item, F., Nocito, A., Thony, S., Bachler, T., Boutellier, U., Wenger, R. H., & Toigo, M. (2013). Combined whole-body vibration, resistance exercise, and sustained vascular occlusion increases PGC-1 α and VEGF mRNA abundances. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 1081-1090. doi: 10.1007/s00421-012-2524-4
 - Iversen, N., Krstrup, P., Rasmussen, H. N., Rasmussen, U. F., Saltin, B., & Pilegaard, H. (2011). Mitochondrial biogenesis and angiogenesis in skeletal muscle of the elderly. *Experimental Gerontology*, 46(8), 670-678. doi: 10.1016/j.exger.2011.03.004
 - Kazior, Z., Willis, S. J., Moberg, M., Apró, W., Calbet, J. A. L., Holmberg, H.-C., & Blomstrand, E. (2016). Endurance exercise enhances the effect of strength training on muscle fiber size and protein expression of Akt and mTOR. *PLOS ONE*, 11(2), e0149082. doi: 10.1371/journal.pone.0149082
 - Levett, D. Z. H., Viganò, A., Capitanio, D., Vasso, M., de Palma, S., Moriggi, M., ... Gelfi, C. (2015). Changes in muscle proteomics in the course of the Caudwell Research Expedition to Mt. Everest. *PROTEOMICS*, 15(1), 160-171. doi: 10.1002/pmic.201400306
 - Lexell, J. (1993). Ageing and human muscle: Observations from Sweden. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(1), 2-18. doi: 10.1139/h93-002
 - Lexell, J., & Taylor, C. C. (1991). Variability in muscle fibre areas in whole human quadriceps muscle: Effects of increasing age. *Journal of Anatomy*, 174, 239-249. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1256058/>
 - Lexell, J., Henriksson-Larsen, K., & Sjöström, M. (1983). Distribution of different fibre types in human skeletal muscles 2. A study of cross-sections of whole m. vastus lateralis. *Acta Physiologica Scandinavica*, 117(1), 115-122. doi: 10.1111/j.1748-1716.1983.tb07185.x
 - Little, J. P., Safdar, A., Bishop, D., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2011). An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 300(6), R1303-R1310. doi: 10.1152/ajpregu.00538.2010
 - Little, J. P., Safdar, A., Cermak, N., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2010). Acute endurance exercise increases the nuclear abundance of PGC-1 α in trained human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 298(4), R912-R917. doi: 10.1152/ajpregu.00409.2009
 - Macías-Cervantes, M. H., Guzmán-Flores, J. M., Vargas-Ortiz, K., Díaz-Cisneros, F. J., Ramírez-Emiliano, J., & Pérez-Vázquez, V. (2014). Effect of aerobic exercise on protein expression in muscle of obese mexican adolescents: A proteomic and bioinformatic analysis. *Natural Science*, 6(9), 641-650. doi: 10.4236/ns.2014.69063
 - Neves, M., Jr., Barreto, G., Boobis, L., Harris, R., Roschel, H., Tricoli, V., ... Gualano, B. (2012). Incidence of adverse events associated with percutaneous muscular biopsy among healthy and diseased subjects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(2), 175-178. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01264.x
 - Paoli, A., Pacelli, Q. F., Toniolo, L., Miotti, D., & Reggiani, C. (2010). Latissimus dorsi fine needle muscle biopsy: A novel and efficient approach to study proximal muscles of upper limbs. *Journal of Surgical Research*, 164(2), E257-E263. doi: 10.1016/j.jss.2010.05.043
 - Perry, C. G. R., Kane, D. A., Herbst, E. A. F., Mukai, K., Lark, D. S., Wright, D. C., ... Holloway, G. P. (2012). Mitochondrial creatine kinase activity and phosphate shuttling are acutely regulated by exercise in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 590(21), 5475-5486. doi: 10.1113/jphysiol.2012.234682
 - Phielix, E., Meex, R., Moonen-Kornips, E., Hesselink, M. K. C., & Schrauwen, P. (2010). Exercise training increases mitochondrial content and ex vivo mitochondrial function similarly in patients with type 2 diabetes and in control individuals. *Diabetologia*, 53(8), 1714-1721. doi: 10.1007/s00125-010-1764-2

- Pilegaard, H., Saltin, B., & Neufer, P. D. (2003). Exercise induces transient transcriptional activation of the PGC-1 α gene in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 546(3), 851-858. doi: 10.1113/jphysiol.2002.034850
- Psilander, N., Frank, P., Flockhart, M., & Sahlin, K. (2013). Exercise with low glycogen increases PGC-1 α gene expression in human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 951-963. doi: 10.1007/s00421-012-2504-8
- Psilander, N., Wang, L., Westergren, J., Tonkonogi, M., & Sahlin, K. (2010). Mitochondrial gene expression in elite cyclists: Effects of high-intensity interval exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 110(3), 597-606. doi: 10.1007/s00421-010-1544-1
- Ringholm, S., Biensø, R. S., Kilerich, K., Guadalupe-Grau, A., Aachmann-Andersen, N. J., Saltin, B., ... Pilegaard, H. (2011). Bed rest reduces metabolic protein content and abolishes exercise-induced mRNA responses in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 301(4), E649-E658. doi: 10.1152/ajpendo.00230.2011
- Saleem, A., Carter, H. N., Iqbal, S., & Hood, D. A. (2011). Role of p53 within the regulatory network controlling muscle mitochondrial biogenesis. *Exercise and Sport Science Reviews*, 39(4), 199-205. doi: 10.1097/JES.0b013e31822d71be
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (2011). Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. *Comprehensive Physiology*. doi: 10.1002/cphy.cp100119
- Scarpulla, R. C. (2011). Metabolic control of mitochondrial biogenesis through the PGC-1 family regulatory network. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1813(7), 1269-1278. doi: 10.1016/j.bbamcr.2010.09.019
- Scribbans, T. D., Edgett, B. A., Vorobej, K., Mitchell, A. S., Joannis, S. D., Matusiak, J. B. L., ... Gurd, B. J. (2014). Fibre-specific responses to endurance and low volume high intensity interval training: Striking similarities in acute and chronic adaptation. *PLOS ONE*, 9(6), e98119. doi: 10.1371/journal.pone.0098119
- Shanely, R. A., Zwetsloot, K. A., Triplett, N. T., Meaney, M. P., Farris, G. E., & Nieman, D. C. (2014). Human skeletal muscle biopsy procedures using the modified Bergström technique. *Journal of Visualized Experiments*, 10(91). doi: 10.3791/51812
- Skovgaard, C., Brandt, N., Pilegaard, H., & Bangsbo, J. (2016). Combined speed endurance and endurance exercise amplify the exercise-induced PGC-1 α and PDK4 mRNA response in trained human muscle. *Physiological Reports*, 4(14). doi: 10.14814/phy2.12864
- Tam, E., Bruseghini, P., Calabria, E., Dal Sacco, L., Doria, C., Grassi, B., ... Capelli, C. (2016). Gokyo Khumbu/Ama Dablam Trek 2012: Effects of physical training and high-altitude exposure on oxidative metabolism, muscle composition, and metabolic cost of walking in women. *European Journal of Applied Physiology*, 116(1), 129-144. doi: 10.1007/s00421-015-3256-z
- Tarnopolsky, M. A., Pearce, E., Smith, K., & Lach, B. (2011). Suction-modified Bergström muscle biopsy technique: Experience with 13,500 procedures. *Muscle & Nerve*, 43(5), 716-725. doi: 10.1002/mus.21945
- Uguccioni, G., D'souza, D., & Hood, D. A. (2010). Regulation of PPAR γ coactivator-1 α function and expression in muscle: Effect of exercise. *PPAR Research*, 2010. doi: 10.1155/2010/937123
- Vargas-Ortiz, K., Perez-Vazquez, V., Diaz-Cisneros, F. J., Figueroa, A., Jiménez-Flores, L. M., Rodríguez-DelaRosa, G., & Macias, M. H. (2015). Aerobic training increases expression levels of SIRT3 and PGC-1 α in skeletal muscle of overweight adolescents without change in caloric intake. *Pediatric Exercise Science*, 27(2), 177-184. doi: 10.1123/pes.2014-0112
- Vincent, G., Lamon, S., Gant, N., Vincent, P. J., MacDonald, J. R., Markworth, J. F., ... Hickey, A. J. R. (2015). Changes in mitochondrial function and mitochondria associated protein expression in response to 2-weeks of high intensity interval training. *Frontiers in Physiology*, 6(51). doi: 10.3389/fphys.2015.00051
- Viru, A., & Viru, M. (2003). *Análisis y control del rendimiento deportivo*. Barcelona, Madrid: Paidotribo.
- Wens, I., Dalgas, U., Vandenberghe, F., Verboven, K., Hansen, D., Deckx, N., ... Eijnde, B. O. (2017). High intensity aerobic and resistance exercise can improve glucose tolerance in persons with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 96(3), 161-166. doi: 10.1097/phm.0000000000000563
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise* (2a. ed.). IL, US: Human Kinetics.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Las aflatoxinas en el sector agropecuario y el potencial de los adsorbentes derivados de plantas

Aflatoxins in the agricultural sector and the potential of plant-derived adsorbents

María de Jesús Nava-Ramírez*✉, Alma Vázquez-Durán*, Abraham Méndez-Albores*

Nava-Ramírez, M. J., Vázquez-Durán, A., & Méndez-Albores, A. (2021). Las aflatoxinas en el sector agropecuario y el potencial de los adsorbentes derivados de plantas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e2912. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021842912>

RESUMEN

Diversas especies de hongos filamentosos producen metabolitos secundarios altamente tóxicos denominados micotoxinas. Dentro del grupo de las micotoxinas están las aflatoxinas, las cuales son ubicuas en los alimentos y extremadamente tóxicas para los seres vivos. Por esta razón se han investigado y desarrollado estrategias de descontaminación basadas en procedimientos físicos, químicos y biológicos. Generalmente, las estrategias físicas son altamente efectivas, principalmente con el uso de adsorbentes. Los adsorbentes son compuestos con capacidad de unir a las micotoxinas, por lo que limitan su absorción en el tracto gastrointestinal de los animales. Sin embargo, una de las desventajas de los adsorbentes inorgánicos es la sorción de micronutrientes de la dieta y/o liberación de

Palabras clave: micotoxinas; aflatoxina B₁; bioadsorbentes; adsorción; inocuidad; alimentos.

Keywords: mycotoxins; aflatoxin B₁; biosorbents; adsorption; feed safety; feed.

Recibido: 30 de octubre de 2020 Aceptado: 23 de julio de 2021

* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Unidad de Investigación Multidisciplinaria L14 (Alimentos, Micotoxinas, y Micotoxicosis), Universidad Nacional Autónoma de México. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, San Sebastián Xhala, C. P. 54714, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. Correo electrónico: mari_551293@comunidad.unam.mx; almavazquez@comunidad.unam.mx; albores@unam.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5168-1684>; <https://orcid.org/0000-0001-5978-2375>; <https://orcid.org/0000-0002-6403-5216>

✉ Autora para correspondencia

componentes tóxicos. Consecuentemente, esta revisión tiene como objetivo proporcionar algunas generalidades de las aflatoxinas y sus efectos en los animales, así como la efectividad de algunos materiales derivados de las plantas para su adsorción. Finalmente, se presentan las conclusiones y las necesidades futuras de investigación.

ABSTRACT

Several species of filamentous fungi have the ability to synthesize highly toxic secondary metabolites named mycotoxins. Within this group there are aflatoxins, which are ubiquitous in food and extremely toxic to both humans and animals. For this reason, decontamination strategies based on physical, chemical, and biological procedures have been investigated and developed. Generally, physical strategies are highly effective, mainly with the use of adsorbent materials. Adsorbents are compounds with the ability to bind mycotoxins, thus limiting their absorption in the gastrointestinal tract of animals. However, one of the disadvantages of inorganic adsorbents is the sorption of micronutrients from the diet and/or the release of toxic components. Consequently, this review provides an overview of the aflatoxins and their effects on animals, as well as the effectiveness of certain plant-derived materials for their adsorption. Finally, conclusions and future research needs are presented.

INTRODUCCIÓN

Algunas especies de hongos filamentosos como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Claviceps* y *Alternaria* sintetizan metabolitos secundarios de bajo peso molecular altamente tóxicos llamados micotoxinas (Huwig, Freimund, Käppeli, & Dutler, 2001). Dichos géneros producen micotoxinas como las aflatoxinas (*Aspergillus*), las fumonisinas (*Fusarium*), la ocratoxina A (*Aspergillus* y *Penicillium*), los tricotecenos (*Fusarium*), y la zearalenona (*Fusarium*) (Bhat, Rai, & Karim, 2010).

Se ha investigado la presencia de micotoxinas en los granos y raciones a nivel mundial y se ha reportado que generalmente el contenido de micotoxinas es bajo y frecuentemente está presente más de una. Las micotoxinas pueden encontrarse en los alimentos y son tóxicas para humanos y animales, originando enfermedades y trastornos denominados micotoxicosis. Además, suelen causar pérdidas económicas significativas en la producción animal. La presencia de las aflatoxinas (AF) en los alimentos es muy común. Diversos análisis de muestras de alimentos revelan que la cantidad contenida de aflatoxina B₁ (AFB₁) es 10 veces mayor en comparación con otras como la aflatoxina B₂ (AFB₂), la aflatoxina G₁ (AFG₁), y la aflatoxina G₂ (AFG₂) (Marín, Ramos, Cano-Sancho, & Sanchis, 2013).

Se han propuesto estrategias de descontaminación de AF de carácter integral a lo largo de toda la cadena de producción (Vila-Donat, Marín, Sanchis, & Ramos, 2018). Los métodos de control incluyen pueden ser físicos, químicos y biológicos. Las estrategias físicas son consideradas las más efectivas, principalmente con el uso de adsorbentes (Diaz, 2008). Existen dos tipos de adsorbentes: inorgánicos y orgánicos (también llamados bioadsorbentes). Los más usados en la producción animal son los inorgánicos; sin embargo, se ha reportado que éstos también son capaces de adsorber micronutrientes de la dieta y/o liberar compuestos tóxicos para los animales, como las dioxinas y ciertos metales pesados (Zavala-Franco et al., 2018). Recientemente se ha mostrado interés en el estudio de los adsorbentes orgánicos (derivados de plantas) que son seguros, rentables y altamente efectivos (Bueno, Salvano, Silva, González, & Oliver, 2001).

Antecedentes en el estudio de las aflatoxinas

Existe un grupo ampliamente estudiado que forma parte de las micotoxinas: las AF, un conjunto de metabolitos relacionados estructuralmente, sintetizados principalmente por hongos del género

Aspergillus flavus, *A. parasiticus*, *A. pseudotamarii* y *A. nomius* (Bhat et al., 2010). Las principales AF están subdivididas en los grupos B (*blue*) y G (*green*), debido a la fluorescencia azul o verde que éstas presentan con la luz ultravioleta ($\lambda = 365$ nm) y se denominan como AFB₁, AFB₂, AFG₁ y AFG₂.

Por otra parte, la aflatoxina M₁ (AFM₁) y la aflatoxina M₂ (AFM₂) son derivados metabólicos hidroxilados (de ahí su designación M, *milk*), los cuales se eliminan en la leche de los animales que ingieren raciones contaminadas con AFB₁ y AFB₂, respectivamente (Méndez-Albores & Martínez-Moreno, 2009). Los subíndices 1 y 2 refieren a la movilidad que éstas presentan en la cromatografía de capa fina (según su peso molecular) (Carvajal, 2013). El orden de toxicidad de las aflatoxinas, de mayor a menor es: AFB₁ < AFM₁ < AFG₁ < AFM₂ < AFB₂ < AFG₂; de las cuales, la AFB₁ es la sustancia tóxica de mayor frecuencia y la que se presenta en mayor contenido en los productos alimenticios, seguida por la AFG₁ (Méndez-Albores & Martínez-Moreno, 2009).

Estructura química de las aflatoxinas

En la figura 1 se ilustra la estructura química de las AF, formada por un núcleo cumarínico, otro bifurano y se dividen en dos grupos: el primero, conformado con una ciclopentenona como la AFB₁, AFB₂, el aflatoxicol, la AFM₁, y la AFM₂ y el segundo grupo, conformado con lactonas (AFG₁ y AFG₂). El núcleo bifurano ocasiona que la molécula tenga mayor rigidez. Además, la AFB₁ y la AFG₁ tienen un enlace insaturado en la posición 8,9 en el anillo de furano terminal (Boudergue et al., 2009).

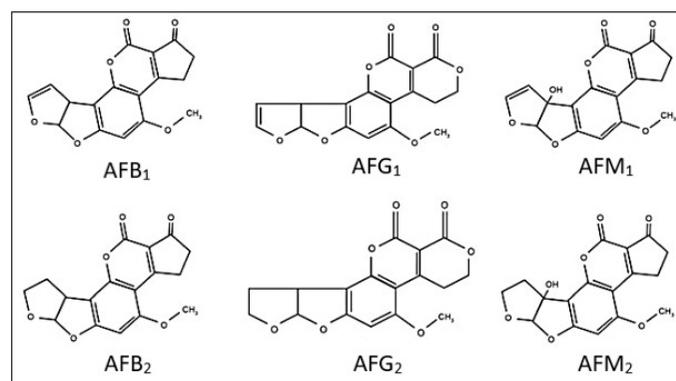


Figura 1. Estructura química de las aflatoxinas. Imagen tomada de Carvajal (2013).

Condiciones para el crecimiento del hongo *Aspergillus*

Existen factores que influyen en el crecimiento fúngico y la posterior producción de micotoxinas en los alimentos: los factores físicos incluyen condiciones ambientales para la colonización del hongo y la producción de las AF (humedad del grano, humedad relativa del ambiente, actividad de agua, temperatura, y la integridad física de los granos). Los factores químicos incluyen el pH, el dióxido de carbono, el oxígeno,

la composición del sustrato y los micronutrientes disponibles. Finalmente, los factores biológicos se basan en las interacciones entre hongo y sustrato (presencia de insectos, carga de esporas, variedad de plantas y condiciones de estrés, entre otros) (Zain, 2011). En la tabla 1 se muestran las condiciones óptimas para el crecimiento del hongo *Aspergillus*.

Tabla 1
Condiciones óptimas para el crecimiento de Aspergillus

Factor	Rango	Óptimo
Temperatura (°C)	12 – 43	27 – 30
Humedad relativa (%)	62 – 99	85
pH	2.2 – 8	5 – 6
Actividad de agua (a_w)	0.77 – 0.88	0.82 – 0.99
Humedad del grano (%)	13 – 20	18

Nota: Adaptada de Denli y Pérez (2006) y Villers (2014).

Ocurrencia de las aflatoxinas

Se estima que entre 25% y 40% de los cereales producidos a nivel mundial están contaminados con una o varias micotoxinas (Sarrocco, Mauro, & Battilani,

2019). Distintos países han establecido regulaciones para proteger a su población de la exposición a las AF; en la tabla 2 se muestran los límites de tolerancia de las AF en los cereales.

Tabla 2
Límite de tolerancia de aflatoxinas en cereales

País	Materia prima	Límite de tolerancia ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Unión Europea	Todos los cereales excepto maíz y arroz (total)	4
	Maíz y arroz para procesamiento (total)	10
	Todos los cereales (AFB_1)	2
Estados Unidos	Todos los cultivos alimentarios (total)	20
México	Todos los cereales	20
Japón	Todos los cultivos alimentarios	10
China	Maíz	20
	Trigo, cebada, otros cereales (sin arroz)	5

Nota: Total: AFB_1 , AFB_2 , AFG_1 y AFG_2 .

Adaptada de Méndez-Albores y Martínez-Moreno (2009), Ndagijimana et al. (2020) y Sarrocco et al. (2019).

Existe la Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones Sanitarias (Secretaría de Salud, 15 de octubre de 2002), de observancia obligatoria en el territorio nacional que establece el límite máximo permisible de AF en cereales para consumo animal, así como su correcto transporte y almacenamiento. En el Apéndice A de la misma, de los límites permitidos para el consumo animal, se señala que los cereales

con un contenido mayor de 20 µg/kg serán destinados al consumo animal y deberán ajustarse a lo dispuesto en la tabla 3 (NOM-188-SSA1-2002). La regulación para AFM₁ en productos lácteos según la Unión Europea permite hasta 0.05 µg/kg en leche líquida; mientras que en México según la NOM-243-SSA1-2010 (Secretaría de Salud, 27 de septiembre de 2010) se permite hasta 0.5 µg/kg en leche líquida y 5 µg/kg en leche en polvo.

Tabla 3

Límites permitidos de aflatoxinas en cereales para consumo animal

Especie/etapa de producción	Límite máximo (µg/kg)
Aves (excepto pollos de engorda)	100
Cerdos en engorda:	
Entre 25 y 45 kg	100
>45 kg	200
Maduros destinados a la reproducción	100
Rumiantes:	
Maduros destinados a la reproducción	100
De engorda en etapa de finalización	300

Nota: Tomada de SSA (15 de octubre de 2002).

Metabolismo de las aflatoxinas

Se ha reportado que la AFB₁ no es una molécula tóxica *per se*; sin embargo, cuando es metabolizada su resultado determina la toxicidad (Moss, 2002). Cuando es ingerida se absorbe en el tracto gastrointestinal (TGI) mediante difusión pasiva, posteriormente pasa al torrente sanguíneo, ahí se une a ciertas proteínas plasmáticas, las cuales evitan su difusión, otro porcentaje queda libre en la circulación para atravesar las membranas de los capilares y así llega a algunos órganos, además es transportada vía porta al hígado, su órgano blanco, para ser metabolizada. Las principales reacciones involucradas en el metabolismo de la AFB₁ son la hidroxilación, oxidación y desmetilación (Campagnollo et al., 2016). Cuando la AFB₁ sufre una oxidación es activada y metabolizada por enzimas microsomales de la superfamilia del citocromo P450 (CYP450) de las células del hígado al compuesto reactivo AFB₁-8,9-epóxido (AFBO), el cual es tóxico y cancerígeno.

La enzima CYP3A4 interviene para formar exo-epóxido y el metabolito AFQ₁ (hidroxilación) y la CYP1A2 interviene formando endo-epóxido y AFM₁ (hidroxilación) (Ornelas-Aguirre & Fimbres-Morales,

2015). El mecanismo de acción de AFBO es el de inhibir la síntesis de proteínas a través de las interacciones con el ARN y con el ADN formando aductos, los cuales inducen daño celular y, posteriormente, muerte celular. La enzima glutatión-S-transferasa (GST) puede mediar la reacción entre la AFBO y el glutatión (GSH) (denominada conjugación) para formar el conjugado AFB₁-SG; esta conjugación de tipo competitivo neutraliza la toxicidad de la AFBO, lo cual representa el paso de detoxificación más relevante e importante en comparación con otros tipos de biotransformación (Campagnollo et al., 2016).

Dicha vía de detoxificación puede dar como resultado la formación de AFB₁-8,9-dihidrodiol, o puede ser hidrolizada por un epóxido hidrolasa para generar un dihidrodiol (dhd-AFB₁), el cual puede reaccionar con las proteínas y tener efectos citotóxicos (Ornelas-Aguirre & Fimbres-Morales, 2015). Los estudios han evidenciado que la eficiente conjugación de la AFBO con el GSH mediante una GST es el principal determinante de la susceptibilidad de las especies ante la toxicidad de la AFB₁, independientemente de la activación mediada por el CYP450. La deficiencia o

falta de GST funcional es una de las principales razones por las que ciertos individuos son extremadamente susceptibles a la toxicidad inducida por la AFB₁ (Rawal, Kim, & Coulombe, 2010).

Efectos de las aflatoxinas en los animales

Según la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC) la AFB₁ está clasificada en el grupo 1, como una sustancia con alto poder cancerígeno

en humanos y la AFM₁ en el grupo 2B, como una sustancia posiblemente cancerígena (IARC, 1995). Los efectos de las aflatoxinas mostrados en la tabla 4 son similares en la mayoría de los animales; sin embargo, la susceptibilidad varía entre especie, edad, raza, sexo y estado nutricional y es posible categorizar una aflatoxicosis como aguda o crónica (Magnoli et al., 2011).

Tabla 4

Efectos negativos en los animales que consumen alimento contaminado con AFB₁

Especie	Algunos efectos negativos de la AFB ₁
Aves	Daño hepático (hepatomegalia, hemorragias, palidez, degeneración hidrópica, proliferación y dilatación de los conductos biliares, fibrosis periportal), alteración en la digestión, aumento de la morbilidad y la mortalidad, cambios en ciertos parámetros bioquímicos, inmunosupresión, anorexia, disminución del crecimiento, baja postura y palidez de las mucosas y las patas, y daños en la integridad intestinal
Cerdos	Daño hepático (edema, congestión, hígado friable, petequias, infiltración grasa, necrosis centrolobulillar e hiperplasia de los conductos biliares), baja tasa de crecimiento, problemas gastrointestinales, anorexia, diarrea, cambios en la reproducción, inmunosupresión y muerte
Caballos	Anorexia, depresión, claudicación, ictericia, necrosis hepática centrolobulillar, hepatomegalia, hemosiderina fagocitada en las células de Kupffer, hiperplasia de los conductos biliares, hemorragia entérica, lesiones miocárdicas y congestión renal
Rumiantes	Ictericia, pérdida rápida de peso, reducción de la ingesta de alimento, escasa producción de leche, fibrosis con proliferación de conductos biliares, proliferación de tejido conectivo, degeneración de los hepatocitos, inmunosupresión y muerte

Nota: Adaptada de Hernández-Ramírez et al. (2020) y Vila-Donat et al. (2018).

Estrategias de descontaminación

Los métodos para el control de la exposición a hongos y micotoxinas son principalmente preventivos a lo largo de la cadena productiva de alimentos (planta, crecimiento, cosecha, almacenamiento y distribución) (Vila-Donat et al., 2018). Los métodos de control y prevención de micotoxinas incluyen estrategias físicas, químicas y biológicas. Las físicas son consideradas las más efectivas, principalmente con el uso de adsorbentes.

Adsorbentes

Los agentes descontaminantes se dividen en adsorbentes y biotransformantes; a su vez, los adsorbentes se dividen en orgánicos e inorgánicos. Los adsorbentes son compuestos de elevado peso molecular con capacidad de unir a las micotoxinas. En la figura 2 se esquematiza su modo de acción, los

cuales limitan la absorción de la AFB₁ en el TGI de los animales y previenen sus efectos tóxicos (Kolossova & Stroka, 2011).

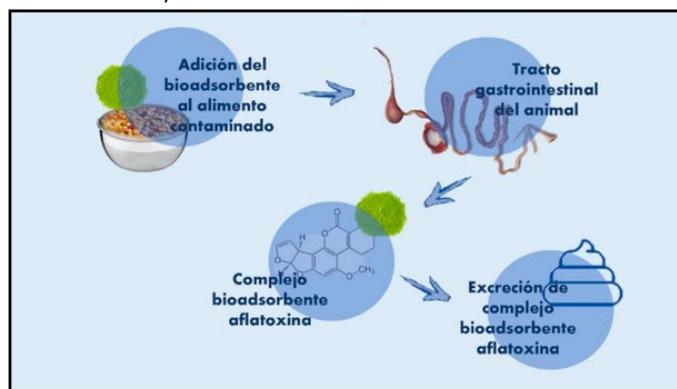


Figura 2. Modo de acción de los adsorbentes. Elaboración propia.

Las micotoxinas se unen a los adsorbentes por mecanismos como puentes de hidrógeno, uniones hidrofóbicas, atracción electrostática, intercambio iónico, complejación, quelación y precipitación; los cuales llevan a su inmovilización. Algunos adsorbentes están compuestos por polisacáridos, proteínas, lípidos y grupos funcionales: carboxilo, carboxilato, hidroxilo, fosfato y amino; así como sitios de adsorción hidrofóbica: cadenas de carbono alifáticas y anillos aromáticos (Méndez-Albores et al., 2020).

La adsorción física o fisorción normalmente es un fenómeno reversible, como lo son las interacciones de Van der Waals y las interacciones de atracción electrostática, las cuales incluyen interacciones de polarización, dipolo y cuadrupolo. Estas interacciones son importantes en el caso de los adsorbentes con una estructura iónica como la de las zeolitas (Di Gregorio et al., 2014). En la adsorción química o quimisorción existe un intercambio de electrones entre el adsorbente y el adsorbato, con lo que se forma una capa sobre superficie sólida de manera irreversible, lo que implica una considerable cantidad de energía (Di Gregorio et al., 2014).

Las interacciones fisicoquímicas entre la superficie del adsorbente y la toxina como la adsorción física, el intercambio iónico y la complejación, son rápidos y también pueden ser reversibles. Así se forma un complejo relativamente estable micotoxina-adsorbente, aún en pH variable a través de todo el TGI del animal, hasta ser eliminado en las heces. La estabilidad del complejo está influenciada por las propiedades físicas del adsorbente como carga total y distribución de carga, tamaño de los poros, área superficial accesible y propiedades fisicoquímicas de las toxinas: polaridad, solubilidad, peso molecular y forma; en el caso de compuestos ionizados también es importante la distribución de carga y las constantes de disociación (Vila-Donat et al., 2018).

Adsorbentes orgánicos de aflatoxinas

Se han realizado estudios con adsorbentes inorgánicos [aluminosilicatos, aluminosilicato de calcio y sodio hidratado (HSCAS), arcillas de esmectita, y tectosilicatos] para comprobar su eficacia al adsorber micotoxinas; sin embargo, muchos de ellos presentan algunas desventajas, ya que además de adsorber AF adsorben indiscriminadamente micronutrientes de la dieta y además tienen la posibilidad de liberar componentes tóxicos, como ciertos metales pesados y dioxinas (Zavala-Franco et al., 2018). Es por esto que en los últimos años se ha mostrado un gran interés en el estudio de los adsorbentes orgánicos, ya que son seguros, rentables y efectivos. Existen numerosos

adsorbentes orgánicos (fibras de plantas, extractos de paredes celulares de levadura y bacterias) que han sido prometedores en su eficacia de adsorción de AF (en modelos in vitro e in vivo), aunque pocos han sido investigados en modelos in vivo (Bueno et al., 2001).

Los compuestos principales de las paredes celulares de levadura (YCW) son carbohidratos, pertenecientes al grupo de oligosacáridos presentes en 85-90% y son principalmente β -glucanos y mananoligosacáridos (MOS); el 10-15% restante son proteínas. Las YCW tienen diversos mecanismos de unión, como enlaces de hidrógeno, interacciones iónicas e hidrofóbicas, los cuales interactúan con las AF. Se ha sugerido que la estructura tridimensional de la YCW, que consiste mayormente en oligosacáridos, es capaz de reaccionar con las AF (Gómez Verduzco et al., 2009). El carbón activado es un polvo no soluble y es formado por la pirólisis de ciertos materiales orgánicos. Su capacidad de adsorción de AF está determinada por su alta área superficial, su distribución de tamaño de poro y de la materia prima de la cual proviene (Kolossova & Stroka, 2011).

Los resultados variables de diversos grupos de investigación ante el uso del carbón activado sugieren que puede ser no tan eficaz en la unión de AF (Jard, Liboz, Mathieu, Guyonvarc'h, & Lebrihi, 2011). Los ácidos húmicos son compuestos químicos ubicuos que derivan de materia orgánica del suelo o humus, que se forma mediante la descomposición de plantas y material animal. Los ácidos húmicos tienen alta afinidad para unir compuestos, entre ellos las AF. Además, se han obtenido hallazgos de estudios in vitro de ácidos húmicos procedentes de la descomposición natural de materiales orgánicos vegetales, los cuales también tienen la capacidad de adsorber AFB₁ (Santos, Vermuelen, Haritova, & Fink-Gremmels, 2011).

Los componentes de las plantas incluyen los fenólicos, flavonoides, cumarinas, clorofila y derivados como la clorofilina. Todos estos tienen propiedades quimioprotectoras contra compuestos cancerígenos como la AFB₁ (Boudergue et al., 2009). La clorofila y su derivado soluble en agua, la clorofilina, se han estudiado como antígenotóxicos, antioxidantes y anticancerígenos. Se hipotetiza que el efecto antígenotóxico de la clorofilina está mediado por el anillo de porfirina, ya sea eliminando radicales libres o formando complejos estables con carcinógenos como la AFB₁; bloqueando su biodisponibilidad, impidiendo su adsorción y mejorando su eliminación en las heces, lo cual conduce a una reducción

del daño al ADN (Nagini, Palitti, & Natarajan, 2015). Algunos autores han demostrado los efectos positivos de la clorofila, que incluyen propiedades quimiopreventivas, antimutágenas, inducen la producción de enzimas depurativas de la fase II y reducen la biodisponibilidad de la AFB₁ (Nava-Ramírez et al., 2021; Simonich et al., 2007).

La tecnología de la bioadsorción se ha considerado una alternativa óptima con alta eficiencia, costos bajos, niveles mínimos de inclusión, sin la reducción del valor nutricional de las dietas contaminadas y con un tratamiento sostenible de los biomateriales, generalmente considerados desecho. Los biomateriales agrícolas de desecho como paja, cáscaras de nueces, avellanas, almendras y coco; las semillas y la pulpa de frutas; los olotes de maíz, los guisantes y las fibras micronizadas obtenidas del trigo; la cebada, la alfalfa, la avena y las cáscaras de guisantes están formados principalmente por celulosa, lignina, hemicelulosa, pectina, lípidos, entre otros compuestos que son ricos en diferentes grupos funcionales responsables de la unión con los contaminantes (Aoudia, Callu, Grosjean, & Larondelle, 2009).

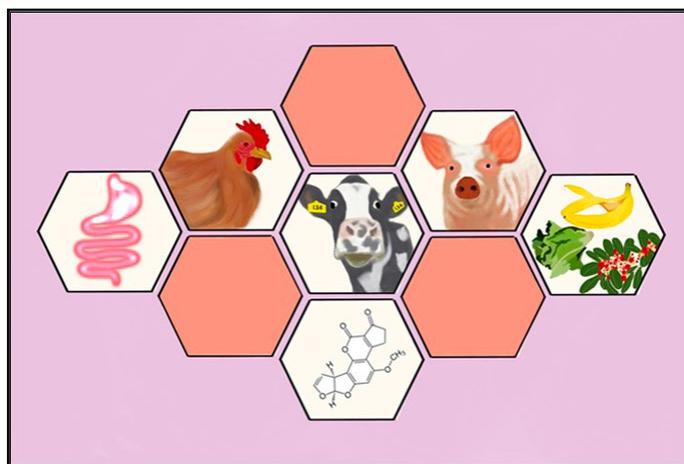


Figura 3. Importancia de los adsorbentes derivados de plantas en el sector agropecuario. Imagen tomada de Nava-Ramírez et al. (2021).

En general, los bioadsorbentes tienen una estructura porosa, con cavidades y canales que proporcionan gran volumen por unidad de superficie, lo que es altamente favorable en el proceso de adsorción; en la figura 3 puede observarse una ilustración alusiva. El diámetro medio de los poros (< 1 µm) podría favorecer significativamente la difusión y la adsorción de las micotoxinas. Los mecanismos de biosorción son simples o múltiples intercambios iónicos, complejas construcciones, adsorción, interacciones

electrostáticas y formación de complejos de quelato (Bočarov-Stančić et al., 2018). En este sentido, algunos estudios reportan porcentajes de adsorción altos de AF en el orujo de uva (82%), algarrobo (100%), orujo de oliva (74%), los tallos de uva micronizados (96%), las hojas+bayas de *Pyracantha koidzumii* (82%) y algunas ligninas de plantas aromáticas (80%) (Avantaggiato, Greco, Damascelli, Solfrizzo, & Visconti, 2014, Fernandes & Baeyens, 2019, Greco, D'Ascanio, Santovito, Logrieco, & Avantaggiato, 2019, Rmales-Valderrama, Vázquez-Durán, & Méndez-Albores, 2016).

El presente grupo de trabajo ha realizado diversos estudios in vitro e in silico para conocer la capacidad de adsorción de AFB₁ de la cáscara de plátano (28%), las hojas de *Pyracantha* (46%) y el polvo de Aloe vera (69%) (Méndez-Albores et al., 2020; Zavala-Franco et al., 2018). Recientemente, el grupo de trabajo realizó estudios in vitro usando lechuga (*Lactuca sativa* L.), cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) y hojas de *Pyracantha* a niveles bajos de inclusión (0.1% y 0.5% p/p), en un modelo que simula ciertas condiciones del TGI de las aves (pollos de engorda). En estos experimentos, el bioadsorbente a base de lechuga a un nivel de inclusión de 0.1%, en un pH de 7, presentó el mejor porcentaje de adsorción de AFB₁ (95%); lo que sugiere que la lechuga tiene una capacidad significativa para adsorber AFB₁ en algunos compartimentos del TGI de las aves (Nava-Ramírez et al., 2021). Por su alta eficiencia a niveles bajos de inclusión la lechuga promete ser un candidato ideal para la adsorción de AFB₁ en modelos in vivo. La investigación en esta dirección está en progreso en los laboratorios del presente grupo de trabajo.

CONCLUSIONES

Debido al carácter ubicuo de las AF y a los efectos negativos que provocan en los animales se han desarrollado diversas tecnologías para su eliminación. Recientemente se ha demostrado que los bioadsorbentes son eficientes, baratos y renovables. Debido a su abundancia, estabilidad y efectividad para la adsorción de las AF en un amplio rango de pH y temperatura, y sobre todo por los niveles bajos de inclusión, los bioadsorbentes, podrían ser altamente efectivos para la remoción de la AFB₁ presente en los alimentos.

Necesidades futuras de investigación

Las investigaciones futuras se podrían enfocar en realizar más estudios in vitro que simulen las condiciones del TGI de los animales y evaluar los bioadsorbentes con niveles bajos de inclusión (hasta 0.5% p/v) y con desafío a contenidos reales de AF y/o múltiples micotoxinas. Sería conveniente realizar otros estudios in vivo para demostrar la efectividad de los bioadsorbentes en la reducción de AFB₁ sin comprometer la biodisponibilidad de los micronutrientes de la dieta. De esta manera, se consideraría a estos biomateriales como competitivos en el mercado de los adsorbentes comerciales.

REFERENCIAS

- Aoudia, N., Callu, P., Grosjean, F., & Larondelle, Y. (2009). Effectiveness of mycotoxin sequestration activity of micronized wheat fibres on distribution of ochratoxin A in plasma, liver and kidney of piglets fed a naturally contaminated diet. *Food and Chemical Toxicology*, 47(7), 1485-1489. doi: 10.1016/j.fct.2009.03.033
- Avantaggiato, G., Greco, D., Damascelli, A., Solfrizzo, M., & Visconti, A. (2014). Assessment of multi-mycotoxin adsorption efficacy of grape pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(2), 497-507. doi: https://doi.org/10.1021/jf404179h
- Bhat, R., Rai, R. V., & Karim, A. A. (2010). Mycotoxins in food and feed: Present status and future concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1), 57-81. doi: 10.1111/j.1541-4337.2009.00094.x
- Bočarov Stančić, A. S., Lopičić, Z. R., Bodroža Solarov, M. I., Stanković, S. Ž., Janković, S. M., Milojković, J. V., & Krulj, J. A. (2018). In vitro removing of mycotoxins by using different inorganic adsorbents and organic waste materials from Serbia. *Food and Feed Research*, 45(2), 87-96. doi: 10.5937/FFR1802087B
- Boudergue, C., Burel, C., Dragacci, S., Favrot, M.-C., Fremy, J.-M., Massimi, C., ... Avantaggiato, G. (2009). Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: Mode of action, efficacy and feed/food safety. *EFSA Journal*, 6(9), 22E. doi: 10.2903/sp.efsa.2009.EN-22
- Bueno, D. J., Salvano, M., Silva, J. O., González, S. N., & Oliver, G. (2001). Micotoxinas: Diagnóstico y prevención en aves de corral. *Boletín Micológico*, 16, 23-36. doi: 10.22370/bolmicol.2001.16.0.457
- Campagnollo, F. B., Ganev, K. C., Khaneghah, A. M., Portela, J. B., Cruz, A. G., Granato, D., ... Sant'Ana, A. S. (2016). The occurrence and effect of unit operations for dairy products processing on the fate of aflatoxin M1: A review. *Food Control*, 68(C), 310-329. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.04.007
- Carvajal, M. (2013). Transformación de la aflatoxina B₁ de alimentos, en el cancerígeno humano, aducto AFB₁-ADN. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 16(2), 109-120. doi: 10.1016/S1405-888X(13)72082-5
- Denli, M., & Pérez, J. F. (2006). Contaminación por micotoxinas en los piensos: efectos, tratamiento y prevención. XXII Curso de Especialización. FEDNA, 1-18.
- Di Gregorio, M. C., de Neeff, D. V., Jager, A. V., Corassin, C. H., de Pinho Carão, Á. C., Albuquerque, R., ... Fernandes Oliveira, C. A. (2014). Mineral adsorbents for prevention of mycotoxins in animal feeds. *Toxin Reviews*, 33(3), 125-135. doi: 10.3109/15569543.2014.905604
- Diaz, D. E. (2008). A review on the use of mycotoxin sequestering agents in agricultural livestock production. *Food Contaminants*, 1001. 125-150. doi: 10.1021/bk-2008-1001.ch007
- Fernandes, M. M., & Baeyens, B. (2019). Cation exchange and surface complexation of lead on montmorillonite and illite including competitive adsorption effects. *Applied Geochemistry*, 100, 190-202. doi: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.11.005
- Gómez Verduzco, G., Cortés Cuevas, A., López Coello, C., Arce Menocal, J., Vásquez Pelaez, C., & Ávila González, E. (2009). Comportamiento productivo y respuesta inmune de pollos alimentados con dietas sorgo-soya con y sin aflatoxina y paredes celulares de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). *Técnica Pecuaria en México*, 47(3), 285-297. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61312111005
- Greco, D., D'Ascanio, V., Santovito, E., Logrieco, A. F., & Avantaggiato, G. (2019). Comparative efficacy of agricultural by-products in sequestering mycotoxins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1623-1634. doi: https://doi.org/10.1002/jsfa.9343
- Hernández-Ramírez, J. O., Nava-Ramírez, M. J., Merino-Guzmán, R., Téllez-Isaías, G., Vázquez-Durán, A., & Méndez-Albores, A. (2020). The effect of moderate-dose aflatoxin B1 and Salmonella Enteritidis infection on intestinal permeability in broiler chickens. *Mycotoxin research*, 36(1), 31-39. doi: https://doi.org/10.1007/s12550-019-00367-7
- Huwig, A., Freimund, S., Käppeli, O., & Dutler, H. (2001). Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*, 122(2), 179-188. doi: 10.1016/S0378-4274(01)00360-5
- International Agency for Research in Cancer. (IARC). (1995). IARC Activities in mycotoxin research. *Natural Toxins*, 3 (4), 327-331.

- Jard, G., Liboz, T., Mathieu, F., Guyonvarc'h, A., & Lebréhi, A. (2011). Review of mycotoxin reduction in food and feed: From prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 28(11), 1590-1609. doi: 10.1080/19440049.2011.595377
- Kolosova, A., & Stroka, J. (2011). Substances for reduction of the contamination of feed by mycotoxins: A review. *World Mycotoxin Journal*, 4(3), 225-256. doi: 10.3920/WMJ2011.1288
- Magnoli, A. P., Monge, M. P., Miazzo, R. D., Cavaglieri, L. R., Magnoli, C. E., Merkis, C. I., ... Chiacchiera, S. M. (2011). Effect of low levels of aflatoxin B1 on performance, biochemical parameters, and aflatoxin B1 in broiler liver tissues in the presence of monensin and sodium bentonite. *Poultry Science*, 90(1), 48-58. doi: 10.3382/ps.2010-00971
- Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., & Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 218-237. doi: 10.1016/j.fct.2013.07.047
- Méndez-Albores, A., Escobedo-González, R., Aceves-Hernández, J. M., García-Casillas, P., Nicolás-Vázquez, M. I., & Miranda-Ruvalcaba, R. (2020). A theoretical study of the adsorption process of B-aflatoxins using *Pyraecanthus koidzumii* (Hayata) Rehder biomasses. *Toxins*, 12(5), 283.
- Méndez-Albores, & Martínez-Moreno (2009). Las Micotoxinas contaminantes naturales de los alimentos. *Revista Ciencia*, 7(1). Recuperado de <https://docplayer.es/601742-Las-micotoxinascontaminantes-naturales-de-los-alimentos-abraham-mendez-albores-y-ernestomoreno-martinez.html>
- Moss, M. O. (2002). Risk assessment for aflatoxins in foodstuffs. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50(3-4), 137-142. doi: 10.1016/S0964-8305(02)00078-1
- Nagini, S., Palitti, F., & Natarajan, A. T. (2015). Chemopreventive potential of chlorophyllin: A review of the mechanisms of action and molecular targets. *Nutrition and Cancer*, 67(2), 203-211. doi: 10.1080/01635581.2015.990573
- Nava-Ramírez, M. J., Salazar, A. M., Sordo, M., López-Coello, C., Téllez-Isaías, G., Méndez-Albores, A., & Vázquez-Durán, A. (2021). Ability of low contents of biosorbents to bind the food carcinogen aflatoxin B1 in vitro. *Food Chemistry*, 345, 128863. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128863
- Ndagijimana, R., Shahbaz, U., & Sun, X. (2020). Aflatoxin B₁ in food and feed: An overview on prevalence, determination and control tactics. *JAIR*, 8, 144.
- Ornelas-Aguirre, J. M., & Fimbres-Morales, A. (2015). Aflatoxinas y su asociación con el desarrollo de carcinoma hepatocelular. *CIMEL*, 20(1), 33-39. Recuperado de <https://www.cimel.felsocem.net/index.php/CIMEL/article/view/579/740>
- Ramales-Valderrama, R. A., Vázquez-Durán, A., & Méndez-Albores, A. (2016). Biosorption of B-aflatoxins using biomasses obtained from formosa firethorn [*Pyraecanthus koidzumii* (Hayata) Rehder]. *Toxins*, 8(7), 218. doi: <https://doi.org/10.3390/toxins8070218>
- Rawal, S., Kim, J. E., & Coulombe, R., Jr. (2010). Aflatoxin B1 in poultry: Toxicology, metabolism and prevention. *Research in Veterinary Science*, 89(3), 325-331. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.04.011
- Santos, R. R., Vermeulen, S., Haritova, A., & Fink-Gremmels, J. (2011). Isotherm modeling of organic activated bentonite and humic acid polymer used as mycotoxin adsorbents. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 28(11), 1578-1589. doi: 10.1080/19440049.2011.595014
- Sarrocchio, S., Mauro, A., & Battilani, P. (2019). Use of competitive filamentous fungi as an alternative approach for mycotoxin risk reduction in staple cereals: State of art and future perspectives. *Toxins*, 11(12), 701. doi: 10.3390/toxins11120701
- Secretaría de Salud. (15 de octubre de 2002). Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperada de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nomssa.html>
- _____ (27 de septiembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperada de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5160755&fecha=27/09/2010#gsc.tab=0
- Simonich, M. T., Egner, P. A., Roebuck, B. D., Orner, G. A., Jubert, C., Pereira, C., ... Bailey, G. S. (2007). Natural chlorophyll inhibits aflatoxin B₁-induced multi-organ carcinogenesis in the rat. *Carcinogenesis*, 28(6), 1294-1302. doi: 10.1093/carcin/bgm027
- Vila-Donat, P., Marín, S., Sanchis, V., & Ramos, A. J. (2018). A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*, 114, 246-259. doi: 10.1016/j.fct.2018.02.044
- Villers, P. (2014). Aflatoxins and safe storage. *Frontiers in Microbiology*, 5, 158. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.0015>

- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129-144. doi: 10.1016/j.jscs.2010.06.006
- Zavala-Franco, A., Hernández-Patlán, D., Solís-Cruz, B., López-Arellano, R., Tellez-Isaias, G., Vázquez-Durán, A., & Méndez-Albores, A. (2018). Assessing the aflatoxin B₁ adsorption capacity between biosorbents using an in vitro multicompartamental model simulating the dynamic conditions in the gastrointestinal tract of poultry. *Toxins*, 10(11), 484. doi: 10.3390/toxins10110484



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Istvan Berczi. *In memoriam*

Andrés Quintanar-Stephano*✉

Quintanar-Stephano, A. (2021). Istvan Berczi. *In memoriam* [Obituario]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e4164, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021844164>

El Dr. Istvan Berczi nació en Békés, Hungría el 12 de noviembre de 1938 y murió el 24 de abril de 2020 a la edad de 82 años en la ciudad de Fresnillo, Zacatecas en México, su lugar de residencia después de retirarse de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). Le sobreviven su esposa; Sra. María Eugenia Quintanar-Stephano, con quien estuvo felizmente casado los últimos 17 años y sus hijos Steven, Anthony y Anna Berczi; hijos de su finada esposa Anna Kovacs y sus hermanos Gabor, Ilona Helena y Sandor.

De Békés se mudó a Budapest en donde se graduó en 1962 como Doctor en Medicina Veterinaria (en donde obtuvo el reconocimiento *Summa cum laude*), para continuar como becario de investigación en el Veterinary Medical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences (1962-67). De allí se trasladó a Montreal, Canadá, para continuar con sus estudios como becario posdoctoral con el Dr. Hans Selye (1967-68), científico mundialmente reconocido por sus aportaciones originales sobre el estrés. Una vez nacionalizado ciudadano canadiense obtuvo el Doctorado en Inmunología (1972) por la Universidad de Manitoba, Winnipeg, para pasar a formar parte de la planta docente como profesor-investigador a partir de ese mismo año en el Departamento de Inmunología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Manitoba en Winnipeg, donde permaneció hasta su retiro en el año 2009.

Entre sus intereses de investigación resalta como el más importante el estudio de las interacciones funcionales entre los sistemas nervioso, inmune y endocrino; un área en la que fue un pionero importante y a la que le dedicó la mayor parte de su vida, ya que estableció las bases científicas de los mecanismos neuroinmunoendocrinos, a través de los cuales las hormonas hipofisiarias como la prolactina y la hormona de crecimiento juegan un



El Dr. Istvan Berczi (1938-2020) dejó un legado fundamental en el trabajo científico.

Fotografía donada gentilmente por la Sra. María Eugenia Quintanar.

papel inmunorregulador de las respuestas inmunes. En sus experimentos utilizó ratas hipofisectomizadas sometidas a desafíos inmunológicos, las cuales desarrollan respuestas inmunes disminuidas, mismas respuestas que regresaron a la normalidad cuando estos animales inmunodeprimidos fueron tratados con prolactina o con hormona de crecimiento.

Estos y otros experimentos más refinados, así como aportaciones de otros investigadores en el mismo campo le

* Departamento de Fisiología y Farmacología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: aquinta@correo.uaa.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3688-080X>

✉ Autor para correspondencia

permitieron comprender que si las secreciones hormonales de la hipófisis están bajo el control de los centros nerviosos del hipotálamo y que este, a su vez, depende de la información proveniente de otras partes del sistema nervioso, entonces el circuito inmunoneuroendocrino estaría completo por las señales provenientes del sistema inmune en forma de citoquinas liberadas por las células inmunes durante la respuesta inflamatoria. Plasmó estas observaciones originales en el concepto de que existen mecanismos a través de los cuales los sistemas inmune, nervioso y endocrino interactúan entre sí, dándole a los individuos una mayor capacidad para adaptarse a los desafíos inmunológicos provenientes del medio ambiente y del propio organismo, permitiéndoles los ajustes homeostáticos requeridos para el mantenimiento de la salud y el alivio en la enfermedad.

Sus contribuciones científicas quedaron manifiestas en numerosos artículos y libros, entre los que destacan el libro *Pituitary Function and Immunity* y la serie de nueve volúmenes sobre lo que él llamó la Neuroinmuno Biología (*NeuroImmune Biology*), convirtiéndose así en escritor y editor de libros especializados en los que se describen los avances más significativos del área y que ahora son considerados básicos para diferentes ramas de la Medicina, Psicología y Veterinaria. Fue fundador de la revista *Advances in Neuroimmunobiology*, editada por la editorial IOS.

Otras áreas de interés científico del Dr. Berczi fueron la producción de anticuerpos contra endotoxinas, la investigación sobre factores que determinan la infiltración de linfocitos en los tejidos tumorales, la conjugación de fármacos con anticuerpos y las kallikreinas de origen

glandular. Publicó 273 artículos científicos en revistas internacionales, escribió 16 libros en su área de investigación y 88 resúmenes. Junto con sus colaboradores registró dos patentes con aplicaciones clínicas; entre ellas, el uso del tamoxifeno, un antiestrógeno utilizado en el tratamiento del cáncer de mama.

Una colaboradora fundamental en la carrera científica del Dr. Berczi fue la finada Dra. Eva Nagy, húngara como él, y en quien además recayó gran parte del trabajo experimental; entre ambos formaron un equipo de excelencia en investigación. Fue miembro de nueve sociedades científicas del mayor prestigio internacional, varias le otorgaron el estatus de miembro emérito.

Mi relación con el Dr. Berczi inició en 1998, cuando bajo la sugerencia de mi querido profesor Kalman Kovacs (húngaro) y conocido cercano del Dr. Berczi hice una estancia de investigación de 8 semanas en su laboratorio en la Universidad de Manitoba, donde aprendí algunos procedimientos de inmunización y su evaluación. En el año 2000 fui invitado por el Dr. Berczi al *Canadian Symposium On Neuroimmune Biology*. En el mismo establecimos los primeros pasos para trabajar en colaboración en nuestras áreas de investigación en común.

El Dr. Berczi se integró a la UAA como profesor-investigador hora clase en enero de 2015 y se retiró en septiembre de 2017. Nuestra colaboración se tradujo en la producción de 29 artículos y capítulos de libro publicados en revistas y editoriales internacionales. Además de su legado en investigación, el Dr. Berczi nos deja un recuerdo inolvidable por su trato amable y desprendido y gran capacidad de trabajo. Sin duda ejemplo de un buen ser humano.

Abril de 2021



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

El Fandango. Periódico político y democrata (1887-1896). Índices

Giacinti Comte, A. J. (2020). *El Fandango. Periódico político y democrata (1887-1896). Índices* (164 pp., ISBN 978-607-8714-88-9). Aguascalientes, México: Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Luciano Ramírez-Hurtado*✉

Ramírez-Hurtado, L. *El Fandango. Periódico político y democrata (1887-1896). Índices* [Reseña de libro]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(84), e4165, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021844165>

A la autora del libro le interesa la prensa publicada en Aguascalientes en el siglo XIX. Y le interesa en varios sentidos: como fuente en sí; esto es, como objeto de estudio y como fuente para sí; es decir, como vehículo donde se publicaron diversos géneros literarios. Y le interesan quienes los editan. Por eso ha investigado trayectorias de escritores decimonónicos, principalmente del bando liberal.

Pero también le preocupa que los materiales hemerográficos que resguardan los archivos queden abandonados, olvidados, relegados, inservibles. En efecto, a ella le llama la atención que no se dé la verdadera relevancia a la literatura regional del siglo XIX, que a más de 100 años de distancia sigue dispersa, parcialmente olvidada y no plenamente identificada ni reconocida.

A sus Índices les precede una presentación de la autora en que explica a sus lectores los motivos, objetivos y alcances de su texto.

Un completo estudio preliminar en el que da cuenta del panorama histórico cultural, en el que inscribe los periódicos de la época –muchos de vida efímera–, tanto de la localidad como de otros estados, con los cuales dialogó y discutió *El Fandango*.

Sigue una semblanza bio-biblio-hemerográfica del editor y dueño; el escritor, dramaturgo, periodista y político calvillense Jesús Fructuoso López, al que califica de cáustico, culto, prolífico, sensible y prosista de calidad; aunque de pluma en ocasiones un tanto desaliñada, con errores sintácticos e irregularidades ortográficas; ubica al autor dentro de una generación de ilustres liberales aguascalentenses con quienes tuvo amistad y/o encono.

No podía faltar la radiografía de *El Fandango* en la que Alicia de Jesús habla de los principales rasgos de la publicación: título, slogan, formato, contenido, secciones, colaboradores, tiraje, periodicidad, épocas y números; posible razón de su término. Afirma la autora que este



Portada del libro *El Fandango. Periódico político y democrata (1887-1896). Índices*.

* Departamento de Historia, Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No. 940, Cd. Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: luciano.ramirez@edu.uaa.mx, lramirez@correo.uaa.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2302-2574>

periódico de Jesús F. López es quizá el mejor de todos "porque es publicado en la serenidad de la madurez".

La autora advierte que no existe entre los estudiosos un acuerdo respecto a la clasificación de los géneros literarios. No obstante, ella intenta una categorización, comenta brevemente los rasgos de cada uno de ellos – apoyada en autores como Belem Clark de Lara y otros-, da las razones de su clasificación, explica sus características como experta en el área, se aventura a adjudicar la posible autoría de tal o cual texto y ejemplifica para que les quede claro a los lectores.

Alicia de Jesús Giacinti dedica cuatro quintas partes de su libro, obviamente, para referirse a los índices referentes al contenido de la obra, que identificó al revisar con sumo cuidado *El Fandango*. De suyo interesantes y valiosos, son instrumentos de consulta para los investigadores. Ella da la ruta inequívoca, cruza información entre ellos, los divide o agrupa de la siguiente manera: Autores; Contenidos, que son artículos de cultura general referentes a otros periódicos; Géneros literarios: ensayo histórico, ensayo literario, ensayo político, ensayo sociológico, narrativa, piezas dramáticas (teatro), poesía, reseña y notas de teatro, noticias internacionales, noticias nacionales, noticias locales de las que se derivan cartas a la redacción, defunciones, publicidad.

Si se revisan con atención, los resúmenes de los contenidos son muy sugerentes. Hay que abrir la mente pues hablan de situaciones, sucesos, noticias, personajes, o bien de costumbres, maneras, formas de ser y de pensar, de las disputas políticas, los diálogos o discusiones entre publicaciones periódicas, que remiten a una serie de prácticas culturales de un Aguascalientes

finisecular, de una ciudad y un mundo literario que ya no existe, pero que podemos reconocer a través de esas ventanas al pasado.

Mediante los resúmenes o fichas de contenido que hace la maestra Giacinti es posible descubrir en Jesús F. López a un escritor católico pero anticlerical; a veces irreverente, que se manifiesta en contra de la superstición y el fanatismo; también se burla de algunas costumbres respecto al rancio abolengo y las buenas maneras; que no teme ir a la cárcel al criticar abiertamente a los políticos y funcionarios (llámense gobernadores, presidentes municipales, jefes políticos, magistrados) que no hacen bien su trabajo, así como a las empresas extranjeras que explotan a los trabajadores nacionales (los Guggenheim y sus minas). El estilo corrosivo del editor, plagado de figuras alegóricas y metáforas, o bien, el sentido figurado que usa para ejemplificar una situación determinada o atacar y hacer escarnio de sus adversarios, es divertido.

No es un libro que tenga sesudas reflexiones, complicados abordajes teórico-metodológicos ni nada que se le parezca. Sus bondades están en otro lado, en su carácter práctico y utilitario como herramienta de apoyo para la investigación. Escribe con un lenguaje claro, accesible, fluido y sin rebuscamientos. Se trata de una obra que busca ser útil a los investigadores, para allanarles el camino y está pensando en primer lugar en la gente de Literatura y de Historia. Dados los contenidos temáticos creo que no es descartable que pueda servir también a sociólogos, politólogos, educadores, a estudiosos de artes escénicas y de la prensa, desde luego.

Toda lectura de un libro es un viaje; pero éste, además, sirve de brújula, orienta y abre caminos.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Política editorial de la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes es una revista arbitrada, científica y multidisciplinaria; editada y distribuida cuatrimestralmente por el Departamento de Apoyo a la Investigación, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se editan tres números por año en versión impresa y electrónica (enero-abril, mayo-agosto, septiembre-diciembre).

La revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* contribuye con la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por investigadores de la región, nacionales y extranjeros mediante la publicación de artículos de investigación, revisiones científicas, notas científicas, reseñas de libros y obituarios, para fomentar la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que favorezca el desarrollo de la investigación, promueva la publicación de sus resultados y la formación de una cultura científica en la población lectora.

Tiene como objetivo principal difundir, comunicar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, así como promover el desarrollo de la investigación y la producción científica con estándares de calidad en el ámbito local, nacional e internacional a través de la publicación de artículos originales y de difusión.

Está dirigida a estudiantes de licenciatura, ingenierías y posgrados, profesionistas de las diversas disciplinas, profesores e investigadores y público interesado en la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Se distribuye en instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, y organismos del sector público. Cuenta con convenios de intercambio bibliotecario, como: México-USA, COMPAB, REBCO y REMBA. A nivel internacional la revista se difunde por medio de los índices en los que está citada: Índice de Revistas de Divulgación Científica y Tecnológica del Conacyt, Actualidad Iberoamericana, IRESIE, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC, y en las bases de datos: DIALNET, EBSCO, HELA, ULRICH'S Periodicals Directory, Informe Académico y ERIHPLUS.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 70. En su estructura considera tres secciones: 1) Editorial, que incluye el Directorio, un Consejo Editor, un Comité Editorial de distinguida trayectoria y el grupo editor. 2) Artículos científicos, inéditos y originales. 3) Reseñas de libros y obituarios, todos relacionados con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, así como las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

La revista participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Acces" con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica, por ello, los autores y colaboradores de los artículos ceden a título gratuito a la revista los derechos de edición, reproducción, distribución y comunicación pública en el país y en el extranjero por medios impresos, electrónicos, óptico u otra tecnología incluyendo internet. Asimismo, aceptan que el trabajo que se presenta sea distribuido en acceso abierto, resguardando los derechos de autor bajo una licencia "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional" (CC BY NC-SA).

CRITERIOS PARA PUBLICAR

Los manuscritos propuestos a publicación, deberán ser textos científicos que no hayan sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación y de esta manera, sean una contribución original e inédita a la literatura científica. Solo se aceptan artículos escritos en idioma español y deberán contener todas las secciones estipuladas en esta guía, formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramaticales y ortográficas de la lengua española. Todos los manuscritos serán evaluados por al menos dos especialistas o investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Tipos de publicaciones

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género, de tal manera que integrará el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá al segundo género.

Artículo de investigación: Informa los resultados de una investigación, cuyo tema queda comprendido en alguna de las áreas del conocimiento anteriormente indicadas y es de interés científico por su relevancia.

Artículo de revisión científica: Resume y analiza un tema científico de importancia, es una revisión de la literatura y del estado actual de un campo de investigación, que ofrece una evaluación crítica del tema.

Nota científica: Es un artículo corto de un tema relevante, novedoso y actual, de ciencia y tecnología que describe o explica un hallazgo y por su mérito científico ameritan una rápida publicación. Pueden incluirse resultados relevantes

que se quieren difundir de forma rápida y no detallada, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso.

Reseña de libro: Narra o describe de manera breve y clara la evaluación o crítica constructiva de una obra literaria o científica que se ha publicado en los tres años anteriores a la fecha de publicación de la reseña.

Obituario: Describe la vida y obra de una persona fallecida con aportaciones relevantes a la ciencia.

Estructura del contenido

Artículo de investigación

No deberá ser menor de cinco ni mayor de 20 cuartillas incluyendo las ilustraciones. En algunos casos se podrá acordar con el editor una extensión mayor, no sin antes valorar la importancia de dicha ampliación. Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlo se deberá justificar, en su caso podrán aceptarse ensayos con una aportación crítica, analítica y documentada):

Título. Deberá ser breve y claro que refleje el contenido del trabajo. No exceder de 20 palabras, escrito en español y en renglón aparte, el título en inglés.

Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y número de ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia.

Resumen. Deberá ser un sólo párrafo que sintetice el propósito del trabajo y reúna las principales aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas. Esta sección se iniciará con la palabra **Resumen** al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. Todo manuscrito debe incluir una versión en inglés del resumen (*abstract*).

Palabras clave. Incluir seis palabras clave relacionadas con el contenido del trabajo, separadas con punto y coma, escritas en español y su versión en inglés (*keywords*).

Introducción. Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivos, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.

Materiales y Métodos. Describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

Resultados. Describir los resultados de la investigación. Se podrán presentar datos de medición o cuantificación.

Discusión. Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando el estudio con otros realizados, enunciando sus ventajas y aportaciones, evitando adjetivos de elogio.

Conclusiones. Precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

Agradecimientos. Mencionar fuente de financiamiento o gratitud que el autor considere necesario.

Referencias. Todas las referencias citadas en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Se enlistarán las fuentes bibliográficas y páginas electrónicas consultadas en riguroso orden alfabético sin enumeración ni viñetas, con sangría francesa e interlineado doble.

Todos los artículos deberán apegarse al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 6^{ta.} edición.

Para libro. Iniciar con el apellido del primer autor con mayúsculas y minúsculas, separándolo de la(s) inicial(es) del nombre con una coma. Si son varias iniciales, éstas se separan entre sí con un punto y un espacio. Se coloca un punto después de la última inicial de cada autor y una coma para separar el nombre del siguiente autor. Después del último autor se abre un paréntesis donde se coloca el año de la referencia citada, se cierra el paréntesis y se coloca un punto. Se escribe el título del libro con mayúsculas y minúsculas y cursivas. Se coloca entre paréntesis la edición usando número ordinal con la abreviatura *ed* y un punto al cierre del paréntesis. En caso de ser la primera edición se omitirá. A continuación la ciudad (si la ciudad en la que se encuentra la editorial no es muy conocida, se colocará el país también), dos puntos, espacio y el nombre de la editorial con mayúsculas y minúsculas, y punto final. Aquí se presenta el formato de diversas publicaciones con diferente número de autores.

Formato de libro con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro*. Ciudad: Editorial.

Formato de libro con número de edición y con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

Formato de libro con dos autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

Formato de libro con tres a siete autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, V., Apellido1 Apellido2 de Autor2, W., Apellido1 Apellido2 de Autor3, X., Apellido1 Apellido2 de Autor4, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor5, Z. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

En caso de haber un libro con ocho o más autores, se colocan los primeros seis autores igual que en los libros con siete o menos autores, inmediatamente puntos suspensivos, coma, y el último autor. El año, título, ciudad y editorial se colocan igual que en libro con menos de ocho autores.

En referencias de origen anglosajón es usual que autores tengan su nombre normalizado con un solo apellido, lo cual facilita su búsqueda en índices. Algunos autores de origen latino, por otra parte, en ocasiones colocan su nombre con ambos apellidos unidos por un guion, con el mismo motivo. Se tratará de respetar este aspecto dentro de lo posible.

Formato de libro editado:

Apellido1 Apellido2 de Editor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Editor2, Y. (Eds.). (Año). Título de libro editado. Ciudad: Editorial.

Formato de capítulo en libro editado:

Apellido1 Apellido2 de autor de capítulo, X. (Año). Título de capítulo de libro editado. En X. Apellido1 Apellido2 de Editor (Ed.), Título de libro editado (pp. 000-111). Ciudad: Editorial.

Para artículo científico en publicación periódica. Para autores y año de publicación es igual que para libro; de ser revista mensual, se incluirá el mes antes del año. Después se coloca el título del artículo empleando mayúsculas y minúsculas y redondas. Punto. Nombre de la revista o publicación con mayúsculas y minúsculas y cursivas, coma, volumen con cursivas, número de publicación entre paréntesis, coma, espacio y número de primera y última página del artículo separadas por guion y punto final.

Formato de artículo en publicación periódica:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, W., Apellido1 Apellido2 de Autor2, X., Apellido1 Apellido2 de Autor3, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor4, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de revista, 0(1), 000-111.

Formato para artículo de periódico:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (día de mes de año). Título de artículo o nota. *Nombre de periódico*, pp. X0, X1.

Para sitio de Internet. Este tipo de referencias deben ir en orden alfabético en la misma lista que las referencias consultadas para realizar el documento. Se sigue el mismo proceso que para las versiones impresas, pero en las referencias electrónicas se incluye la clave conocida como DOI (digital object identifier, por sus siglas en inglés), que significa identificador digital de objetos, aunque no todas las publicaciones electrónicas cuentan con uno. De contar con DOI, es suficiente con colocarlo después de la editorial, en caso de ser libro; o después de las páginas Recuperado de, en caso de publicación periódica, para

una adecuada recuperación de los datos. Si no se tiene DOI, se coloca el URL (uniform resource locator, por sus siglas en inglés) o localizador uniforme de recursos, al que se conoce como enlace electrónico.

Ejemplo de URL:

<http://www.crossref.org/02publishers/glossary.html>

Al trabajar con un enlace electrónico en un documento de texto, es importante tener la casilla de guiones inactiva en el procesador. También lo es copiar el URL de la ventana de dirección del navegador y pegarlo en el documento para una correcta recuperación de los datos. Tanto el DOI como el URL deben colocarse sin agregar ningún punto final, aunque sean la parte última de la referencia, ya que ello puede dar lugar a confusión en el rastreo de los datos.

Ejemplo de DOI:

10.1037/0278-6133.27.3.379

Formato de libro electrónico con DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). Título de libro. doi: 00.0000/0-000-00000-0

Formato de libro electrónico sin DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). Título de libro. Recuperado de <http://www.xxxxx.xxx.xxx/xxxx/XXXX.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx0xxxx0xxxx00000>

Formato para publicación periódica electrónica con DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista electrónica, 0(1), 000-111. doi: xx.xxxxxxxxxx

Formato para publicación periódica electrónica sin DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista electrónica, 0(1), 000-111. Recuperado de <http://www.xxxxxxx>

Periódico en línea:

Además de la información para periódico impreso mencionada en esta guía, agregar Recuperado de y el enlace electrónico.

Formato para una película:

Apellido1 Apellido2 de Productor, X. (Productor), & Apellido1 Apellido2 de Director, Y. (Director). (Año). Título de la película [Película]. País de origen: Estudio.

Formato para una fotografía recuperada en línea:

Apellido1 Apellido2 de Fotógrafo, X. (Año). *Título de fotografía* [Fotografía]. Recuperado de <http://www.www>

Si no se tiene el autor:

Título de la fotografía [Fotografía]. (Año). Recuperado de <http://www.www.www>

Si no se tienen tampoco título ni fecha:

[Imagen de xxxx]. Recuperado de <http://www.www.www>

Para mayor detalle se recomienda consultar los lineamientos del manual de publicaciones de la APA (*American Psychological Association*). Se pueden revisar en

Tovar Sosa, M. A. (Dir. ed.). (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association*. Versión abreviada (2ª. ed., trad. de la 6ª. en inglés M. Guerra Frías). México: Editorial El Manual Moderno.

Para las citas a lo largo del documento se recomienda la siguiente guía.

Cuando el o los nombres de los autores forman parte de la redacción; es decir, están incluidos en la acción, se colocan los autores unidos con la conjunción "y", posteriormente se coloca el año entre paréntesis. Ejemplo: Domínguez Márquez y Johns (2009) descubrieron que las partículas se movían hexagonalmente. En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) dentro de la redacción	Siguientes menciones dentro de la redacción
Un autor	Apellido(s) de Autor (año)	Apellido(s) de Autor (año)
Dos autores	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)
Tres a cinco autores	Apellido(s) de Autor1, Apellido(s) de Autor2, de Autor3, de Autor4 y de Autor5 (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)
Seis autores en adelante	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)

Por otra parte, cuando el o los nombres de los autores no forman parte de la redacción; es decir, están excluidos de la acción, se colocan tanto los autores como el año dentro del paréntesis, separados por una coma. Ejemplo: Otros autores han descubierto que las partículas se movían hexagonalmente (Domínguez Márquez, & Johns, 2009). En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) fuera de la redacción	Siguientes menciones fuera de la redacción
Un autor	(Apellido[s] de Autor, año)	(Apellido[s] de Autor, año)
Dos autores	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)
Tres a cinco autores	(Apellido[s] de Autor1, Apellido[s] de Autor2, de Autor3, de Autor4, & de Autor5, año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)
Seis autores en adelante	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)

Tablas y Figuras. Deberán encontrarse insertadas en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, se identificarán consecutivamente con números arábigos y cada una deberá ser mencionada pertinentemente dentro del texto.

En cuanto a las tablas, su orientación será vertical. Deberán tener título breve pero explicativo en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas, así como la fuente de donde se obtuvieron al pie de las mismas. Se suprimirán los filetes verticales. Cada tabla deberá, además de estar incluida en el documento, ser enviada aparte en el formato original en el que fue creada (Word, Excel, por ejemplo). Se evitará enviar tablas creadas en formato de imagen o pdf.

Con respecto a las figuras, se consideran como tales tanto gráficas, como fotografías, mapas, planos, dibujos, etc., se utilizarán mayúsculas y minúsculas con tipografía Century Gothic 8-10 pts. en su elaboración. Se deberá explicar en un texto al pie de la imagen, claro pero breve, el contenido de cada una, así como la fuente de donde se obtuvo. El tamaño máximo de cada figura incluyendo texto al pie será de 12 cm de longitud y 16 cm de ancho, el mínimo permitido será de 6 cm de longitud y 8 cm de ancho. Los dibujos o esquemas deberán estar en original y tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato tiff, eps o jpg.

Además de las gráficas, mapas, planos, etc., que pueda contener, el artículo deberá incluir por lo menos una fotografía con texto al pie breve pero explicativo, e incluir todas las características referidas en esta guía.

Para especificar la fuente tanto en tablas como figuras, en caso de ser de su autoría, se colocará la leyenda "Elaboración propia" al pie de cada tabla o figura. De no ser así, es responsabilidad del autor contar con el permiso para tomar o adaptar información, así como colocar la fuente de donde se tomó o adaptó la misma con la leyenda "Tomada de..." o "Adaptada de...", según corresponda, e incluir dicha referencia en el apartado correspondiente, para tener un cruce de referencias completo.

Ecuaciones o símbolos matemáticos. En caso de que el artículo contenga ecuaciones o símbolos matemáticos que pudiesen perderse en el proceso de edición, se enviarán, además del archivo en Word, el mismo documento en formato pdf con cada ecuación o símbolo señalados y otro archivo también en pdf, que contenga únicamente las ecuaciones.

Identificación de archivos de imagen para envío:

Para el envío de archivos de figuras, el o los archivos deberán estar nombrados con la expresión Fig, sin espacio el número consecutivo y sin espacio una o máximo dos palabras identificatorias del artículo, sin acentos, puntos ni guiones, con la finalidad de lograr una mayor fluidez en el proceso de edición.

Ejemplo:

Fig1Nanotubos

Fig2EspecieMarina

Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 20 cuartillas, considerando figuras y tablas insertadas dentro del documento. Debe incluir título en español y en inglés; Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords); texto del artículo considerando: introducción al tema (incluyendo por qué el problema es de interés), desarrollo del trabajo con una discusión académica, conclusión y un apartado de referencias. El contenido del artículo puede estar subdividido cuidando que exista una conexión entre los apartados. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Nota científica

No deberá ser mayor a cinco cuartillas. Debe incluir título en español y en inglés; Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords). El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas, con la imagen de la portada ya insertada. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, ISBN y número de páginas; resumen o descripción del texto o contenido, señalando las partes en que está integrado, crítica y conclusión, literatura, fotografías, ilustraciones o gráficas y otros recursos o datos relevantes que lo particularizan como exponente y autoridad en la materia. Se enviará, aparte del archivo de texto, los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID, así como, un archivo JPG con la portada del libro en la edición reseñada.

Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas, considerando ya la fotografía ilustrativa dentro del texto. Deberá incluir los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID; texto del artículo con una introducción que incluya nombre de la persona recordada, fecha y lugar de nacimiento y muerte, una breve biografía, aportaciones científicas y académicas relevantes en la ciencia y una reflexión. También es importante que el autor envíe aparte el archivo jpg con buena resolución de la fotografía en donde aparezca solamente el científico aludido para ilustrar el documento. Deberá colocar la autoría de dicha imagen o la fuente de donde se obtuvo.

Características de la revisión de artículos

1. El editor se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.
2. El proceso de dictamen se llevará a cabo siguiendo un orden, de acuerdo con la fecha de recepción. El tiempo estimado del proceso de evaluación y aceptación es de 6 meses.
3. La revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, utiliza el software TURNITIN para detectar coincidencias y similitudes entre los textos sometidos a evaluación en la revista y los publicados previamente en otras fuentes. Los resultados son enviados al autor.
4. Todos los trabajos son sometidos a un proceso de dictamen por pares académicos (especialistas) a doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dicta-

- men si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo.
5. El editor dará a conocer al autor contacto el resultado del arbitraje a través del formato "Observaciones"; si el trabajo es aceptado con modificaciones, el autor deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y enviará nuevamente al editor el original y el archivo electrónico del artículo junto con un **archivo de respuesta a dichas observaciones** en formato Word. El archivo consiste en una explicación detallada de las modificaciones realizadas tomando en cuenta todas y cada una de las observaciones señaladas por los evaluadores. Se deberá incluir el comentario del evaluador y correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.
 6. Cuando el autor demore más de 30 días en responder a las sugerencias de los evaluadores, el artículo no será considerado para publicarse en el siguiente número de la revista.
 7. El editor informará al autor contacto, en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, el rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
 8. La revista se reserva el derecho de adelantar o posponer los artículos aceptados con el fin de dar una mejor estructura a cada número de acuerdo a la política editorial.
 9. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y formato, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato Word al autor para correspondencia y serán devueltas al editor dos días después de haber sido recibidas. Si las pruebas no se entregan a tiempo, el artículo se publicará sin las correcciones correspondientes.
 10. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
 7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.
 8. Es importante que la información se condense dentro del texto principal y utilizar alguna nota al pie solo para fortalecer los planteamientos del artículo. La nota debe transmitir solo una idea evitando ecuaciones o párrafos complejos.
 9. Sugerir por lo menos tres posibles evaluadores para la revisión de su trabajo. La selección final de revisores será responsabilidad del editor.
 10. Los autores tendrán derecho a recibir cinco ejemplares de la versión impresa. No se tienen costos por publicación.

Especificaciones de envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.

El envío del artículo puede realizarse mediante dos vías:

- a) **Correo electrónico** dirigido a la editora de la revista, a través de revistaiyc@correo.uaa.mx que contenga archivos adjuntos (attachment) con el artículo, las ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.
- b) **OJS de la revista**, <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien>

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

Colaboración e informes

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Universidad Autónoma de Aguascalientes
 Dirección General de Investigación y Posgrado
 Departamento de Apoyo a la Investigación
 Av. Universidad núm. 940, C.U.,
 Edificio Académico-Administrativo, piso 5
 C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México
 Teléfono (449) 910 74 00 Ext. 34113
 Correo electrónico: revistaiyc@correo.uaa.mx
<https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien>

Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word y en formato pdf en hoja tamaño carta.
2. Tipografía para texto: Arial en 12 pts. Tipografía para figuras: Century Gothic 10 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.