

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 28
MAYO-AGOSTO 2020

80

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



Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México

Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación

Análisis comparativo de las características morfológicas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador

Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México

Asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2

Monitoreo de la antigüedad de hospitales potencialmente requeridos en caso de desastre en México

Análisis bayesiano de la compra de alimentos en espacios de distribución de Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña en Loma Bonita, Oaxaca, México

La economía del compartir (2008-2018): Una revisión de la literatura

Revisión de métodos de aprendizaje automático para detectar al parásito de la enfermedad de Chagas

Rory V. O'Connor. *In memoriam*

Destellos arquitectónicos en Aguascalientes. Reseña



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 28, núm. 80, periodo mayo-agosto 2020, 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: Alicia Edith Hermosillo de la Torre. 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. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. 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 30 de junio de 2020 con un tiraje de 1,000 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>



**ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

- Ejemplar de tortuga golfina • Tienda de abarrotes de Ciudad Guzmán • Cosecha de piña variedad MD2 cultivada con riego, acolchado y mallasombra • Hospital General Dr. Ernesto Meana San Román • Ejemplar de un insecto triatomino • Colecta de muestras de suelo • Los pacientes con DT2 requieren de atención interdisciplinaria • Panorámica del río Mezcalapa a su paso por el municipio de Huimanguillo, Tabasco (puente Solidaridad)

DIRECTORIO

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

M. en Der. Const. J. Jesús González Hernández
Secretario General

Dra. en Psic. Alicia Edith Hermsillo de la Torre
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 Feria 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
- Dra. en Psic. Alicia Edith Hermsillo de la Torre
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 NATURALES Y EXACTAS

- **Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México**
Carbon retained in biomass and soil in forests at El Salto, Durango, Mexico 5-13

Miguel Ángel Morales-Inocente
Juan Abel Nájera-Luna
Miguel Ángel Escobedo-Bretado
Francisco Cruz-Cobos
Francisco Javier Hernández
Benedicto Vargas-Larreta

- **Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación**
New method of estimating sex proportion in sea turtle hatchlings using temperature data in hatcheries 14-21

Sarahi Sandoval
Víctor Manuel Gómez-Muñoz
Miguel Ángel Porta-Gándara

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Análisis comparativo de las características morfométricas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador**
Comparative analysis of the morphometric characteristics of hydrographic systems of the Pacific slope, Ecuador 22-31

Carlos Matovelle
Diego Heras

- **Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México**
Geomorphological characterization of the Mezcalapa river sub-basin, Grijalva-Usumacinta hydrological region (RH-30) in southeastern Mexico 32-44

Abner Álvarez-Soberano
Ojilve Ramón Medrano-Pérez

CIENCIAS DE LA SALUD

- **Asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2**
Association between resilience and fasting blood glucose in adults with type 2 diabetes 45-53

Patricia Enedina Miranda-Félix
Félix Gerardo Buichia-Sombra
Jorge Luis García-Sarmiento
Guadalupe Adriana Miranda-Cota
Rosario Edith Ortiz-Félix

CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

- **Monitoreo de la antigüedad de hospitales potencialmente requeridos en caso de desastre en México**
Monitoring age of hospitals potentially required in case of disaster in Mexico 54-61

Milton Montejano-Castillo
Mildred Moreno-Villanueva

CONTENIDO

	Pág.
CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS	
<ul style="list-style-type: none">• Análisis bayesiano de la compra de alimentos en espacios de distribución de Ciudad Guzmán, Jalisco, México <i>Bayesian analysis of the purchase of food in distribution spaces of Ciudad Guzman, Jalisco, Mexico</i>	62-70
Margarita Cantero-Ramírez Claudia Rocío Magaña-González Alma Gabriela Martínez-Moreno Héctor Gabriel Acosta-Mesa	
<ul style="list-style-type: none">• Factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña en Loma Bonita, Oaxaca, México <i>Socioeconomic factors and level of technological adoption in pineapple production units in Loma Bonita, Oaxaca, Mexico</i>	71-79
César Julio Martínez-Castro Ana Rosa Ramírez-Seañez José Antonio Marina-Clemente	
REVISIÓN CIENTÍFICA	
<ul style="list-style-type: none">• La economía del compartir (2008-2018): Una revisión de la literatura <i>Sharing economy (2008-2018): A literature review</i>	80-90
Francisco García-Flores Sergio Madero	
<ul style="list-style-type: none">• Revisión de métodos de aprendizaje automático para detectar al parásito de la enfermedad de Chagas <i>Machine learning methods review to detect Chagas disease parasite</i>	91-98
Allan Ojeda-Pat Anabel Martín-González Víctor Uc-Cetina	
OBITUARIO	
<ul style="list-style-type: none">• Rory V. O'Connor. <i>In memoriam</i>	99-101
Manuel Mora	
RESEÑA	
<ul style="list-style-type: none">• Destellos arquitectónicos en Aguascalientes	102-103
Rocío Ramírez-Villalpando	
AGRADECIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none">• Félix Camacho Roque (1964-2020)	104
Equipo editorial revista <i>Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes</i>	

Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México

Carbon retained in biomass and soil in forests at El Salto, Durango, Mexico

Miguel Ángel Morales-Inocente*, Juan Abel Nájera-Luna*✉, Miguel Ángel Escobedo-Bretado**, Francisco Cruz-Cobos*, Francisco Javier Hernández*, Benedicto Vargas-Larreta*

Morales-Inocente, M. A., Nájera-Luna, J. A., Escobedo-Bretado, M. A., Cruz-Cobos, F., Hernández, F. J., & Vargas-Larreta, B. (2020). Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 5-13.

RESUMEN

Los bosques retienen cantidades grandes de CO₂ en los principales componentes del ecosistema forestal. El conocimiento sobre esta condición se convierte en una herramienta con potencial para mitigar el cambio climático. Por tanto, este estudio se centra en estimar el carbono retenido en biomasa aérea y suelo en bosques de la región de El Salto, Durango, México. Para ello, información dasométrica y muestras de suelo provenientes de una red de nueve parcelas permanentes de investigación forestal fueron usadas. Los resultados indican la existencia de 135.95 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea equivalente a una retención de carbono de 66.42 Mg ha⁻¹. El 95% de carbono se encuentra retenido en la biomasa arbórea y 5% en el sotobosque (hojarasca, necromasa, arbustivas y herbáceas). Por otra parte, el carbono orgánico del

suelo estimado es de 187.06 Mg ha⁻¹, 70% se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad.

ABSTRACT

Forests retain large amounts of CO₂ in the main components of the forest ecosystem; on this condition becomes a tool with the potential to mitigate climate change. Therefore, this study focuses on estimating the carbon retained in the aerial biomass and the forest soil in forests of El Salto, Durango, Mexico. For this purpose, dasometric information and soil samples from a network of nine permanent forest research plots was used. The results showed, in a general 135.95 Mg ha⁻¹ of aerial biomass equivalent to carbon retention of 66.42 Mg ha⁻¹. 95% of the carbon is retained in the arboreal biomass and 5% in the understory (necromass, litter, herbaceous and shrubby). On the other hand, the organic carbon of the soil was estimated at 187.06 Mg ha⁻¹ where 70% is found in the first 20 cm of depth.

Palabras clave: cambio climático; mitigación; parcelas permanentes de investigación forestal; servicio ambiental.

Keywords: climate change; mitigation; permanent plots of forest research; environmental service.

Recibido: 9 de abril de 2019, Aceptado: 29 de enero de 2020

* Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de El Salto (TecNM-ITES). Calle Tecnológico No. 101, Colonia La Forestal, C. P. 34942, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Correo electrónico: miguelangel1200@hotmail.com; jalnájera@itelsalto.edu.mx; cobos_cruz@yahoo.com.mx; fcojhernan@yahoo.com.mx; vlbene@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4430-1510>; <https://orcid.org/0000-0002-3989-3323>; <https://orcid.org/0000-0002-5090-8477>; <https://orcid.org/0000-0003-0480-624X>; <https://orcid.org/0000-0003-1176-7330>

** Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Veterinaria s/n, Circuito Universitario, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: miguel.escobedo@ujed.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-9084>

✉ Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

Los bosques desempeñan un papel clave en el ciclo del carbono, ya que almacenan gran cantidad de carbono orgánico, la mayoría en los suelos, con una parte más pequeña que se mantiene en la vegetación (Achat, Fortin, Landmann, Ringeval, & Augusto, 2015). Los reservorios de dicho elemento químico se encuentran en océanos, atmósfera y suelo, pasando de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y bióticos. El intercambio de carbono entre los reservorios terrestres y atmosféricos es resultado de procesos naturales como fotosíntesis y respiración, así como de emisión de gases de origen antropogénico y tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima (Rügnitz Tito, Chacón León, & Porro, 2009).

Los árboles y otras plantas forestales remueven grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera a medida que crecen y lo almacenan en la biomasa arbórea y arbustiva. Así, la estimación adecuada de la cantidad de CO_2 almacenada es importante debido a que representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera; las buenas prácticas de manejo forestal representan una de las formas más efectivas para removerlo (Walker et al., 2011). En el suelo está ampliamente relacionado con el proceso de descomposición de la biomasa por la actividad bacteriana; una parte de dicho carbono regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización y otra es arrastrada a los océanos donde se deposita en forma de carbonatos (Rügnitz Tito et al., 2009).

Un bosque natural tiene una concentración grande de carbono, pero el cambio en el uso del suelo o las prácticas de manejo inadecuadas agotan esta existencia; por tanto, la consideración de conservar y fijarlo en un espacio determinado, cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero, es la mejor estrategia (Brown, Sathaye, Cannell, & Kauppi, 1996); así, los cambios en la química atmosférica serían mejorados al mismo tiempo (Lal, 2005).

Ante dicho escenario, la cantidad limitada de datos sobre reservas de carbono dificulta la implementación de mecanismos de reducción de emisiones (Dayamba, Djoudi, Zida, Sawadogo, & Verchoť, 2016) y acceso a los fondos de compensación de carbono que propicien oportunidades sustanciales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas nativos, con ganancias para la biodiversidad y la reducción en el carbono atmosférico. Sin embargo, estas alternativas podrían verse perjudicadas si se sigue careciendo de una cuantificación adecuada (Reside, VanDerWal, & Moran, 2017).

La información dasométrica que puede generarse al considerar las parcelas permanentes de investigación forestal es importante para evaluar la respuesta del bosque a las prácticas diversas de manejo cuando se pretende realizar un aprovechamiento responsable de los recursos naturales; así, el valor de esta información puede ser una herramienta potencial para mitigar el cambio climático. Entonces, la estimación del CO_2 retenido en los principales componentes del ecosistema forestal puede facilitar la cuantificación de las adiciones y sustracciones del carbono en vegetación

y suelo considerando su estructura, composición y características físicas. Este estudio se centró en estimar el carbono retenido en biomasa aérea y suelo en bosques de la región de El Salto, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la región forestal de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Dicha superficie está en la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre Occidental (SMO) y en la subprovincia denominada Gran Meseta. En esta área nueve parcelas de investigación forestal fueron seleccionadas y se encuentran ubicadas en los predios San Esteban, La Campana y La Ciudad (figura 1).



Figura 1. Localización de los predios y parcelas permanentes de investigación forestal. Elaboración propia.

Las parcelas tienen una superficie de 2,500 m² (figura 2), en cada una se establecieron ocho sitios de muestreo de forma circular con un radio de 11.28 m y una superficie de 400 m². Los sitios se distribuyeron de manera sistemática en el perímetro de cada parcela. Cada sitio de muestreo consta de cuatro cuadrantes de 100 m²; en el primero se estableció una subparcela de 25 m²; de ahí se colectó toda la necromasa referida al material leñoso en proceso de descomposición; la necromasa se pesó in situ tomando una submuestra representativa para posteriormente estimar su peso seco. En los otros tres se establecieron subparcelas de 1 m²; de estas se colectaron muestras del sotobosque compuesto por hojarasca, herbáceas y arbustivas (con un diámetro ≤ 5 cm); esas muestras fueron pesadas en el mismo lugar; también submuestras representativas de cada

componente fueron seleccionadas para cuantificar su peso seco.

El registro de información dasométrica (diámetro normal y altura total) de todo el arbolado con diámetro normal ≥ 5 cm dentro del sitio fue realizado de acuerdo con la propuesta de inventario forestal para biomasa sugerida por Schlegel, Gayoso y Guerra (2001).

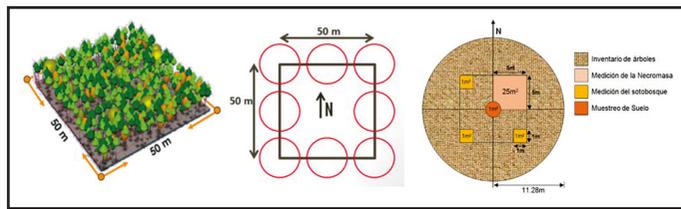


Figura 2. Representación esquemática de una parcela permanente de 0.25 ha y los sitios de muestreo.

Esquema de la distribución de los sitios de muestreo en las parcelas permanentes es elaboración propia; esquema de sitios de inventario de biomasa está tomado de Schlegel et al. (2001).

En el centro de cada sitio se ubicó un subsitio circular de 1m² del cual se extrajeron tres muestras de suelo a diferente profundidad (10, 20 y 30 cm) (figura 3). La estimación del carbono retenido en

la biomasa aérea del arbolado se hizo mediante los modelos alométricos generados por Vargas-Larreta et al. (2017) para las especies arbóreas más importantes del estado de Durango (tabla 1). Durante el proceso, las variables independientes (diámetro normal y altura total) se sustituyeron de acuerdo a cada especie encontrada en los sitios de muestreo.



Figura 3. Colecta de muestras de suelo. Fotografía de Miguel Ángel Morales-Inocente.

Tabla 1
Modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total

Especie	Modelo
<i>Pinus ayacahuite</i>	$Wt = (0.029235 * d^{1.754181} * h^{1.094681}) + (0.032269 * d^{2.140329}) + (0.013948 * d^{1.876323} * h^{0.787632}) + (0.099595 * d^{1.539518})$
<i>Pinus cooperi</i>	$Wt = (0.014625 * d^{2.004845} * h^{1.019896}) + (0.017796 * d^{1.729007} * h^{0.735354}) + (0.00681 * d^{1.703388} * h^{1.27795}) + (0.045963 * d^{1.158145} * h^{0.587688})$
<i>Pinus durangensis</i>	$Wt = (0.017021 * d^{2.027449} * h^{0.957775}) + (0.008587 * d^{1.873877} * h^{0.848982}) + (0.001738 * d^{2.104604} * h^{1.070628}) + (0.00226 * d^{1.632837} * h^{1.096937})$
<i>Pinus engelmannii</i>	$Wt = (0.00456 * d^{1.585454} * h^{1.924877}) + (0.062489 * d^{1.135367} * h^{0.891785}) + (0.118427 * d^{2.030574} * h^{-0.27147}) + (0.01455 * d^{2.412249} * h^{-0.68208})$
<i>Pinus teocote</i>	$Wt = (0.113588 * d^{1.585454} * h^{1.924877}) + (0.062489 * d^{1.135367} * h^{0.891785}) + (0.118427 * d^{2.030574} * h^{-0.27147}) + (0.01455 * d^{2.412249} * h^{-0.68208})$
<i>Pinus leiophylla</i>	$Wt = (0.039421 * d^{1.779938} * h^{0.760027}) + (0.048604 * d^{1.875616}) + (0.104309 * d^{2.474884} * h^{-0.92097}) + (0.018491 * d^{1.735371})$
<i>Juniperus sp.</i>	$Wt = 26.44771 + (0.011099 * d^2 * h) + (0.000915 * d^2 * h) + 8.546641 + (0.001539 * d^2 * h) + 7.065763 + (0.000826 * d^2 * h)$
<i>Arbutus sp.</i>	$Wt = (0.051533 * d^{1.716357} * h^{0.896085}) + (0.001207 * d^{1.766367} * h^{1.056912}) + (0.01838 * d^{1.833397} * h^{0.857383}) + (0.001469 * d^{1.944487} * h^{0.928862})$
<i>Quercus sp.</i>	$Wt = (0.022162 * d^{1.946988} * h^{0.965834}) + (0.002228 * d^{1.964004} * h^{1.277101}) + (0.034481 * d^{2.285048}) + (0.023088 * d^{1.807366})$

Nota: Wt= peso seco del total de la biomasa arbórea (kg), d= diámetro normal (cm), h= altura total (m).
Fuente: Tabla tomada de Vargas-Larreta et al. (2017).

La conversión de biomasa a carbono se hizo con base en factores obtenidos por Vargas-Larreta et al. (2017) para las especies arbóreas más importantes del estado de Durango (tabla 2).

Tabla 2

Factor de conversión de biomasa a carbono para las especies arbóreas de Durango

Especie	Carbono total (%)	Desviación estándar (%)
<i>Pinus leiophylla</i>	51.64	2.3
<i>Pinus teocote</i>	51.15	2.8
<i>Pinus engelmannii</i>	50.71	2.0
<i>Pinus ayacahuite</i>	50.61	2.3
<i>Pinus durangensis</i>	50.54	3.0
<i>Pinus cooperi</i>	48.90	2.0
<i>Juniperus sp.</i>	48.72	4.5
<i>Arbutus sp.</i>	47.19	1.8
<i>Quercus sp.</i>	46.69	0.9

Nota: Tabla tomada de Vargas-Larreta et al. (2017).

La biomasa del sotobosque se estimó mediante el peso húmedo total de la submuestra y el peso seco de una submuestra, considerando lo recomendado por Pearson, Walker y Brown (2005):

$$Bt = \frac{Psm}{Phm} * Pht$$

donde:

Bt= biomasa total (g)

Psm= peso seco de la submuestra (g)

Phm= peso húmedo de la submuestra (g)

Pht= peso húmedo total (g)

La estimación del carbono de los componentes del sotobosque se realizó al involucrar los coeficientes de reducción de biomasa a carbono consignados por Schlegel et al. (2001). Estos coeficientes son 43.27% para la necromasa, 37.57% para la hojarasca, 36.90% para las arbustivas y 36.13% para las herbáceas.

El carbono orgánico en el suelo (COS) se determinó mediante el método de Walkley-Black. Esta técnica consiste en la oxidación del suelo con una solución de dicromato de potasio estandarizada utilizando el color producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado en la solución crómica. La

determinación se realizó valorando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica (MO), con una solución de sulfato ferroso, utilizando como indicador difenilamina (García Galvis & Ballesteros González, 2005). En total, 27 análisis químicos de suelo forestal fueron realizados; para ello nueve parcelas permanentes de experimentación forestal y tres diferentes profundidades de suelo fueron consideradas.

Para la determinación del COS (%) se utilizó la siguiente fórmula:

$$COS = \left(\frac{(N1 * V1) - (N2 * T)}{PS} \right) * (0.399)$$

donde:

N1= normalidad del $K_2Cr_2O_7$

V1= ml de $K_2Cr_2O_7$ usado

N2= normalidad del FE $(NH_4)_2SO_4$ (se debe calcular)

T= volumen de sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación

PS= peso del suelo en g

0.399= factor de conversión

El porcentaje de carbono del suelo (CS) se estimó al involucrar los valores de la densidad aparente y profundidad correspondiente de las muestras, se aplica la siguiente fórmula:

$$CS = CO * DA * P$$

donde:

CO= porcentaje de carbono

DA= densidad aparente (g/cm^3)

P= profundidad de muestreo (cm)

Procesamiento estadístico

Las variables biomasa y contenido de carbono retenido en cada uno de los componentes (hojarasca, necromasa, arbustos y herbáceas), así como en las tres profundidades de suelo (0-10; 10-20 y 20-30 cm) se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias mediante pruebas de Tukey a un nivel de significancia de 5%. El análisis de datos se llevó a cabo usando el paquete estadístico InfoStat 2018.

RESULTADOS

Biomasa aérea y carbono retenido

El muestreo consistió en 2,081 árboles con dimensiones promedio de 18 cm de diámetro normal y 12 m de altura total en los 72 sitios de muestreos

que correspondieron a una superficie de 2.88 ha, equivalente a una densidad de 723 árboles por ha. Las especies consideradas son *Pinus durangensis* (996 individuos), *Quercus* sp. (377), *Pinus cooperi* (219), *Pinus teocote* (162), *Pinus ayacahuite* (132), *Juniperus* sp. (126), *Arbutus* sp. (63), *Pinus leiophylla* (4) y 2 de *Pinus engelmannii*, los cuales acumularon 362.31 Mg de biomasa aérea equivalentes a 179.18 Mg de carbono retenido en la biomasa. La biomasa arbórea estimada es de 128.38 Mg ha⁻¹ y retiene 63.49 Mg ha⁻¹ de carbono. Lo sobresaliente es la participación de *P. durangensis* con 48% del total (tabla 3).

Biomasa en el sotobosque y carbono retenido

Los resultados del análisis de varianza indican que la cantidad de biomasa es diferente en al menos dos componentes del factor sotobosque ($p < 0.0001$) (tabla 4).

En general, la cantidad de biomasa presente en el sotobosque es de 7.57 Mg ha⁻¹, que transformada a carbono resultó en 2.93 Mg ha⁻¹. El componente que más contribuye a la retención de dicho elemento en el sotobosque es la hojarasca con 66.32%, seguido por la necromasa con 21%, mientras que las arbustivas y herbáceas representaron 7 y 5.68%, respectivamente (tabla 5).

Tabla 3
Biomasa aérea y carbono retenido por especie

Especie	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)
<i>Pinus durangensis</i>	61.82	31.25
<i>Quercus</i> sp.	26.79	12.51
<i>Pinus cooperi</i>	21.49	10.51
<i>Pinus teocote</i>	9.22	4.72
<i>Pinus ayacahuite</i>	4.95	2.51
<i>Juniperus</i> sp.	2.78	1.35
<i>Arbutus</i> sp.	0.92	0.43
<i>Pinus engelmannii</i>	0.37	0.19
<i>Pinus leiophylla</i>	0.04	0.02
Total	128.38	63.49

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4
Análisis de varianza para el contenido de biomasa del factor sotobosque

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Significancia
Sotobosque	3	794.03	264.68	61.98	0.0001*
Error	210	896.70	4.27		
Total	213	1690.73			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5
Medias y desviaciones estándar de biomasa y carbono retenido en el sotobosque

Sotobosque	Biomasa* (Mg ha ⁻¹)	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)	Carbono (Mg ha ⁻¹)	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)
Herbáceas	0.43 a	1.15	0.16	0.42
Arbustivas	0.53 ab	0.46	0.20	0.17
Necromasa	1.59 b	1.10	0.69	0.48
Hojarasca	5.02 c	3.34	1.88	1.26

Nota: *Medias con la(s) misma(s) letra(s) indican diferencia(s) no significativa(s) mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).
Elaboración propia.

Carbono orgánico en el suelo

Los resultados del análisis de varianza indican que la cantidad de COS es diferente en al menos dos niveles del factor profundidad ($p < 0.0001$) (tabla 6).

En los primeros 30 cm de profundidad del suelo corresponden 187.06 Mg ha⁻¹ de carbono orgánico (tabla 7). Casi 37% se encuentra en los primeros 10 cm de profundidad y 32.7% en el estrato de 10 a 20 cm. Alrededor de 70% del COS se almacena en los primeros 20 cm de profundidad.

Retención total de carbono

El carbono retenido en la biomasa aérea en el área de estudio es de 66.42 Mg ha⁻¹; 5% corresponde al carbono en la biomasa del sotobosque (hojarasca, necromasa, arbustivas y herbáceas) y 187.06 Mg ha⁻¹ de carbono son retenidas en el suelo superficial dentro de los primeros 30 cm de profundidad. En total son 253.48 Mg ha⁻¹ de carbono y 26% está retenido en la biomasa aérea.

DISCUSIÓN

La cantidad de biomasa aérea estimada en este estudio (128.38 Mg ha⁻¹) es parecida a la reportada en bosques de pino en el sur del estado de Nuevo León, México por Domínguez-Cabrera, Aguirre-Calderón, Jiménez-Pérez, Rodríguez-Laguna y Díaz-Balderas

(2009) con 125.33 Mg ha⁻¹. También la cantidad de carbono retenido por la biomasa de *Pinus* sp. (49.2 Mg ha⁻¹) en el presente estudio es similar a la registrada en la misma especie en ecosistemas templados del norte de Durango (41.29 Mg ha⁻¹), estimada por Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez (2009). Las coincidencias pueden atribuirse a que en dichos estudios se trató de especies del mismo género.

En cuanto a la retención de carbono en la biomasa arbórea por especie, *P. cooperi* retuvo 21.49 Mg ha⁻¹; esta cifra es poco menos de la mitad de la estimada por Pimienta de la Torre, Domínguez-Cabrera, Aguirre-Calderón, Hernández y Jiménez-Pérez (2007) para *P. cooperi* Blanco (51.12 Mg ha⁻¹) como especie dominante en bosques de Pueblo Nuevo, Durango, México. La especie dominante en el caso presente es *P. durangensis* y retuvo 61.82 Mg C ha⁻¹, cifra más parecida a la estimada por Pimienta de la Torre et al. (2007).

La mayor cantidad de biomasa en el sotobosque corresponde a la hojarasca. Ello puede deberse a que este componente se encuentra incorporándose constantemente al suelo con el paso del tiempo y cuyas tasas de deposición son dependientes de la especie, edad del arbolado, densidad arbórea y microclima (viento y temperatura) del sitio (Reyes-Carrera, Méndez-González, Nájera-Luna, & Cerano-Paredes, 2013), lo que lo convierte en el

Tabla 6
Análisis de varianza para el COS del factor profundidad del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Significancia
Profundidad	2	5704.61	2852.30	13.46	0.0001*
Error	213	45149.65	211.97		
Total	215	50854.26			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7
Medias y desviaciones estándar del COS a diferentes profundidades

Profundidad del suelo	Carbono Orgánico (Mg ha ⁻¹) *	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)
0 - 10	69.15 a	13.59
10 - 20	61.19 b	14.42
20 - 30	56.72 b	15.61

Nota: *Medias con la(s) misma(s) letra(s) indican diferencia(s) no significativa(s) mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).
Elaboración propia.

componente más vulnerable, ya que si ocurre un incendio, la hojarasca o mantillo es lo más afectado y se reduce; por otro lado, un fuerte viento puede promover considerable acumulación de biomasa en este componente (Acosta, Quednow, Etchevers, & Monreal, 2001).

La necromasa que representa la madera muerta en proceso de descomposición hace que este compartimiento almacene carbono durante mucho tiempo y sea un potencial retenedor a largo plazo (Lugo & Brown, 1992); mientras que los estratos arbustivos y herbáceos solo aparecen cuando se reduce la densidad arbórea, lo que permite mayor penetración de luz al suelo (Herrera-Arango, del Valle, & Orrego, 2001).

La distribución de la biomasa y carbono retenido en los componentes del sotobosque obtenidos en el presente estudio (66% de hojarasca, 21% de necromasa, 7% de arbustivas y 6% de herbáceas) es consistente con la estimada por Nájera-Luna, Peña-Montañez, Montañez-Hernández, Vargas-Larreta y Graciano-Luna (2009) en cuatro localidades forestales de la región de El Salto, Durango, donde el componente hojarasca aporta 81% del total de biomasa y carbono retenido, seguido por la necromasa (14%), mientras que las herbáceas y arbustivas solo representaron 3 y 2%, respectivamente.

En rodales forestales sometidos a tratamientos silvícolas en el ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango, Solís-Hernández (2013) encontró que la hojarasca representa 71% del aporte total de biomasa y carbono retenido, la necromasa 23% y las herbáceas y arbustivas 2 y 7% de la biomasa total. En relación con el COS, los 187.06 Mg ha⁻¹ estimados en este estudio son sensiblemente similares a los 174.28 Mg ha⁻¹ reportados por Solís-Hernández, Nájera-Luna, Méndez-González, Vargas-Larreta y Álvarez-Gallegos (2014) para los primeros 30 cm de suelo en bosques de la región de El Salto, Durango.

De manera similar, los 69.15 Mg ha⁻¹ de COS estimados en los primeros 10 cm de profundidad en este estudio son compatibles con los 68 Mg ha⁻¹ reportados como almacén promedio de carbono orgánico para el piso forestal de México y cuya fluctuación depende de las condiciones climatológicas y el tipo de vegetación existentes en las diferentes regiones (Saynes, Etchevers, Galicia, Hidalgo, & Campo, 2012).

Existe una tendencia hacia la disminución de COS conforme aumenta la profundidad del suelo debido a que la mayor actividad microbiana ocurre en el suelo superficial (Acosta-Mireles, Benavides-Solorio, & Carrillo-Anzures, 2012).

Finalmente, Saynes et al. (2012) mencionan que el carbono que se captura y almacena en la parte subterránea de los ecosistemas terrestres no ha sido considerado como un mecanismo de retención por los diseñadores de la política sobre el cambio climático, a diferencia de la parte aérea. Sin embargo, casi 75% del de los ecosistemas se encuentra en el suelo, como biomasa de raíces o en formas estables, como compuestos geoquímicos. Lo anterior coincide con lo encontrado en este estudio con 74% de dicho elemento retenido en el suelo del ecosistema forestal.

CONCLUSIONES

Un total de 135.95 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea se encuentra en las parcelas permanentes de investigación forestal de la región de El Salto, Durango, con un potencial de retención de carbono de 66.42 Mg ha⁻¹; de este, 95% se encuentra retenido en la biomasa arbórea y 5% en la biomasa del sotobosque (necromasa, hojarasca, herbáceas y arbustivas). La especie con mayor participación de biomasa y carbono fue *P. durangensis* con 48 y 49%, respectivamente.

La biomasa en sotobosque es de 7.57 Mg ha⁻¹, cantidad que transformada a carbono, representa 2.93 Mg ha⁻¹. El componente que más contribuye a la retención de carbono es la hojarasca con 64% del total.

La cantidad de carbono orgánico almacenado en los primeros 30 cm de profundidad es de 187.06 Mg ha⁻¹; 37% corresponde al ubicado en los primeros 10 cm de profundidad; mientras que en los primeros 20 cm se encuentra 70% del carbono total.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) el apoyo al proyecto de investigación "Establecimiento de una red de sitios permanentes de experimentación forestal en bosques de la región de Pueblo Nuevo, Durango" del cual se originó este escrito.

REFERENCIAS

- Achat, D. L., Fortin, M., Landmann, G., Ringeval, B., & Augusto, L. (2015). Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. *Scientific Reports*, 5, 15991.
- Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., & Monreal, C. (2001). Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. En J. Gayoso y R. Jandl (Eds.), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Llevado a cabo por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Acosta-Mireles, M., Benavides-Solorio, J. D., & Carrillo-Anzures, F. (2012). Estimación del carbono en el suelo, hierbas y arbustos en una plantación experimental de cuatro especies tropicales, en la Huerta, Jalisco. En J. Wong, F. Paz Pellat, & R. Cuevas (Eds. de la serie), *Síntesis Nacionales: Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México. Síntesis a 2011* (pp. 139-144). Estado de México, México: Programa Mexicano del Carbono.
- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., & Kauppi, P. E. (1996). Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Association*, 75(1), 80-91.
- Dayamba, S. D., Djoudi, H., Zida, M., Sawadogo, L., & Verchot, L. (2016). Biodiversity and carbon stocks in different land use types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 61-72.
- Domínguez-Cabrera, G., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Rodríguez-Laguna, R., & Díaz-Balderas, J. A. (2009). Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 59-64.
- García Galvis, J., & Ballesteros González, M. I. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 201-209.
- Herrera-Arango, M. A., del Valle, J. I., & Orrego, S. A. (2001). Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. En J. Gayoso y R. Jandl (Eds.), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Llevado a cabo por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220(1-3), 242-258.
- Lugo, A. E., & Brown, S. (1992). Tropical forest as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54(1-4), 239-255.
- Nájera-Luna, J. A., Peña-Montañez, S. I., Montañez-Hernández, J. A., Vargas-Larreta, B., & Graciano-Luna, J. J. (2009). Biomasa y carbono retenido en el sotobosque de cuatro localidades de El Salto, Durango. *TecnoINTELECTO*, 6(1), 32-36.
- Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2005). *Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects*. Washington, DC: Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Timothy_Pearson/publication/257767667_Sourcebook_for_Land_use_Land-use_change_and_forestry_projects/links/0c960525d520782411000000.pdf
- Pimienta de la Torre, D. J., Domínguez-Cabrera, G., Aguirre-Calderón, O., Hernández, F. J., & Jiménez-Pérez, J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques*, 13(1), 35-46.
- Reside, A. E., VanDerWal, J., & Moran, C. (2017). Trade-offs in carbon storage and biodiversity conservation under climate change reveal risk to endemic species. *Biological Conservation*, 207, 9-16.
- Reyes-Carrera, S. A., Méndez-González, J., Nájera-Luna, J. A., & Cerano-Paredes, J. (2013). Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en Arteaga, Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 147-155.
- Rüginitz Tito, M., Chacón León, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Recuperado de http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf
- Saynes, V., Etchevers, J. D., Galicia, L., Hidalgo, C., & Campo, J. (2012). Soil carbon dynamics in high-elevation temperate forests of Oaxaca (Mexico): Thinning and rainfall effects. *Bosque*, 33(1), 3-11.

- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial de carbono*. Proyecto FONDEF D9811076. Chile: Universidad Austral de Chile. Recuperado de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/proyectos_desarrollo/medicion_captura_carbono_bosques_chile.pdf
- Silva-Arredondo, F. M., & Návar-Cháidez, J. J. (2009). Estimación de factores en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 155-163.
- Solís-Hernández, A. (2013). *Carbono en el suelo y biomasa del sotobosque en rodales forestales del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de El Salto, México.
- Solís-Hernández, A., Nájera-Luna, J. A., Méndez-González, J., Vargas-Larreta, B., & Álvarez-Gallegos, M. (2014). Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 22(63), 5-11.
- Vargas-Larreta, B., López-Sánchez, C. A., Corral-Rivas, J. J., López-Martínez, J. O., Aguirre-Calderón, C. G., & Álvarez-González, J. G. (2017). Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks in the temperate forests of North-Western Mexico. *Forests*, 8(8). doi: 10.3390/f8080269
- Walker, W., Baccini, A., Nepstad, M., Horning, N., Knight, D., Braun, E., & Bausch, A. (2011). *Field guide for forest biomass and carbon estimation*. Versión 1.0. Falmouth, Massachusetts, US: Woods Hole Research Center. Recuperado de <http://whrc.org/wp-content/uploads/2016/02/FieldGuide.pdf>

Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación

New method of estimating sex proportion in sea turtle hatchlings using temperature data in hatcheries

Sarahi Sandoval*, Víctor Manuel Gómez-Muñoz**, Miguel Ángel Porta-Gándara***✉

Sandoval, S., Gómez-Muñoz, V. M., & Porta-Gándara, M. A. (2020). Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 14-21.

RESUMEN

La temperatura de incubación en los huevos de tortuga marina determina el sexo de las crías y en los últimos años se ha documentado un sesgo de la proporción sexual hacia hembras, por lo que se propone y comparte un modelo matemático práctico que se desarrolló con el programa MATLAB que utiliza la ecuación de Girondot para estimar la proporción de machos de la nidada. El programa necesita como datos de entrada el registro de la temperatura diario del corral de incubación con un sensor digital similar al del estudio propuesto, así como datos de la bitácora de anidación en archivos Excel como fecha de desove, fecha de eclosión y número de huevos o crías vivas. Este modelo puede ser aplicado en las

Palabras clave: temperatura del nido; proporción sexual en crías; tortuga marina; determinación de sexo; *Lepidochelys olivacea*.

Keywords: nest temperature; sex ratio in hatchlings; sea turtle; sex determination; *Lepidochelys olivacea*.

Recibido: 27 de junio de 2019, Aceptado: 14 de febrero de 2020

* Conacyt-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Durango (CIIDIR). Sigma 119, 20 de Noviembre II, C. P. 34220, Durango, Dgo., México. Correo electrónico: sarahisandoval@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7221-5498>

** Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). PO Box 592, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23000, México. Correo electrónico: vgomez@ipn.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7577-0996>

*** Engineering Group, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR S. C.). PO Box 128, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23000, México. Correo electrónico: maporta@cibnor.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1647-2649>

✉ Autor para correspondencia

diferentes especies y playas de anidación. Se presenta un caso de estudio de *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina) en el campamento tortuguero Playa Ceuta Sinaloa, México.

ABSTRACT

The incubation temperature of sea turtle eggs determines the sex of the offspring. In recent years a bias towards females has been documented, so an easy and practical mathematical model was developed in MATLAB that uses the Girondot equation to estimate the proportion of males in a clutch. The program takes as input Excel files containing daily temperature records from the hatchery measured with a digital sensor similar to that of the proposed study, and laying date, hatching date, and number of eggs or live offspring from the nesting log. This model can be applied to different species of sea turtles and nesting beaches. A case study is presented for *Lepidochelys olivacea* (olive ridley turtle) at Playa Ceuta turtle rookery located in Sinaloa, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas tienen determinación sexual dependiente de la temperatura (TSD, por sus siglas en inglés) y no se ha encontrado una característica morfológica externa que permita determinar el sexo de las crías (Yntema & Mrosovsky, 1979). Diversos estudios han alertado sobre el sesgo hacia una proporción feminizante de crías en las playas de anidación (Gibbons, 1970; Jensen et al., 2018; Mrosovsky, Dutton, & Whitmore, 1984; Valenzuela et al., 2019). En la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* (golfina) los huevos incubados a temperaturas de 28 °C producirán 100%

de machos y los huevos incubados a 32 °C producirán 100% de hembras (McCoy, Vogt, & Censky, 1983; Wibbels, Rostal, & Byles, 1998). Girondot (1999) propuso un modelo matemático para predecir la proporción sexual de machos en las crías en función de la temperatura media del nido durante el segundo tercio del periodo de incubación.

El presente estudio tuvo como objetivo presentar el procedimiento de un modelado matemático en el programa MATLAB para predecir la proporción de machos en función de las temperaturas del nido, teniendo en cuenta el número total de nidos del corral de incubación en un campamento tortuguero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo del método

La ecuación de Girondot (1999) propuesta para predecir la proporción sexual de machos P_m está en función de la temperatura media T durante el segundo tercio del periodo de incubación de cada nido:

$$P_m = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{P-T}{S}\right]}, \quad (1)$$

donde P es la temperatura pivote (50% machos y hembras) y S es un parámetro de forma que define que tan rápido cambia la proporción de sexos con la temperatura ($S < 0$).

Para conocer la P se recolecta un nido y se incuban los huevos a temperaturas constantes de 28, 29, 30, 31 y 32 °C, respectivamente, con arena del sitio de desove y se registra cada minuto la temperatura durante todo el periodo de incubación siguiendo el método de López-Correa, Porta-Gándara, Gutiérrez y Gómez-Muñoz (2010). Posteriormente, el día de la eclosión las crías se sacrifican con cloroformo, se extraen las gónadas y se fijan con Davidson, se montan en resina sintética (Humason, 1979) y se conoce el sexo de las crías usando un microscopio compuesto de acuerdo con el criterio de Merchant-Larios (2000).

Se utilizaron los valores de los parámetros S y P estimados por Sandoval, Gómez-Muñoz y Porta-Gándara (2017), donde se estimaron a partir del ajuste del modelo de regresión no lineal de Marquardt (1963) a los datos experimentales de la temperatura del nido durante el segundo tercio del periodo de incubación y la proporción observada de machos a todos los datos disponibles de la literatura (López-Correa et al., 2010; McCoy et al., 1983; Pauksis & Janzen, 1990; Sandoval, 2012; Wibbels et

al., 1998) para ajustar el modelo utilizaron la función *nlinfit.m* de MATLAB Statistics Toolbox, R2006a. La curva de la regresión no lineal obtenida fue significativa ($R^2 = 0.84$, $p = 1.97e-26$) y las estimaciones de los parámetros del modelo fueron: temperatura pivote $P = 29.95$ °C y factor de forma $S = -0.63$.

El programa MATLAB propuesto en este estudio permite usar otros valores de los parámetros del modelo Girondot (ecuación 1) en la línea de argumentos de la función *MaleProportion* (Apéndice). A partir de la bitácora del campamento tortuguero para cada nido i se tomaron los datos de día de desove $des(i)$, fecha de eclosión de las crías $eclo(i)$ y número de huevos $h(i)$ sembrados en el nido. Para estimar la proporción de machos en cada nidada es necesario calcular el periodo termosensitivo (segundo tercio del periodo de incubación) individualmente.

Para cada nido i se calcularon el día inicial $ini(i)$ y final $fin(i)$ del periodo termosensitivo (ecuaciones 2 y 3) que definen el segundo tercio del periodo total de incubación:

$$ini(i) = des(i) + \frac{1}{3}(eclo(i) - des(i)) \quad (2)$$

$$fin(i) = des(i) + \frac{2}{3}(eclo(i) - des(i)) \quad (3)$$

Con los datos de anidación del corral de incubación y los datos de temperatura del sensor colocado en la arena a 30 cm de profundidad en el corral de incubación promedio $Tmean(i)$ durante el periodo termosensitivo para cada uno de los nidos sembrados se calculó a partir de los datos de temperatura de arena $T(t)$ del corral de incubación entre los días inicial y final (ecuaciones 4 y 5):

$$Tmean(i) = Promedio(T(t); \quad ini(i) \leq t \leq fin(i)) \quad (4)$$

La proporción de machos, $P_m(i)$, se calculó a partir de la ecuación 1 utilizando $T = Tmean(i)$. La proporción global de machos, P_m , se calculó a partir de las estimaciones para cada nido individual i , $pm(i)$ y el número total de crías supervivientes, $e(i)$, que corresponde a los criterios de agrupación (criadero, estación o mes), como sigue:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^N pm(i) \cdot e(i)}{\sum_{i=1}^N e(i)} \quad (5)$$

Preparación de archivos de datos

Se requieren dos archivos de datos: (1) datos de temperatura de arena del corral de incubación y (2) datos de la bitácora. El primer archivo contiene dos columnas: (1) día del año con una fracción decimal que representa la hora del día; y (2) datos de temperatura. En ambos archivos, el número del día del año se calcula de la siguiente manera: se convierte la fecha en un número y se resta el número correspondiente al 31 de diciembre del año anterior. Por ejemplo, el 21 de junio corresponde al día número 172 del año porque (para la serie de números de 2018): $43272 - 43100 = 172$. Por ejemplo la fila 172.5, 32.8 significa que la temperatura de la arena del 21 de junio a las 12 h fue de 32.8 °C. El segundo archivo contiene tres columnas con datos de incubación: (1) día de desove, (2) día de eclosión, y (3) número de huevos o crías sobrevivientes.

La función MATLAB MaleProportion calcula la proporción de machos a partir de la temperatura promedio de la ecuación 4. El programa lee los dos archivos de datos descritos anteriormente. El de Excel con los datos de temperatura se debe leer primero, y luego el de datos de anidación. En el último archivo, para cada nido, la proporción de machos se calcula aplicando la ecuación de Girondot (1) que promedia las temperaturas de incubación durante el segundo tercio del período de incubación (ecuación 4). Además, la proporción de machos global (GMP) para toda la temporada de incubación calculada a partir de la ecuación 5.

Caso de estudio

Se usaron la temperatura de la arena y los datos de anidación de la tortuga *L. olivacea* del campamento tortuguero Playa Ceuta, ubicado en Sinaloa, México, que cubre 30 km a lo largo de la costa (24° 10' N, 107° 20' W; 23° 52' N, 106° 57' W; figura 1). El campamento se encuentra en un área natural protegida (ANP) bajo la categoría de Zona de reserva y sitio de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y monitoreo de algunas especies de tortugas marinas, en la categoría de santuario (SEMARNAT-CONANP, 2016).

Los registros térmicos se realizaron cada 30 min con un sensor (Hobo UA-001-08) colocado a una profundidad de 30 cm en una ubicación que fuera representativa de todos los nidos durante la temporada de anidación 2009. Con el fin de mostrar las tendencias generales de la temperatura de los nidos se calcularon los promedios móviles de la respectiva a la arena en el corral de incubación (figura 2).

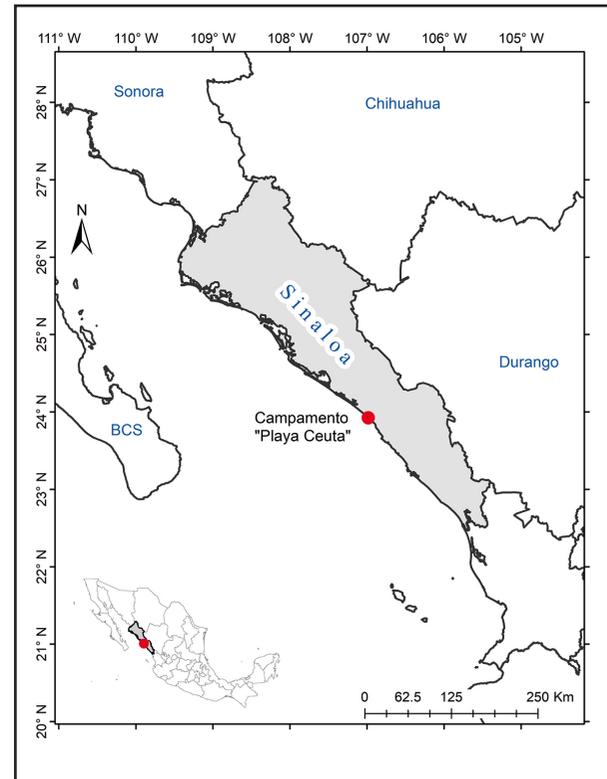


Figura 1. Ubicación del campamento tortuguero Playa Ceuta en Sinaloa, México. Elaboración propia.

La función MATLAB se aplicó utilizando los parámetros del modelo Girondot de una adaptación general del modelo utilizando conjuntos de datos de incubación a temperaturas controladas en el mundo (Sandoval et al., 2017). Los archivos Excel de los datos térmicos y los de anidación se prepararon de acuerdo con la metodología y se guardaron en el mismo directorio donde se carga el script de funciones. En la ventana de comandos (*command window*) de los paneles de MATLAB, la función se llama con la siguiente declaración:

```
[GMP, N, MonthProp, Males, T] = MaleProportion  
(29.9961, -0.6301, 110, 'TableResults')
```

RESULTADOS

Los registros de temperatura del corral de incubación durante la temporada 2009 en el campamento de tortugas Playa Ceuta en Sinaloa, México, mostró que al inicio de la temporada (julio y agosto) la temperatura fluctuó por arriba de 33 °C, y durante el segundo tercio del periodo de incubación se registró

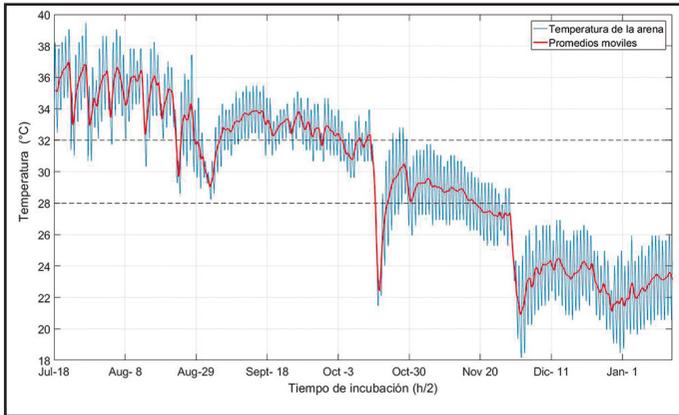


Figura 2. Registros de temperatura de la arena a lo largo de la temporada de anidación 2009 en el campamento tortuguero Playa Ceuta, Sinaloa, México. Elaboración propia.

por arriba de 34 °C, esperando 100% de hembras. La temperatura descendió a partir del mes de septiembre de 32 °C a 24 °C, pero durante el periodo termosensitivo estuvo arriba de 32 °C, por lo que se marca un sesgo hacia las hembras. Para los huevos sembrados en el mes de noviembre la temperatura descendió por debajo de 28 °C y durante el segundo tercio del periodo de incubación se mantuvo alrededor de 24 °C, entendiéndose así que a partir de noviembre para este campamento tortuguero hubo un sesgo hacia los machos y en los meses de julio a octubre hacia las hembras (figura 2).

El programa MATLAB genera un gráfico múltiple con distribuciones estadísticas de frecuencia de proporciones y frecuencia de machos por nido (por número de huevos), así como las distribuciones mensuales de la proporción y número de machos (figura 3). La salida numérica mostrada en la pantalla fue $GMP = 0.2859$ (proporción de machos estimada para toda la temporada de anidación del campamento tortuguero); $N = 22,498$ (número total de huevos procesados);

MonthProp = [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0002, 0.0403, 0.0128, 0.5012, 0.9707, 1.0]

(proporción de machos para cada mes del año en el campamento); Machos= 6,432 (número total de machos producidos el campamento); y una tabla de Excel titulada TableResults con el número estimado de días (inicial y final) del periodo termosensitivo utilizado para la temperatura media de la arena y la proporción de machos para cada nido.

En el campamento de Sinaloa, de un total de 232 nidos, 125 se concentraron en la frecuencia de

0%, 32 nidos en la de 10% de machos y solo 29 nidos mostraron un 100% de machos (figura 3a). La distribución del número de huevos de toda la temporada de anidación indica que la moda fue el intervalo de 0 a 10 machos por nido (figura 3b).

La distribución mensual de la proporción de machos reflejó para octubre 50% de machos, noviembre 98% y hasta el mes de diciembre 100%, pero se ha observado (figura 3c). El número total de machos fue de 6,432, octubre fue el mes con mayor número de los mismos con 43%, noviembre con 25% y diciembre con 26%. En esta área se encontraron a partir de agosto con solo 3%.

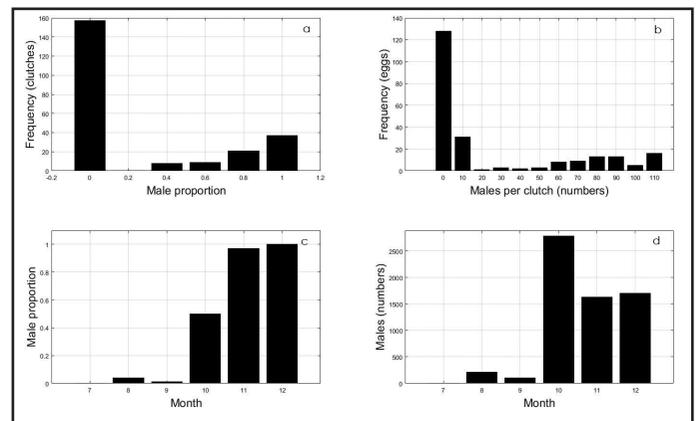


Figura 3. Salida gráfica de la función MATLAB para datos de anidación y temperatura de Sinaloa 2009. Los intervalos de agrupación se identifican por el valor del lado izquierdo. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La temperatura de la arena es uno de los factores que influyen en la proporción de sexos y probablemente en la mortalidad de las crías (Mrosovsky & Yntema, 1980).

Ackerman (1997) menciona que el rango de tolerancia óptimo para el desarrollo de los embriones en las tortugas marinas es de 25 °C a 35 °C, de acuerdo con esta información para el campamento del área de estudio (figura 4) las temperaturas fluctuaron entre 37 °C y 21 °C, por lo que se encontraron temperaturas por arriba de 34 °C, así como por debajo de 22 °C, por tanto, se esperó un bajo éxito de eclosión, tanto a inicio como a fin de temporada.

Mrosovsky (1980) menciona que la temperatura mínima requerida para el desarrollo es de aproximadamente 23 °C, y ya que el desarrollo embrionario es normal, pero lento, con más de 65 días para que las crías emerjan; en el área de estudio los nidos

con más de 45 días de incubación fueron los sembrados a finales de octubre.



Figura 4. Ejemplar de tortuga golfinia.
Fotografía proporcionada por el equipo de investigación.

CONCLUSIONES

En el campamento tortuguero Playa Ceuta, en Sinaloa, al inicio de temporada de anidación (junio-julio) y fin de temporada de anidación (diciembre o enero) es cuando menos hembras se presentan en las playas de anidación, por tanto, aunque la proporción de machos es alta a fin de temporada, debido al bajo porcentaje de nidos en esa época, la proporción final total de machos es baja. La proporción sexual total de la temporada de anidación (julio-diciembre) fue de 28% de machos a lo largo de toda la temporada de anidación.

Fuentes, Hamann y Limpus (2010) establecieron que a pesar de que las temperaturas están aumentando y se espera en un futuro un sesgo hacia las hembras, el modelo de predicción establece que se seguirán obteniendo machos, o como encontró Limpus (2008), hay una serie de variables de temperatura que ejercen una presión selectiva sobre la biología de anidación de tortugas marinas: playas de arena blanca son más frías que las de oscura, playas templadas son más frías que las playas tropicales, las playas son más frías en invierno que en verano.

No se puede afirmar que sucederá o está sucediendo en México, por lo que se debe poner énfasis en las áreas donde anteriormente no había anidaciones, en el registro de regímenes térmicos continuos, así como en la toma de muestras genéticas, para ver cómo se están moviendo las poblaciones en el Pacífico mexicano.

La función MATLAB propuesta que utiliza el modelo Girondot (1999) se puede aplicar a diferentes especies de tortugas marinas, gracias a que los parámetros P (Temperatura pivote) y S se pueden editar en el programa. El último es un parámetro de forma que define qué tan rápido cambia la proporción de sexos con la temperatura y ayuda a conocer de manera práctica la proporción sexual de machos, dato necesario para comprender el estado de conservación de las tortugas marinas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal del campamento tortuguero Playa Ceuta en Sinaloa, México, por el permiso otorgado para llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

- Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En P. L. Lutz, & J. A. Musick (Eds.), *The Biology of Sea Turtles* (pp. 83-106). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Fuentes, M. M. P. B., Hamann, M., & Limpus, C. J. (2010). Past, current and future thermal profiles of green turtle nesting grounds: Implications from climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 383(1), 56-64.
- Gibbons, J. W. (1970). Sex ratios in turtles. *Researches on Population Ecology*, 12, 252-254. doi: 10.1007/BF02511569
- Girondot, M. (1999). Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood. *Evolutionary Ecology Research*, 1, 479-486.
- Humason, G. L. (1979). *Animal tissue techniques* (4a ed., 661 pp.). San Francisco, CA, US: W. H. Freeman and Company.
- Jensen, M. P., Allen, C. D., Eguchi T., Bell, I. P., LaCasella, E. L., Hilton, W. A.,... Dutton, P. H. (2018). Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology: CB*, 28(1), 154-159. doi: 10.1016/j.cub.2017.11.057

- Limpus, C. (2008). Olive ridley turtle, *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz). En L. Fien (Ed.), *A biological review of australian marine turtles* (Vol. 4, 26 pp.). Queensland, Australia: Queensland Government Environmental Protection Agency.
- López-Correa, J., Porta-Gándara, M. A., Gutiérrez, J., & Gómez-Muñoz, V. M. (2010). A novel incubator to simulate the natural thermal environment of sea turtle eggs. *Journal of Thermal Biology*, 35(3), 138-142. doi: 10.1016/j.jtherbio.2010.01.005
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *SIAM Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- McCoy, C. J., Vogt, R. C., & Censky, E. J. (1983). Temperature-controlled sex determination in sea turtle *Lepidochelys olivacea*. *Journal of Herpetology*, 17(4), 404-406. doi: 10.2307/1563594
- Merchant-Larios, H. (2000). Determinación del sexo en crías. En K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois, & M. Donnelly (Eds.), *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas* (Trad., pp. 150-155). Suiza: Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE.
- Mrosovsky, N. (1980). Thermal biology of sea turtles. *American Zoologist*, 20(3), 531-547.
- Mrosovsky, N., & Yntema, C. L. (1980). Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: Implications for conservation practices. *Biological Conservation*, 18(4), 271-280.
- Mrosovsky, N., Dutton, P. H., & Whitmore, C. P. (1984). Sex ratios of two species of sea turtle nesting in Suriname. *Canadian Journal of Zoology*, 62(11), 2227-2239. doi: 10.1139/z84-324
- Paukstis, G. L., & Janzen, F. J. (1990). Sex determination in reptiles: Summary of effects of constant temperature of incubation on sex ratios of offspring. *Smithsonian Herpetological Information Service*, 83, 1-28.
- Sandoval, S. (2012). *Proporción sexual en crías de tortuga Lepidochelys olivacea en corrales de incubación del Pacífico Mexicano* (Tesis de doctorado). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz B. C. S., México.
- Sandoval, S., Gómez-Muñoz, V. M., & Porta-Gándara, M. A. (2017). Expansion of the transitional range of temperature for sea turtle *Lepidochelys olivacea* from sex ratio data at controlled incubation temperatures. *Herpetology Notes*, 10, 63-65.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). Prontuario estadístico y geográfico de las áreas naturales protegidas de México [Documento en pdf]. México: Autor. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/03/PRONTUARIO-ANP-2015.pdf>
- Valenzuela, N., Literman, R., Neuwald, J. L., Mizoguchi, B., Iverson, J. B., Riley, J. L., & Litzgus, J. D. (2019). Extreme thermal fluctuations from climate change unexpectedly accelerate demographic collapse of vertebrates with temperature-dependent sex determination. *Scientific Reports*, 9, 4254. doi: 10.1038/s41598-019-40597-4
- Wibbels, T., Rostal, D., & Byles, R. (1998). High pivotal temperature in the sex determination of the olive ridley sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from Playa Nancite, Costa Rica. *Copeia*, 1998(4), 1086-1088. doi: 10.2307/1447364
- Yntema, C. L., & Mrosovsky, N. (1979). Incubation temperature and sex ratio in hatchling loggerhead turtles: A preliminary report. *Marine Turtle Newsletter*, 11, 9-10.

APÉNDICE

Se comparte el programa de Matlab (.m) y el ejemplo de los archivos Excel necesarios:
<https://drive.google.com/drive/folders/1beq9keJU6fZB5PHj6KCdXnhUFIdfxaXa?usp=sharing>
 Appendix. MATLAB script

1)

```
function [GMP,N,PropMes,Machos,T]=MaleProportion(P,S,MaxEggs,ResultsTableName)
%[GMP,N,PropMes, Machos,T]=MaleProportion(P,S,MaxEggs,ResultsTableName)
%Output parameters:
%GMP=Proporción global de machos
%N= Total number of hatchlings for extrapolation
%T= Tabla de resultados (complimentary nesting data including initial and final dates of
```

```
%the termostative period, nesting temperature for Girondot model and male proportion for
%each clutch)
%Input variables: P=Temperatura pivote; S=Factor de forma
%Pivote=29.9961; S=-0.6301; Parametros de la especie
%In the graphical output, groups are identified by the lower extreme of the intervale
%MaxEggs Maximum used for graphical outputs
%ResultsTableName: Name for output Excel file, i.e. 'ResultsTable'

if nargin<3,MaxEggs=150;
end
FinMes=[31 59 90 120 151 181 212 243 273 304 334 365 396 424];
archtemp=uigetfile('*.xls');
Dtemp=xlsread(archtemp);
dia=Dtemp(:,1);temp=Dtemp(:,2);

archnido=uigetfile('*.xls');
Dnidos=xlsread(archnido);
diadesove=Dnidos(:,1);
diaeclosion=Dnidos(:,2);
huevos=Dnidos(:,3);

nidos=length(huevos);
T= [];

Mesminimo=12; Mesmaximo=1;

for i=1:nidos
    interv=floor((diaeclosion(i)-diadesove(i)+1)/3);
    if diaeclosion(i)<0, interv=15;end
    inicio=diadesove(i)+interv;
    fin=diadesove(i)+2*interv;
    l=find(dia>=inicio&dia<=fin);size(l);
    tmean=mean(temp(l));
    p(i)=girondot([P S],tmean);
    machos(i)=p(i)*huevos(i);
    T= [T;inicio,fin,tmean,p(i),round(machos(i))];
    M=find(inicio<=FinMes);
    mes(i)=min(M);

end
PropFinal=nansum(machos)/nansum(huevos);
mesini=min(mes);
Mesminimo=min(Mesminimo,mesini);
mesfin=max(mes);
Mesmaximo=max(Mesmaximo,mesfin);
for j=mesini:mesfin
    K=find(mes==j);
    MachosMes(j)=sum(machos(K));
    PropMes(j)=sum(machos(K))/sum(huevos(K));
end
maximomachoscorral=max(MachosMes);
xlswrite(ResultsTableName,T)
GMP=PropFinal;
```

```

N=nansum(huevos);
Machos=nansum(MachosMes);

hold on
subplot(2,2,1)
frecp=hist(p,0:0.2:1);bar(0:0.2:1,frecp,'k');
xlabel('Male proportion','FontSize',18); ylabel('Frequency (clutches)','FontSize',18);
grid on

subplot(2,2,2)
frecmachos=hist(machos,0:10:MaxEggs);
bar(0:10:MaxEggs,frecmachos,'k');
xlabel('Males per clutch (numbers)','FontSize',18); ylabel('Frequency (eggs)','FontSize',18)
grid on

hold on
subplot(2,2,3)
bar(mesini:mesfin,PropMes(mesini:mesfin),'k');
axis([Mesminimo-1 Mesmaximo+1 0 1.1])
xlabel('Month','FontSize',18);ylabel('Male proportion','FontSize',18)
grid on

hold on
subplot(2,2,4)
grid on
bar(mesini:mesfin,MachosMes(mesini:mesfin),'k');
axis([Mesminimo-1 Mesmaximo+1 0 maximomachoscorral+100])
xlabel('Month','FontSize',18);ylabel('Males (numbers)','FontSize',18)
grid on

2)

function p=girondot(b,t)

P=b(1);S=b(2);
p=1./(1+exp(1./S.*(P-t)));

```

Análisis comparativo de las características morfométricas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador

Comparative analysis of the morphometric characteristics of hydrographic systems of the Pacific slope, Ecuador

Carlos Matovelle*✉, Diego Heras*

Matovelle, C., & Heras, D. (2020). Análisis comparativo de las características morfométricas de sistemas hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 22-31.

RESUMEN

La morfometría de las cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico en el territorio ecuatoriano es analizada con información topográfica digitalizada en un Modelo de Elevaciones obteniendo características de superficie, relieve y red hídrica, que determinan el comportamiento hidrológico. El análisis se realiza a 13 cuencas hidrográficas que representan un área de 92,775.87 km²; los resultados son obtenidos mediante un análisis estadístico de las relaciones que forman las características morfométricas, obteniendo una caracterización hidrológica de una zona de gran influencia de la vertiente del Pacífico. Los parámetros utilizados son factor de Horton, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje, rugosidad de la cuenca, relación de bifurcación y relación de elongación. Para cada uno de los parámetros analizados se calcularon estadísticos de posición y de dispersión, además de pruebas estadísticas y análisis

Palabras clave: morfometría; cuencas del Pacífico; relación estadística; similitud morfométrica; forma de cuencas.

Keywords: morphometry; Pacific watersheds; statistical relationship; morphometric similarity; shape of basins.

Recibido: 13 de septiembre de 2019, Aceptado: 4 de junio de 2020

* Grupo de Investigación de Contaminación Ambiental y Manejo de Aguas Residuales, Universidad Católica de Cuenca. Av. De las Américas y Humboldt, EC010101, Cuenca, Ecuador. Correo electrónico: cmmatovelleb@ucacue.edu.ec; dherasb@ucacue.edu.ec ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2267-0323>; <http://orcid.org/0000-0002-8729-0981>

✉ Autor para correspondencia

de agrupamiento, evaluando las relaciones que existen entre cada uno de los sistemas, obteniendo similitudes morfométricas y formando grupos que comparten características semejantes.

ABSTRACT

The morphometry of the hydrographic basins of the Pacific slope in the Ecuadorian territory is analyzed with digitized topographic information in an Elevation Model obtaining surface characteristics, relief, and water network that determine the hydrological behavior. The analysis is carried out in 13 Hydrographic Systems that represent an area of 92775.87 km²; the results are obtained through a statistical analysis of the relationships that form the morphometric characteristics obtaining a hydrological characterization of an area of the great influence of the Pacific Pending. The parameters used are Horton factor, compactness coefficient, drainage density, the roughness of the basin, bifurcation ratio, and elongation ratio. From each parameter, position and dispersion statistics were obtained, statistical tests and cluster analysis were performed, evaluating the relationships that exist between each of the systems, obtaining morphometric similarities and forming groups that share similar characteristics.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica se define como un área delimitada en función de la dirección de sus redes de drenaje, en donde su superficie se define por la divisora de aguas a partir del cual la precipitación drena hacia un punto específico (Cotler Ávalos, Galindo Alcántar, González Mora, Pineda López, & Ríos Patrón,

2013). Los criterios para delimitación de cuencas hidrográficas son superficiales y topográficos, ya que en función de la topografía se delimita un área de terreno que drena el agua de precipitación mediante escorrentía a un determinado punto de desagüe. La transformación de agua de precipitación a escorrentía drenada hacia un punto específico se da en función de las condiciones climatológicas y físicas de la zona de estudio, unificando a la naturaleza del suelo y cobertura vegetal que se presente en la cuenca hidrográfica (Gaspari, 2007).

Las características de forma de una cuenca tienen una relación directa en el comportamiento hidrológico y los caudales que pueden llevar los cauces principales, en función de la forma específica que tenga una cuenca su comportamiento hidrológico variaría, por lo que para realizar estudios integrales no basta con conocer los parámetros climáticos sino también los morfométricos, ya que dichos factores de forma son cuantificables y comparables dentro de una misma área de estudio para encontrar relaciones entre características morfométricas y comportamiento hidrológico.

La necesidad de disponer de herramientas adecuadas para la gestión del recurso hídrico se va poniendo de manifiesto con el paso de los años, la optimización en la gestión es prioritaria, considerando incrementos en la demanda de usos de agua y una marcada disminución de la precipitación por efecto del cambio climático (Hernández Pasichana & Posada Arrubla, 2018; Ruiz-Ortiz, García-López, Solera, & Paredes, 2019). Existen muchas herramientas de modelación para la gestión pero que no pueden ser correctamente utilizadas por la falta de información para que el modelo se calibre y ajuste de mejor manera. Analizar las características morfométricas y buscar relaciones estadísticamente válidas entre ellas es parte inicial de la solución al problema en cuestión (Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, & León, 2015; Torres-Tabares, Velasco-Santamaría, & Ramírez-Merlano, 2014).

El estudio del ciclo hidrológico tiene como unidad fundamental la cuenca, los análisis de estos estudios generalmente están enfocados en la simulación del proceso natural del flujo de agua que puede modelarse junto a otros procesos como el transporte de sedimentos, transformación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua (Singh & Frevert, 2006), pero al analizar estos procesos se dejan de lado otros componentes del ciclo hidrológico que tienen igual importancia para un entendimiento global del sistema, como son los parámetros de forma. Estos además de indicar el tipo de cuenca de

análisis pueden dar un conocimiento del comportamiento del sistema.

La aplicación de modelos matemáticos para el estudio del ciclo hidrológico se basa en enfoques deterministas, los cuales usan sistemas de ecuaciones diferenciales para representar procesos físicos que describen el movimiento del agua; sin embargo, también se pueden obtener modelos mediante la experiencia o la estadística (Viessman & Lewis, 2003), para esto serán necesarios los datos históricos representativos de un sistema analizado. De estos planteamientos es necesario considerar sus diferencias e implicaciones: primero, la necesidad de un alto volumen de información requerida para un análisis integrado en cualquier cuenca en función al número de variables y parámetros requeridos en el modelo y tamaño de la cuenca; segundo, la baja disponibilidad de dicha información (Burbano-Girón, Domínguez, & Etter, 2009), sobre todo en lugares en donde la infraestructura de monitoreo es deficiente.

Otra aproximación al modelamiento hidrológico es mediante los modelos estocásticos, que usan menor información comparados con los deterministas, ya que no es necesario un conocimiento profundo de cada parámetro de la zona analizada, involucrando comúnmente componentes del ciclo hidrológico como precipitación, evaporación y escorrentía; además de variables como la pendiente, y de parámetros físicos inherentes al sistema que describen características del proceso; obteniendo en todos los casos muy buenos ajustes en las probabilidades de escorrentía generadas (Frolov, Vyruchalkina, & Solomonova, 2003).

Los modelos estocásticos han sido utilizados por mucho tiempo para realizar evaluaciones a sistemas de recursos hídricos, capacidad y operación de los embalses, efectividad de gestión, planificar la implementación de infraestructura de regulación natural o artificial y generar escenarios para simular el comportamiento futuro de sistemas (Avilés-Añazco, Solera-Solera, & Paredes-Arquiola, 2016).

Ante las dificultades de obtención de información mencionadas han surgido varios enfoques para sustituir los vacíos de información en la modelación hidrológica. Se enfatiza en la construcción de modelos menos complejos basados en relaciones estadísticas, tales como los análisis de regresión múltiple, análisis factoriales de tipo componentes o componentes principales, o aproximaciones bayesianas (Vilaysane, Takara, Luo, Akkharath, & Duan, 2015), que se pueden aplicar a parámetros de forma de las cuencas. La principal ventaja de estos enfoques es que permiten integrar parámetros y variables, tan-

to para modelos deterministas como estocásticos, lo que reduce los problemas de falta de información (Burbano-Girón, Domínguez, & Barón-Ruiz, 2016).

En este análisis se busca tener un conocimiento inicial entre cuencas hidrográficas que formen la vertiente del Pacífico en el territorio ecuatoriano para entender en investigaciones y análisis posteriores los procesos hidrológicos que ocurren en el territorio analizado. Este análisis pretende caracterizar una zona geomorfológica por medio de parámetros de forma que sean aptos para un tratamiento matemático y estadístico y esto permita disminuir la subjetividad en las conclusiones que se deriven de esos parámetros (Doffo & González Bonorino, 2005). Se le da un particular análisis a la obtención y validación de los resultados de los tiempos de concentración obtenidos mediante fórmulas que se basan en relaciones de las características morfométricas. El tiempo de concentración y retardo son variables utilizadas en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de diferentes obras de infraestructura; se trata de variables que son propias para cada zona y dependen de los parámetros morfométricos como de las precipitaciones (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2011).

Conocer dichas características dentro de la zona de estudio permite tener una base para realizar estudios hidrológicos de alto nivel, conocer los aportes de las cuencas, modelos para predecir caudales para dimensionamiento de obras hidráulicas y proyectar sistemas de riego. Dentro de la vertiente del Pacífico los estudios son escasos y las características que poseen estos sistemas permiten tener un área de gran interés de investigación que parte desde sus características de forma y la generación de los tiempos de concentración en función de las características morfométricas analizadas. Las cuencas que vierten hacia el Pacífico tienen formas y características distintas a las de la vertiente amazónica, condicionando un ciclo hidrológico distinto y permitiendo estudios complementarios a las cuencas amazónicas. Son evidentes las diferencias de áreas, hipsometrías, cobertura vegetal, redes de drenaje (figura 1) con clara distinción de las dos vertientes.

El objetivo principal del estudio fue calcular las características morfométricas mediante el análisis con sistemas de información geográfico de 13 cuencas que drenen sus aguas hacia el Océano Pacífico y sus relaciones estadísticas. Con los datos obtenidos se realizan conclusiones mediante validaciones estadísticas para que las interpretaciones tengan confiabilidad y obtener similitud entre cuencas que permita un agrupamiento por similitud.



Figura 1. Fotografía satelital de las cuencas vertientes del Pacífico. Imagen tomada de Gloe (15 de junio de 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de los parámetros morfométricos y su posterior análisis se eligieron 13 cuencas hidrográficas que abarcan la mayor parte del territorio ecuatoriano, cuyo punto de desagüe es el Océano Pacífico, tanto en área como en ubicación de norte a sur. Se trabaja sobre los sistemas de Esmeraldas, Guayas, Cañar, Jubones, Catamayo y Puyango; en la figura 2 se observan las cuencas que tienen vertiente en el Pacífico y las seleccionadas para el análisis.

El área total de la vertiente del Pacífico es de 123,453 km² y el área de las cuencas seleccionadas es de 92,775.87 km², lo que representa 75 % del área total como área de estudio realizado en la presente investigación; además se observa una expansión de norte a sur que abarca la selección y representa un área de interés investigativo en todo el territorio; es decir, no se ha centralizado el estudio al norte, sur o centro del país, se han considerado cuencas en toda la extensión. La delimitación de las cuencas se realiza a partir del MDE de 3 m de tamaño de celda y luego se calculan los parámetros morfométricos a partir de los shapes generados de cada cuenca hidrográfica.

Cada sistema hidrográfico es analizado de manera individual obteniendo parámetros aislados que luego son relacionados y analizados entre sí. De acuerdo con (Chow, Maidment, & Mays, 1994) los

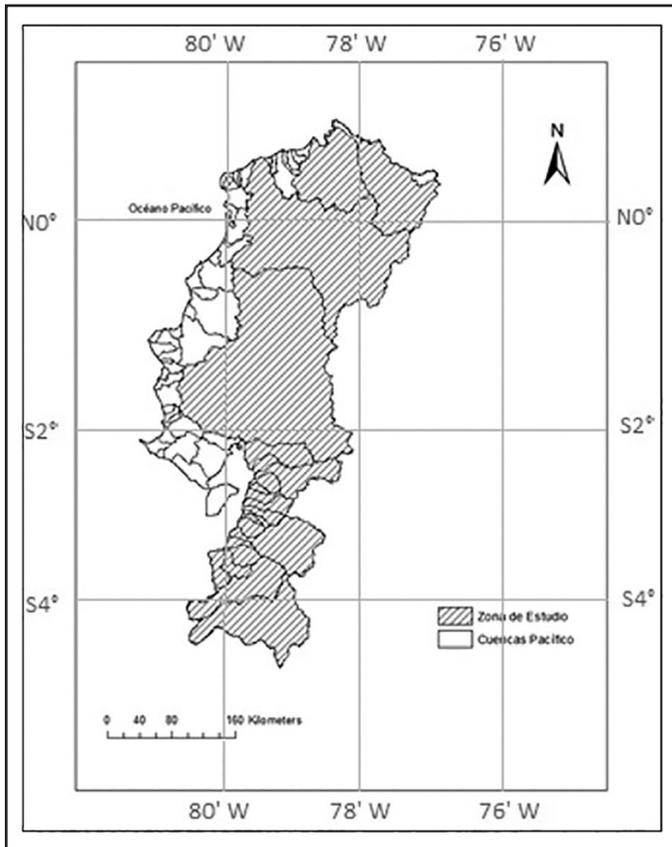


Figura 2. Cuencas hidrográficas seleccionadas. Elaboración propia.

parámetros morfométricos analizados, en función de su relación con la respuesta hidrológica, son:

- Los parámetros de forma en donde se calcula el área
- El perímetro a partir de las características superficiales
- Las cotas máximas y mínimas que son obtenidas a partir de las elevaciones del modelo digital utilizado.

Se calcula también el coeficiente de compacidad de Gravellius (K_c) (adimensional) que relaciona el perímetro de un círculo con área similar al de la cuenca, así como el índice de homogeneidad, que también es un factor adimensional que indica la relación del área de la cuenca con la de un rectángulo (Cruz Romero, Gaspari, Rodríguez Vagaría, Carrillo González, & Téllez López, 2015). Al comparar el área de una circunferencia con el de la cuenca mediante el coeficiente de Gravelius los valores cercanos a 1 indican que la cuenca tiene una forma circular, además de indicar la tendencia del área y forma de la cuenca a concentrar altos caudales de escurrimiento.

Dentro de los parámetros de relieve las curvas hipsométricas se analizan como las variaciones de altura de acuerdo con el porcentaje de área que se tiene en cada una de las cuencas analizadas mediante el procesamiento de modelos digitales de elevación con la ayuda de sistemas de información geográfica, al obtener información sintetizada sobre la altitud y forma de la cuenca, así como el tiempo de ocurrencia de la escorrentía superficial (Luo & Harlin, 2003), y es también utilizada para interpretar las etapas del paisaje y los procesos de erosión que ocurren en una cuenca (Luo, 2000) al representar gráficamente la distribución del área de la cuenca en diferentes tramos de altura.

Dentro de los parámetros de la red hidrográfica se calculan las longitudes totales de la red hídrica, longitud del cauce principal, densidad fluvial, al igual que los procesos previos se parte de la red hidrográfica generada con las herramientas de los sistemas de información geográfica. Se trabaja un modelo digital de elevaciones con un tamaño de celda de 3 m y se considera un criterio de área aportante de 2 km², para indicar este criterio se coloca la subcuenca del río Rircay, en donde se genera la red hidrográfica digitalizada (figura 3).

En el análisis de las cuencas se emplearon varias relaciones morfométricas que vinculan los parámetros obtenidos, se encuentran indicados en la tabla 1 y su significado se describe a continuación: la densidad de drenaje (D_d) es una expresión de la longitud de cauces que se pueden formar. D_d está gobernada por el tipo de precipitación que caiga sobre la cuenca, cubierta vegetal, topografía y tipo de suelo (Doffo & González Bonorino, 2005). Con el

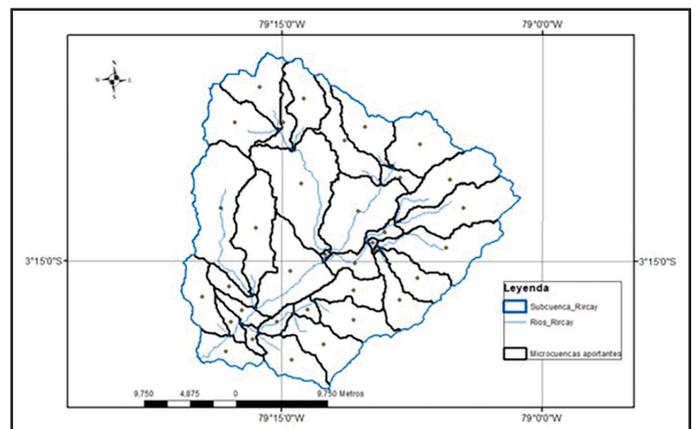


Figura 3. Subcuenca del río Rircay. Criterios de superficie para determinación de la red hidrográfica. Elaboración propia.

objetivo de determinar el drenaje de la cuenca y analizando su densidad se puede considerar que valores de densidad de drenaje de 0.5 km/km^2 o mayores indican una eficiencia alta de la red de drenaje. La rugosidad de cuenca (R_d) vincula la densidad de drenaje con el relieve, cuencas densidades de drenaje elevadas y con bajo relieve presentan un índice de rugosidad similar a cuencas moderadamente disectadas y con alto relieve (Patton & Baker, 1976).

La relación de bifurcación (R_b) describe un aspecto de la organización de la red de drenaje. La relación de bifurcación media para cada cuenca analizada se obtiene como promedio de las relaciones parciales existentes. En el esquema de Strahler (1957) el menor valor teórico de R_b es 2 y corresponde a dos tributarios y un colector, que según este autor es el mínimo nivel que puede existir en una cuenca. Una red de drenaje de tipo dendrítico tiende a valores altos de R_b , mientras que una de tipo paralelo puede dar valores cercanos a 2. La ley de Horton K_f se conoce como la relación entre los números de cursos que existan en cada orden de la red y una relación geométrica de la cuenca (Doffo & González Bonorino, 2005), siendo la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca y mide lo alargada que puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo está menos expuesta a crecientes que una de la misma área, pero con un mayor factor de forma. Los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas, dándole cada uno de los valores morfométricos mencionados. Un valor de K_f superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y, por consecuencia, tienden a concentrar la escorrentía de una lluvia intensa, lo que forma fácilmente grandes avenidas.

Procesamiento estadístico

En primer lugar se determinará si los parámetros morfométricos de las cuencas del Pacífico provienen de una distribución normal para poder aplicar los tratamientos estadísticos empleando métodos paramétricos. El test de normalidad aplicado es el test de normalidad de Anderson-Darling en los 13 datos disponibles en cada vector de indicadores vinculados a la morfometría de la cuenca del Pacífico.

El test de normalidad de Anderson-Darling mide qué tan bien los datos siguen la distribución normal. La hipótesis nula describe: H_0 , los datos siguen una distribución normal, y la hipótesis alternativa es que los datos no siguen la distribución normal. La prueba se realiza de manera estándar con respecto a un

nivel de significancia $\alpha = 0.05$. En consecuencia, se debe rechazar la normalidad de los datos si el p -valor resultante es mucho menor que el valor del nivel de significancia (Cox & Hinkley, 2013; Walpole, Myers, R. H., Myers, S. L., & Keying, 2012).

RESULTADOS

La caracterización morfométrica de las cuencas del Pacífico se encuentra definida por los parámetros seleccionados y calculados (tabla 2), el motivo principal del análisis estadístico es explorar el significado de los índices morfométricos en las cuencas seleccionadas del Pacífico.

La morfometría permite hallar parámetros que caractericen un ambiente geomorfológico y que se puedan tratar mediante análisis estadísticos que evitan la subjetividad en los análisis derivados de estos parámetros (Doffo & González Bonorino, 2005). En la tabla 3 se presentan los valores p resultantes de la prueba estadística de normalidad.

En este caso únicamente los valores de los indicadores morfométricos R_b y K_c provienen de una distribución normal al no rechazar la hipótesis nula de la prueba. Se procede a describir al sesgo de las distribuciones como una guía para sugerir las transformaciones adecuadas mediante las curvas de densidad (figura 4).

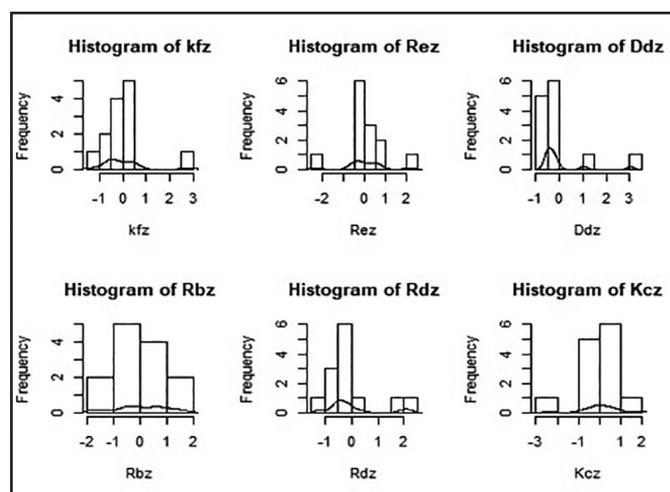


Figura 4. Curvas de densidad de los parámetros morfométricos. Elaboración propia.

Tabla 1
Parámetros morfométricos calculados

Parámetro	Fórmula	Elementos
Densidad de drenaje	$Dd = L/A$	L= Longitud de la red hídrica A= Área de la cuenca
Rugosidad de la cuenca	$Rd = Dd * RR$	RR= $Alt_{max} - Alt_{min}$
Relación de bifurcación	$Rb = N_u/N_{u+1}$	N_u = Número de cauces de la cuenca
Relación de elongación	$Re = 1.128\sqrt{A}/L$	
Coefficiente de compacidad	$K_c = P/2\pi R$	P= Perímetro de la cuenca R= Radio de la circunferencia
Factor de forma	$K_f = A/L^2$	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Resultados de los parámetros morfométricos

Sistema	Área (km ²)	Longitud del cauce (km)	Kf	Re	Dd	Rb	Rd	Kc
Jubones	4235.61	152.46	0.1822	0.481	2.09	0.888	8631.78	0.7704
Esmeraldas	21621.34	345.59	0.1810	0.479	2.14	0.900	12396.9	1.2559
Guayas	32121.93	304.28	0.3469	0.664	3.17	0.900	15795.0	1.5204
Cañar	2443.17	122.84	0.1619	0.453	6.69	0.875	29946.4	1.1703
Catamayo	7170.99	192.13	0.1943	0.497	2.05	0.888	7433.03	1.1920
Puyango	3628.87	106.61	0.3193	0.637	2.03	0.875	7568.80	1.5536
Mira	6511.04	203.81	0.1567	0.446	2.06	0.888	9916.77	0.9242
Cayapas	6311.55	133.41	0.3546	0.671	2.71	0.888	9432.91	1.4526
Taura	2372.75	114.26	0.1817	0.480	3.46	0.875	11202.1	1.1471
Nar_Pag	3364.83	789.29	0.0054	0.082	2.79	0.875	12259.7	0.1384
Santa Rosa	1048.86	56.98	0.3231	0.641	2.78	0.857	9775.86	1.0720
Arenillas	649.20	48.31	0.2782	0.595	12.5	0.875	27573.2	1.2580
Zarumilla	791.77	32.14	0.7666	0.987	2.63	0.857	3131.83	2.0200

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3
Prueba de normalidad

kf	Re	Dd	Rb	Rd	Kc
0.01	0.043	3.46e-	0.08	0.00	0.27
2	6	06	0	3	2

Nota: Elaboración propia.

Al analizar la figura 4 se puede notar que generalmente las distribuciones poseen un sesgo positivo que evidencian mayor acumulación de datos en los valores relativamente bajos de las distribuciones, específicamente para las variables *Kf*, *Dd* y *Rd*. Esto se puede cuantificar mediante un coeficiente de sesgo que se observa en la tabla 4.

Dicho tipo de sesgo en transformaciones como las logarítmicas provoca valores negativos imposibilitando la transformación; sobre los datos no normales *kf*, *Re*, *Dd* y *Rd* se aplican transformaciones de Johnson para conseguir la normalidad en los vectores resultantes (Husson, Lê, & Pagès, 2013). Una vez aplicada la transformación los datos resultan normales y se prosigue con el tratamiento estadístico empleando métodos paramétricos que resultan ser más robustos que los métodos no paramétricos, los resultados de la prueba de normalidad aplicada a los datos transformados se exponen en la tabla 5.

Tabla 4
Cuantificación del sesgo

kfz	Rez	Ddz	Rbz	Rdz	Kcz
1.568	-0.136	2.423	-0.275	1.334	-0.576

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5
Valores p de normalidad

Kf_t	Re_t	Dd_t	Rb_t	Rd_t	Kc_t
0.2453	0.2115	0.5284	0.0804	0.9431	0.2720

Nota: Elaboración propia.

Se aprecia que todos los valores p resultan mayores al valor $\alpha = 0.05$, por tanto, se declaran normales. Con los datos normalizados se procede

a encontrar la matriz de correlación. En vista de la transformación de los datos y ya que los parámetros analizados tienen diferentes unidades calculadas se normalizan los datos a puntuaciones Z. En la figura 5 se puede apreciar la matriz de correlación de los datos normalizados y estandarizados.

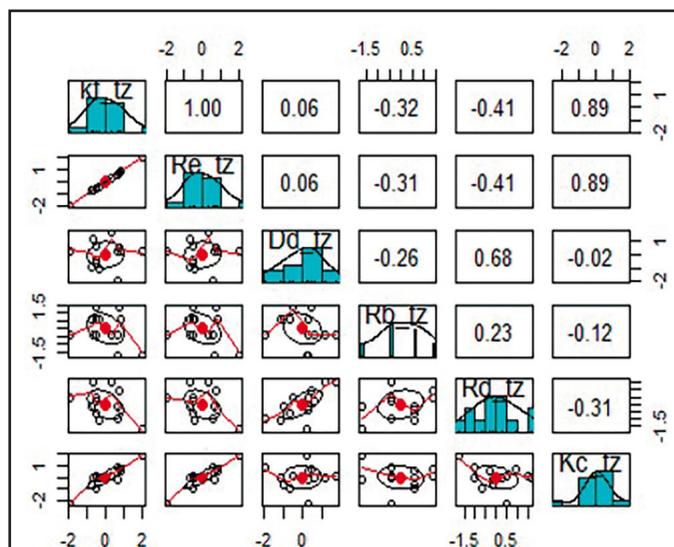


Figura 5. Matriz de dispersión, histograma y correlación. Elaboración propia.

Hay interacciones fuertes entre los pares: (*k_f* y *Re_t*) con un valor $r = 0.999$, entre (*Re_tz* y *Kc_tz*) con un valor de $r = 0.89$, entre (*kf_tz* y *Kc_tz*) con un valor de $r = 0.89$, finalmente hay una interacción positiva relevante entre (*Rd_tz* y *Dd_tz*) con un valor de $r = 0.68$. Ya que no se seleccionó ninguna división específica de agrupamiento de las cuencas estudiadas, sino se utiliza el criterio de hipsometría para la selección de este estudio, se explora la posibilidad de existencia de algún agrupamiento natural por sus características morfométricas. Para lograr este análisis se recurre al análisis de agrupamiento (clúster análisis) que se basa en una matriz de distancias. En el dendrograma de la figura 6 se obtiene que los grupos relacionados están vinculados por las líneas horizontales y las alturas a la que se unen dos grupos representan la distancia que hay entre las características morfométricas de cada grupo formado.

En el dendrograma se comprueba que existe similitud de los parámetros morfométricos analizados entre diferentes grupos de cuencas hidrográficas con vertiente hacia el Pacífico en el Ecuador, ya que el análisis realiza agrupamientos en función de la similitud de características analizadas.

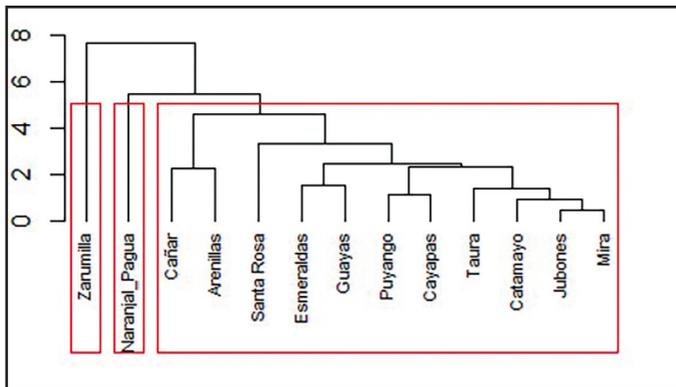


Figura 6. Dendrograma de las características morfométricas en las cuencas analizadas.
Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Existe una relación muy fuerte entre el coeficiente de forma, coeficiente de compacidad y relación de elongación de las cuencas analizadas. Las tres son medidas que intentan cuantificar la forma alargada o no de una cuenca, esto indica que en un análisis posterior de las cuencas de estudio es necesario el cálculo solo de una de las variables, esto permite simplificar parámetros y optimizar análisis. Existen diversos criterios de correlación entre parámetros de cuencas que consideran relaciones estadísticas para indicar que los parámetros tienen relaciones válidas ($R^2 \geq 0.50$) (Guevara Gutiérrez, Olguín López, Mancilla Villa, & Barreto García, 2019), además de relacionar de esta manera los parámetros se pueden plantear similitudes entre diferentes sistemas (Meza Rodríguez & Martínez Rivera, 2010), llegando incluso a tener cuencas tan similares que estudios aplicados en ellas se pueden replicar con certeza numérica.

Otra relación para considerar es la que tienen la densidad de drenaje con la rugosidad de la cuenca; si bien la rugosidad es un parámetro calculado a partir de la densidad de drenaje y se esperaría que la relación fuera igual a la unidad, se observa que el factor de correlación es de 0.68, lo que indica que no es una relación y esto se debe a que dichos parámetros dependen además de las características de forma de los parámetros geológicos y ecológicos de las cuencas (Peña Llopis, 2007), al ser de diferentes áreas y con diferentes usos de suelo, cada una presenta un comportamiento particular de la red de drenaje. Dependerá además de la sensibilidad del método utilizado para determinar la red de drenaje para que la relación sea más marcada, como se observa en el estudio de Camino et al. (2018).

El dendrograma hace evidente la tendencia a la formación de tres grupos a una distancia estadística aproximada común de 5 entre Naranjal_Pagua y las cuencas a su derecha y una distancia mayor de la cuenca en Zarumilla. Existe un agrupamiento fuerte con una distancia estadística en el intervalo [1.5 y 2] entre las cuencas Cañar, Arenillas, Santa Rosa, Esmeraldas Guayas, Puyango, Cayapas, Tura, Catamayo, Jubones y Mira. En el dendrograma se puede apreciar que las características morfométricas de Zarumilla son muy diferentes a las del resto del grupo, pues existe mayor distancia, aproximadamente 7.8. Por otra parte, Naranjal_Pagua forma otra categorización a una distancia aproximada de 5.7 y que forma parte del conjunto a su derecha fuertemente agrupado. Jubones y Mira comparte características a una distancia aproximada de 1.5 y se agrupan con Catamayo y Taura, compartiendo algunas características. Se forma otro conjunto dentro de este gran grupo a una distancia aproximada de 1.8 con Puyango y Cayapas. De las 13 cuencas en el análisis, la primera división que corresponde a Zarumilla, significa 7.6%, igual que Naranjal_Pagua. El 84.61% corresponde a la agrupación de las cuencas Cañar, Arenillas, Santa Rosa, Esmeraldas Guayas, Puyango, Cayapas, Tura, Catamayo, Jubones y Mira.

CONCLUSIONES

Empezar con modelos estadísticos para conocer una zona de gran interés hidrológico poco estudiada es una alternativa que permite ir obteniendo resultados y características que pueden disminuir la zona de análisis con criterios adecuados sin perder precisión en los resultados extrapolados. La metodología estadística empleada ha tenido que ir acoplándose a los datos que se generan, desde el análisis de normalidad hasta las pruebas de agrupamiento, esto se da en sistemas de datos tan variables como las cuencas hidrográficas, en donde variables físicas condicionan los resultados obtenidos que deben procesarse para obtener modelos estadísticos. Las cuencas hidrográficas analizadas que forman parte de la vertiente del Pacífico muestran relaciones particulares similares entre ellas, esto ha permitido realizar un conjunto evidenciando la formación de agrupamientos por condiciones naturales analizadas estadísticamente, esto indica que se pueden reducir de gran manera zonas de análisis sin perder precisión en los resultados y estos podrán ser extrapolados a los grupos de características similares.

Agradecimientos

La publicación es parte del Proyecto Caracterización morfométrica de las cuencas del Pacífico - Ecuador,

financiado en la V Convocatoria de Proyectos de Investigación de la Universidad Católica de Cuenca.

REFERENCIAS

- Avilés-Añazco, A., Solera-Solera, A., and Paredes-Arquiola, J. (2016). Análisis del rendimiento de sistemas hídricos en desarrollo mediante el acople de modelos estocásticos hidrológicos y optimización de redes de flujo. *Ingenius*, 15. doi: 10.17163/ings.n15.2016.05
- Burbano-Girón, J., Domínguez, E., & Barón-Ruiz, O. (2016). Análisis de la relación entre variables morfométricas y biofísicas en la estimación de características probabilísticas para la oferta hídrica superficial en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 514-526. doi: 10.18257/raccefyn.291
- Burbano-Girón, J., Domínguez, E., & Etter, A. (2009). Modelación del efecto de escenarios de cobertura sobre la migración de nutrientes en la cuenca alta del río Magdalena (Huila, Colombia). *Ingeniería y Universidad*, 13(2), 341-369.
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., López de Armentia, A., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía* 27(1), 73-97.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada* (ed. Martha Edba Suárez). Santa Fé de Bogotá.
- Cotler Ávalos, H., Galindo Alcántar, A., González Mora, I. D., Pineda López, R. F., & Ríos Patrón, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. México: SEMARNAT. Recuperado de http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf
- Cox, D. R., & Hinkley, D. V. (2013). *Theoretical Statistics*. US: Chapman and Hall/CRC.
- Cruz Romero, B., Gasparí, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigacion y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 26-34.
- Doffo, N., & González Bonorino, G. (2005). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. *Revista de La Asociacion Geologica Argentina*, 60(1), 16-22.
- Frolov, A. V., Vyruchalkina, T. Y., & Solomonova, I. V. (2003). Dynamic-stochastic modeling of rivers rising from lakes. *Water Resources*, 30(6), 627-631.
- Gaspari, F. J. (2007). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de informacion geográfica (SIG)*. Buenos Aires: Universidad Internacional de Andalucía.
- Gloe, A. [@u/AJgloe]. (15 de junio de 2018). Exaggerated Relief Map of the Andes and Amazon Basin [Fotografía en Reddit]. Recuperada de https://www.reddit.com/r/Map_Porn/comments/986911/exaggerated_relief_map_of_the_andes_and_amazon/?utm_source=share&utm_medium=web2x
- Guevara Gutiérrez, R. D., Olgún López, J. L., Mancilla Villa,, O. R., & Barreto García, O. A. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 24, 141-158. doi: 10.21138/GF.622
- Hernández Pasichana, S. M., & Posada Arrubla, A. (2018). Avances de la investigación sobre la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 553-563.
- Husson, F., Lê, S., & Pagès, J. (2013). *Análisis de datos con R*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Luo, W. (2000). Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 105(E1), 1685-1694. doi: 10.1029/1999JE001096
- Luo, W., & Harlin, J. M. (2003). A theoretical travel time based on watershed hypsometry. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(4), 785-792.
- Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., & León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): Aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 133-156.

- Meza Rodríguez, D., & Martínez Rivera, L. M. (2010). *Análisis morfométrico de las cuencas de la red MEX-LTER: Estudio de diez cuencas a nivel nacional en México* (52 pp.). Universidad de Guadalajara/RED MEX-LTER: México. Recuperado de https://www.academia.edu/35320017/ANALISIS_MORFOM%3%89TRICO_DE_LAS_CUENCAS_DE_LA_RED_MEXLTER_ESTUDIO_DE_DIEZ_CUENCAS_A_NIVEL_NACIONAL_EN_M%3%89XICO
- Patton, P. C., & Baker, V. R.. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research*, 12(5), 941-952.
- Peña Llopis, J. (2007). *Efectos ecológicos de los cambios de coberturas y usos de suelo en la Marina Baixa (Alicante)* (Tesis doctoral, Universidad de Alicante). Recuperada de <https://www.pik-potsdam.de/news/public-events/archiv/alter-net/alumni/tesis-juanpena.pdf>
- Ruiz-Ortiz, V., García-López, S., Solera, A., & Paredes, J. (2019). Contribution of decision support systems to water management improvement in basins with high evaporation in mediterranean climates. *Hydrology Research*, 50(4), 1020-1036.
- Singh, V. P., & Frevert, D. K. (Eds.). (2006). *Mathematical models of large watershed hydrology*. Colorado,US: Water Resources Publications.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Torres-Tabares, A., Velasco-Santamaría, Y. M., & Ramírez-Merlano, J. A. (2014). Características morfológicas, morfométricas, merísticas y manejo de la primera alimentación de larvas de escalar altum (*Pterophyllum altum*) (Pellegri, 1903). *ORINOQUIA*, 18(extra 1), 183-192.
- Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 78(165), 58-71.
- Viessman, W., & Lewis, G. L. (2003). *Introduction to Hydrology* (5th. ed.). Upper Saddle River, NJ, US: Prentice Hall.
- Vilaysane, B., Takara, K., Luo, P., Akkharath, I., & Duan, W. (2015). Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin, Lao PDR. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 380-390.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Keying, Y. (2012). *Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias* (9ª. ed.). México: Pearson Educación.

Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México

Geomorphological characterization of the Mezcalapa river sub-basin, Grijalva-Usumacinta hydrological region (RH-30) in southeastern Mexico

Abner Álvarez-Soberano*, Ojilve Ramón Medrano-Pérez**✉

Álvarez-Soberano, A., & Medrano-Pérez, O. R. (2020). Caracterización geomorfológica de la subcuenca río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en sureste de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 32-44.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal caracterizar la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta en el sureste de México usando sistemas de información geográfica (SIG) y una serie de parámetros morfométricos con la finalidad de analizar y comprender el comportamiento morfodinámico e hidrológico de esta subcuenca. Si bien los resultados obtenidos explican el comportamiento hidromorfométrico en la subcuenca, las características hidrológicas y sedimentológicas del río Mezcalapa están definidas por la política de operación de la presa Peñitas (nombre oficial: presa Ángel Albino Corzo). Con esta investigación se busca contribuir y fortalecer el conocimiento local, como también favorecer la toma de decisiones en los temas de ordenamiento territorial, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Palabras clave: región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30); geomorfología; hidromorfología; inundaciones; río Mezcalapa; ordenamiento territorial.

Keywords: Grijalva-Usumacinta hydrological region (RH-30); geomorphology; hydromorphology; floods; Mezcalapa river; territorial planning.

Recibido: 11 de julio de 2019, aceptado: 23 de junio de 2020

* División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, C. P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México. Correo electrónico: abner_0129@hotmail.es. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5025-9390>

** Cátedra Conacyt- Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C. Calle Centenario Instituto Juárez S/N, Col. Reforma, C. P. 86080, Villahermosa, Tabasco, México. Correo electrónico: ojilve.medrano@ccgs.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5445-1136>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The main objective of this work is to characterize the geomorphology of the Mezcalapa river sub-basin in the Grijalva Usumacinta hydrological region in southeastern Mexico using Geographic Information Systems (GIS) and morphometric parameters with the purpose of analyzing and understanding the morphodynamic and hydrological behavior of this sub-basin. Although the results obtained are explained the hydro-morphometric behavior in the sub-basin, the hydrological and sedimentological characteristics of the Mezcalapa river are defined by the operation policy of the Peñitas dam. This research seeks to contribute and strengthen local knowledge, as well as favor decision-making on issues of territorial planning, civil protection, infrastructure, and public policies.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las cuencas hidrológicas ha tomado mayor relevancia en años recientes con la finalidad de proteger y conservar los recursos naturales (Viramontes Olivas, Pinedo Álvarez, Reyes Gómez, Muñoz Robles, & Núñez-López, 2015). El manejo de los mismos presenta cierto grado de dificultad, pues la problemática originada en zonas altas de una cuenca puede afectar a poblaciones, actividades productivas y ecosistemas de las zonas bajas, dependiendo de su posición en el territorio (Cotler & Care, 2009). La cuenca como unidad territorial de análisis y gestión representa la interrelación espacial de las sociedades rurales y urbanas con su ambiente (Menchaca-Dávila & Alvarado-Michi, 2011).

El análisis de los parámetros morfométricos es fundamental para la comprensión e interpretación del comportamiento morfodinámico e hidrológico

de una cuenca, así como para determinar indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas (Méndez & Marcucci, 2006). Por consiguiente, este tipo de análisis describe la geomorfología mediante parámetros matemáticos que disminuyen la subjetividad en las conclusiones resultantes (Cruz-Romero, Gaspari, Rodríguez Vagaría, Carrillo González, & Téllez López, 2015). Las propiedades morfométricas de las cuencas (tamaño, forma y pendiente) modifican el comportamiento del caudal y de las crecidas, y resultan claves en la respuesta del primero, pudiendo atenuar o intensificar las crecidas (González De Matauco, 2004). A su vez, el uso de SIG ha potenciado los estudios morfométricos (Cruz-Romero et al., 2015).

Los parámetros morfométricos se han utilizado en distintas zonas del mundo en el estudio de cuencas o microcuencas, siendo claves en el análisis del funcionamiento y la respuesta hidrológica de las cuencas. En particular, Gaspari et al. (2012) caracterizan la morfometría de la cuenca alta del río Sauce Grande, Argentina, mediante sistemas de información geográfica (SIG) y la interpretación de imágenes satelitales como base para el sistema de pago por servicios ambientales. En cambio, González De Matauco (2004) analiza la morfometría de la cuenca del río Zadorra, España, para determinar la influencia de factores en la intensificación o posible atenuación de las crecidas en esta cuenca. Igualmente, Guerra y González (2002) realizaron una caracterización morfométrica empleando mapas de la cuenca de la quebrada la Bermeja en San Cristóbal, Venezuela, para conocer el comportamiento de la red de drenaje y la evolución hipsométrica, y así identificar los sectores hidrográficos y proponer una subdivisión de la cuenca.

En el caso de México, Mariscal-Romero, Chávez-González y Arciniega-Flores (2019) caracterizan físicamente mediante diferentes parámetros e índices hidrográficos el área de drenaje de la Bahía de Navidad, Jalisco, para identificar y definir con mayor precisión el comportamiento hidrográfico de las subcuencas de esta zona. A su vez, Ramírez-García, Cruz-León, Sánchez-García y Monterroso-Rivas (2015) caracterizaron la morfometría de la subcuenca del río Moctezuma, Sonora, mediante SIG con la finalidad de formular estrategias de desarrollo sustentable. En cambio, Salas-Aguilar, Pinedo-Álvarez, Viramontes-Olivas, Báez-González y Quintana-Martínez (2011) caracterizaron la morfometría de la cuenca de río Nazas-Rodeo, Durango, como apoyo para la planeación y gestión de recursos naturales y preven-

ción de desastres. De igual manera, Cruz-Romero et al. (2015) utilizan las cartas topográficas del INEGI y el software Idrisi Taiga® para realizar el análisis morfométrico de la cuenca del río Cuale, en Jalisco, como base para la planeación territorial. En definitiva, estos estudios muestran la relación del agua con el medio físico, siendo este aspecto clave para la toma de decisión en temas como el ordenamiento territorial, la planeación y la gestión de los recursos naturales, así como la mitigación y la adaptación ante fenómenos naturales, donde las cuencas representan el espacio de interrelación entre la dinámica natural y las actividades antrópicas.

El sureste de México es reconocido, entre otras cosas, por su alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos (Valdés-Manzanilla, 2016), donde históricamente territorios como Tabasco han estado expuestos a los efectos adversos de estos fenómenos (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora, Luna-Cruz, 2014). Tan solo entre 2007 y 2011 se han producido cinco inundaciones consecutivas, con pérdidas significativas en infraestructura en Tabasco y Chiapas. Un ejemplo de la magnitud de estas pérdidas se tiene en la inundación de 2007 en Tabasco, la cual causó pérdidas del orden de los 3,000 millones de dólares, al resultar afectada 80% del área estatal y alrededor de 1 millón de personas quedar sin hogar (Santos-Reyes, Alvarado-Corona, & Olmos-Peña, 2010; Valdés-Manzanilla, 2016). Consecuentemente, la abundancia y dinámica hídrica de esta región contribuye en parte a agravar los efectos adversos relacionados, pues dos de los ríos más caudalosos del país configuran los estados de Chiapas y Tabasco, como lo establece la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2010).

La cuenca Grijalva es la más poblada de la frontera sur, estimándose en 3,635,377 habitantes en la zona, la cual se concentra en 15,000 núcleos de población, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Asimismo, de acuerdo con García-García (2011) es la cuenca más intervenida por programas gubernamentales de la frontera sur de México y donde se produce cerca de 40% de la energía hidroeléctrica del país. Dentro de ella, en su parte baja, se encuentra ubicada la subcuenca río Mezcalapa, la cual posee un área de 1,281.8 km² y una longitud del curso principal de 168.2 km (figura 1).

Respecto a su morfología, el río Mezcalapa, aguas abajo de la Presa Ángel Albino Corzo (Peñitas), está configurado sobre la base de las crecientes que escurren en él, y sus condiciones hidrológicas y sedimentológicas se ajustan continuamente a las

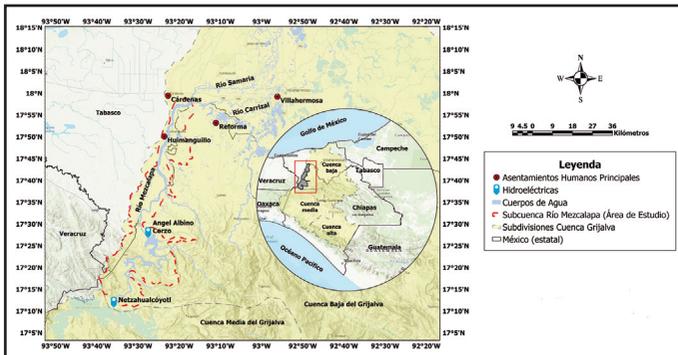


Figura 1. Ubicación de la subcuenca río Mezcalapa.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasys (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

crecientes y a la operación de esta presa. El sistema del río Mezcalapa ha tenido diversas modificaciones por causa de las bifurcaciones del cauce, las cuales producen nuevos conductos en épocas de grandes avenidas y fuerza erosiva. Tal es el caso de la bifurcación de Nueva Zelandia en 1675, la Pigua en 1904, el Samaria en 1932 y en Boca de Zavala en el río Samaria en 1955 (Tudela, 1989). Esta zona se encuentra afectada por un proceso acelerado de sedimentación y cambios morfológicos asociado a intervenciones antrópicas, como el sistema de presas del Grijalva y otras obras de control en la zona, siendo esto un aspecto clave en la dinámica morfológica del río Mezcalapa. Por tanto, se considera que el actual río Mezcalapa es el resultado de continuos aluviones que formaron la bifurcación Mezcalapa - Samaria - Carrizal (Mendoza, Soto-Cortés, Priego-Hernández, & Rivera-Trejo, 2019).

Desde esa perspectiva, el objetivo de esta investigación es caracterizar la geomorfología de la subcuenca río Mezcalapa a través de sus parámetros morfométricos con la finalidad de analizar y comprender el comportamiento morfodinámico e hidrológico de esta subcuenca. Dado el alto grado de exposición a eventos de inundación de la zona, las conclusiones de este estudio pueden favorecer la investigación y la toma de decisión en torno al ordenamiento territorial, inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas.

Área de estudio

La subcuenca del río Mezcalapa se localiza al sureste de México entre los estados de Tabasco y Chiapas,

y tiene una superficie de 1,281.8 km² (figura 1). Su principal afluente es el río Mezcalapa y aporta su caudal a las subcuencas El Carrizal y Samaria (figura 2a). Este río atraviesa el municipio de Huimanguillo, Tabasco, siguiendo su curso hasta la bifurcación en los ríos Samaria por su margen izquierda y el río Carrizal por su margen derecha. Según el INEGI, a 2010 la población de la subcuenca se estimó en 80,000 habitantes distribuidos en los municipios chiapanecos de Francisco León, Ostucacán, Tecpatán y Reforma, además del municipio de Huimanguillo, Tabasco (figura 2b).

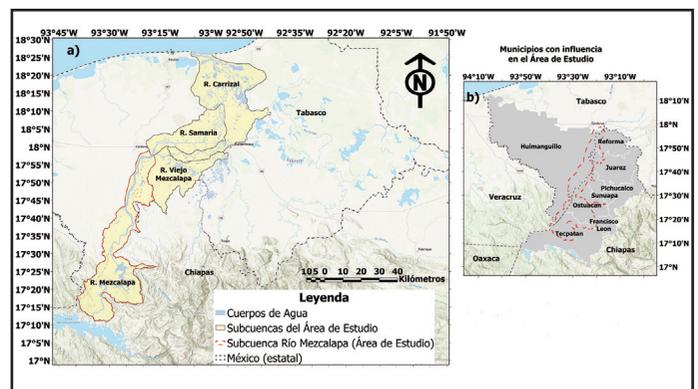


Figura 2. a) Área de estudio y subcuencas receptoras; b) municipios con influencia en el área de estudio.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasys (s. f.), Geoland (s. f.), GISUser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

La vegetación característica es tular-popal, propia de zonas de pantanos, además de vegetación de sabana, y en menor grado selva baja perennifolia (figura 3a). En cuanto a los suelos, se asocia principalmente a los gleysoles, vertisoles y fluvisoles, relativamente profundos (figura 3b). Asimismo, el área de estudio se caracteriza por valores de elevación de entre 13 y 1,028 m s. n. m., aunque gran parte de la zona puede considerarse de baja elevación (figura 3c).

Desde la perspectiva geológica y litológica (figura 4a y 4b, respectivamente) la subcuenca en la parte alta en territorio chiapaneco está constituida por rocas y sedimentos de origen Terciario y Cuaternario, predominando en superficie las lutitas y areniscas del Terciario. A su vez, la parte baja de la subcuenca en la planicie del estado de Tabasco está conformada por rocas sedimentarias como calizas, areniscas y depósitos evaporíticos, y aluviones.

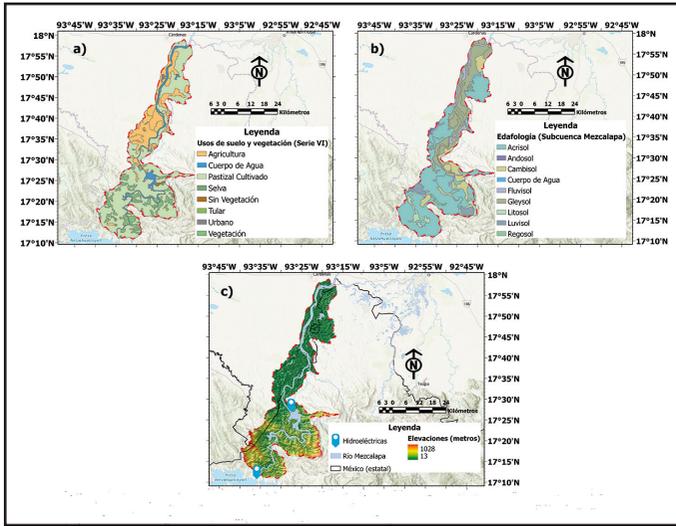


Figura 3. Características del área de estudio: a) Uso de suelo y vegetación; b) edafología; c) elevación.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), CONABIO (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasys (s. f.), Geoland (s. f.), GISuser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

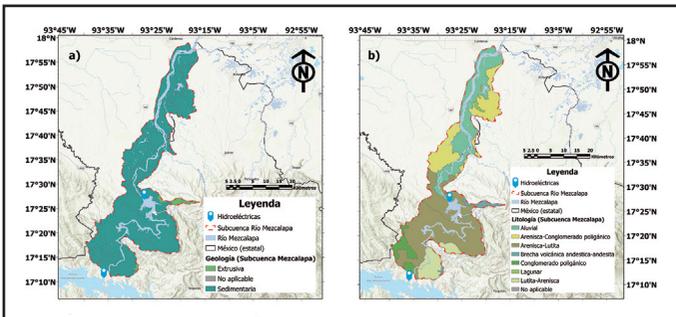


Figura 4. a) Características geológicas y b) litológicas del área de estudio.

Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasys (s. f.), Geoland (s. f.), GISuser Community (s. f.), Gobierno de México (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), INEGI (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

Barrios, & Trucios-Caciano, 2012, p. 23). En hidrología las características físicas son las concernientes a la cuenca, red de drenaje y cauce principal. El estudio se desarrolló con datos de la subcuenca río Mezcalapa. Se realizó el análisis de cada uno de los parámetros morfométricos con el fin de comprender las relaciones existentes entre ellos y su significado para posterior análisis.

La metodología de parametrización se derivó de modelos digitales de elevación a escala 1:50,000, igual que la capa vectorial del área de la subcuenca en estudio, obtenidos del portal del INEGI. De manera complementaria, algunos valores de parámetros morfométricos se determinaron mediante las expresiones matemáticas mostradas en la tabla 1.

En el caso de los parámetros de relieve, se calcularon la pendiente media del cauce principal y de la cuenca, y la altitud media de la cuenca. Para los de drenaje, se calcularon la densidad de drenaje, número de escurrimiento, frecuencia de ríos, extensión media del escurrimiento superficial y tiempo de concentración. En cuanto a la forma se calcularon el índice de compacidad, factor de forma, coeficiente de circularidad e índice de alargamiento de Horton.

RESULTADOS

Se ha realizado una caracterización geomorfológica de la subcuenca del río Mezcalapa mediante SIG junto a expresiones matemáticas para los parámetros morfométricos. Los resultados se presentan en la tabla 2 y abarcan los siguientes aspectos morfométricos: a) generales, b) forma del relieve, c) red de drenaje, d) forma de la cuenca.

En primer lugar, desde la perspectiva de los parámetros morfométricos generales, la subcuenca posee un área de 1,281.88 km², un perímetro de 352.88 km, una longitud del cauce principal es de 168.2 km, y un desnivel altitudinal de 1,000 m s. n. m. En segundo término, los resultados obtenidos para los parámetros asociados a la forma del relieve muestran que el valor obtenido de la pendiente media del cauce principal ha sido de 8.51% y de 6.4% para la pendiente media de la subcuenca río Mezcalapa.

Además, la subcuenca posee una altitud media entre baja a moderada (110 m s. n. m.), influenciada por la cota máxima de su cabecera en la presa de Malpaso (nombre oficial: presa Nezahualcōyotl). Adicionalmente, cerca de 50% de la altitud del cauce principal en su parte media-alta se encuentra entre 60 y 190 m (tramo A-B en la figura 5), en cam-

MATERIALES Y MÉTODOS

“Las características físicas en hidrología son las concernientes a la cuenca, red de drenaje y cauce principal” (Viera-Briones, López-Santos, González-

Tabla 1
Parámetros morfométricos

Parámetros de forma	
Índice de compacidad (Gravelius)	$Kc = \frac{(282)(Pc)}{\sqrt{A}}$
Factor de forma	$Ff = \frac{A}{L^2}$
Coefficiente de circularidad de Miller	$Cc = 4\pi \frac{A}{p^2}$
Índice de alargamiento (Horton)	$Ia = \frac{La}{a}$
Parámetros de relieve	
Pendiente media de la cuenca	$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A}$
Altitud media de la cuenca	$Hmed = \frac{(\sum hi \cdot Si)}{A}$
Pendiente media del cauce principal	$Sm = \frac{Hmáx - Hmín}{Lc}$
Parámetros relativos a la red drenaje	
Densidad de drenaje	$D = \frac{\sum L}{A}$
Frecuencia de ríos	$Fr = \frac{Nc}{A}$
Extensión media del Escurrimiento Superficial	$Es = \frac{A}{4Li}$
Tiempo de concentración	Kirpich: $Tc = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{s}\right)^{0.385}$
	California: $Tc = \left(\frac{0.87L^3}{H}\right)^{0.385}$
	Pizarro: $Tc = 13.548 \left(\frac{L^2}{H}\right)^{.77}$

Nota: Elaboración propia con datos de Córdova (30 de abril de 2006), IBAL (2009), INE (2004), Viramontes Olivas et al. (2015).

Tabla 2
Parámetros morfométricos de la subcuenca río Mezcalapa

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES			
Parámetro	Unidad	Símbolo	Valor
Perímetro	km	P	352.88
Área	km ²	A	1 281.88
Longitud cauce principal	km	LCP	168.2
Desnivel altitudinal	m s. n. m.	DA	1 000
ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE			
Cota máxima	m s. n. m.	Cmax	1 020
Cota mínima	m s. n. m.	Cmin	20
Altitud media de la cuenca	m s. n. m.	Am	110
Pendiente promedio de la cuenca	%	Smed	6.4
Altitud máxima del cauce	m s. n. m.	Amaxc	185
Altitud mínima del cauce	m s. n. m.	Aminc	24
Altitud media del cauce	m s. n. m.	Amedc	104.7
Pendiente promedio del cauce	%	Sc	8.51
ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJES			
Densidad de drenaje		D _d	1.8
Frecuencia de ríos		Fr	0.027
Número de escurrimientos		N _e	139
Extensión media del Escurrimiento Superficial		Es	0.530
	Horas		1.67 (Kirpich)
Tiempo de concentración	Horas	T _c	24.951 (California)
	Minutos		177.35 (Pizarro)
ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA			
Longitud de la cuenca	km	D	92.5
Coefficiente y/o Factor de forma	m/m	K _f	0.15--> Alargada
Coefficiente de compacidad	m/m	K _c	2.78--> De oval redonda a rectangular oblonga
Coefficiente de circularidad (redondez)	m/m	CC	0.13--> Escasa circularidad
Índice de alargamiento (Horton)	km/km	Li	6.3 Muy alargada

Nota: Elaboración propia.

bio en la parte baja los valores se mantienen por debajo de 60 m (tramo B-C en la figura 5), propios de la cuenca baja del Grijalva y la planicie del estado de Tabasco.

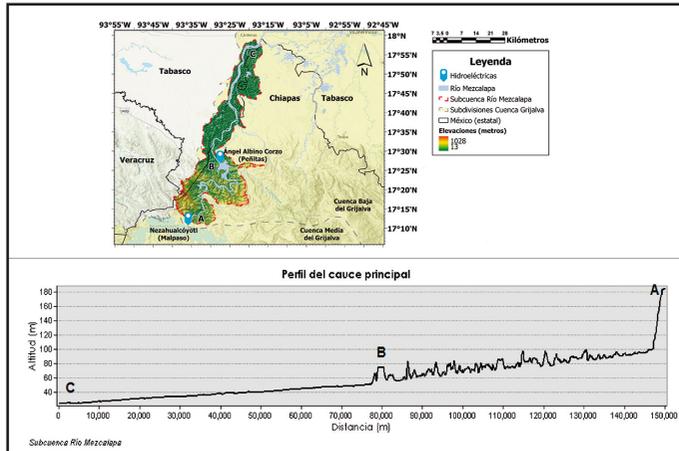


Figura 5. Espacialidad y perfil longitudinal del cauce principal. Elaboración propia con información espacial de Airbus DS (s. f.), CGIAR (s. f.), Esri (s. f.), FAO (s. f.), FEMA (s. f.), Garmin (s. f.), Geodatasysreisen (s. f.), Geoland (s. f.), GISuser Community (s. f.), GSA (s. f.), HERE (s. f.), Intermap (s. f.), NASA (s. f.), NCEAS (s. f.), NGA (s. f.), NLS (s. f.), NMA (s. f.), NOAA (s. f.), N Robinson (s. f.), Open StreetMap Contributors (s. f.), OS Geo (s. f.), Rijkswaterstaat (s. f.), USGS (s. f.).

En tercer lugar, de los resultados obtenidos para los parámetros asociados a la red de drenaje destaca el valor obtenido para la densidad de drenaje en la subcuenca es de 1.8, se puede clasificar como moderado a bajo, siendo un valor característico de áreas de drenaje bajo. En cuanto al número de escurrimientos, el valor obtenido para la subcuenca ha sido de 139. Con respecto al tiempo de concentración, el valor determinado ha sido de aproximadamente 177 minutos (Pizarro), el cual ha sido calculado mediante tres fórmulas empíricas (Kirpich, California y Pizarro), pero para fines de análisis se ha decidido usar el resultado obtenido por la expresión de Pizarro, al ser considerada más eficiente y práctica, como lo indica el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004).

Respecto a los parámetros asociados a la forma de la cuenca los valores obtenidos para el factor de forma (0.15) y el índice de alargamiento de Horton (6.3) indican una morfología alargada de la subcuenca; mientras que el coeficiente de circularidad de 0.13 indica un nivel escaso de la misma. Respecto al coeficiente de compacidad de 2.78, señala una tendencia menor a concentrar volúmenes de agua de escurrimientos.

En relación con la curva hipsométrica, los resultados se muestran en la figura 6, y para el caso del orden de las corrientes de la subcuenca se obtuvo un valor de 4 con clasificación media (INE, 2004) (figura 7).

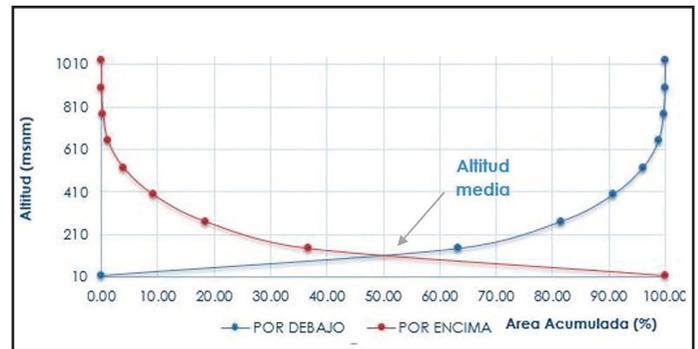


Figura 6. Curva hipsométrica de la subcuenca río Mezcalapa. Elaboración propia.

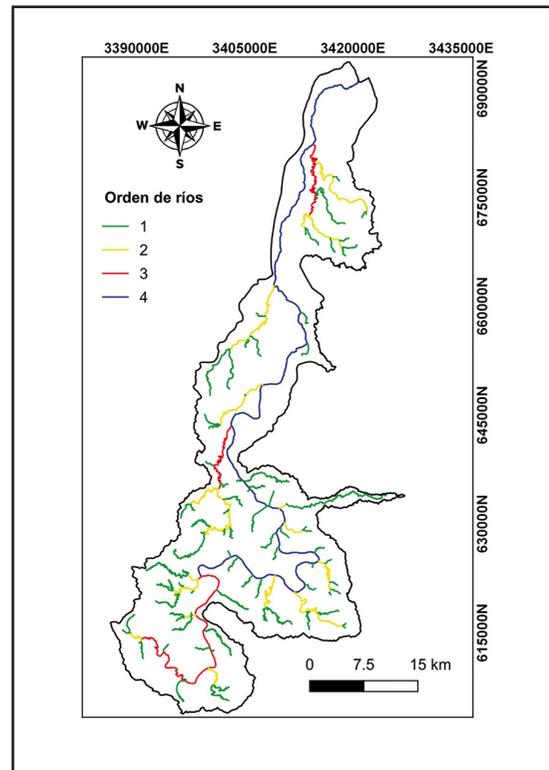


Figura 7. Orden de las corrientes de la subcuenca río Mezcalapa usando el método de Strahler. Elaboración propia.

Como resumen, en la tabla 3 se muestra la clasificación de las características geomorfológicas relevantes de la subcuenca en estudio.

Tabla 3

Resumen de la clasificación de las características morfométricas principales de la subcuenca río Mezcalapa

Morfometría	Subcuenca Mezcalapa	Clasificación
Perímetro (km):	352.88	-
Longitud cauce principal (km):	168.2	Largo
Ancho cuenca (km):	14.3	-
Elevación media (m s. n. m.):	170.9	Baja
Área (km ²):	1 281.88	Intermedia-Grande
Cota mínima (m s. n. m.):	20	-
Cota máxima (m s. n. m.):	1 020	-
Desnivel altitudinal (m s. n. m.):	1 000	Bajo
Kf ¹ :	0.15	Muy poco achatada
Kc ² :	2.78	De oval redonda a rectangular oblonga
Li ³ :	6.2	Muy alargada
Orden	4	Medio
Densidad de drenaje (km/km ²):	1.8	Baja
Número de escurrimientos:	139	Bajo
Pendiente del cauce principal (%):	8.51	Moderada
Tc (min) ⁴ :	177.35 (Pizarro)	Lento

Nota: ¹Coefficiente de forma; ²coeficiente de compacidad; ³índice de alargamiento; ⁴tiempo de concentración (Pizarro).

DISCUSIÓN

El uso, procesamiento y obtención de información mediante SIG a partir de un modelo digital de elevación es cada vez más relevante para el estudio, el cálculo de parámetros morfométricos y el análisis de ambientes geomorfológicos, son clave para evaluar de manera sistematizada el funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca (Cruz-Romero et al., 2015).

De los resultados obtenidos en los parámetros generales y de formas del relieve, si se considera la clasificación de Campos Aranda (1992), se muestra que la subcuenca es de tamaño intermedia-grande. Respecto a la longitud del cauce obtenida (168.2 km), de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004) esta tiene influencia en la mayoría de los parámetros y se considera que una mayor longitud del cauce se puede traducir en un mayor tiempo de concentración de las crecidas en una cuenca particular. Factores como la pendiente son condicionantes claves en el tiempo de desplazamiento de las crecidas en una cuenca determinada. En este sentido, el valor obtenido de la pendiente media del cauce principal, interpretado por la Empresa Iba-

guereña de Acueducto y Alcantarillado (IBAL, 2009) en otros estudios, refleja un valor moderado clasificado como pendiente suave que no afecta al flujo de sedimentos, mientras que la pendiente media de la subcuenca Mezcalapa corresponde a un relieve accidentado medio donde la escorrentía puede pasar de moderada a rápida dependiendo de la magnitud de las precipitaciones.

Respecto a los parámetros asociados a la red de drenaje de la subcuenca se tienen dos aspectos claves: a) la densidad de drenaje, y, b) el tiempo de concentración. Por un lado, la subcuenca Mezcalapa posee una densidad de drenaje considerada dentro de un rango moderado-bajo, el cual puede indicar una moderada-baja capacidad de drenaje y una lenta respuesta hidrológica (INE, 2004). Adicionalmente, Cruz-Romero et al. (2015) consideran que los valores bajos de la densidad de drenaje pueden estar asociados a bajos volúmenes de escurrimiento y bajas velocidades de desplazamiento del agua, pudiendo generar moderados ascensos en las corrientes. Sin embargo, al tenerse una pendiente media del cauce principal moderada con valor de 8.51%, los efectos de la densidad de drenaje en la subcuenca del río Mezcalapa pueden verse condicionados por la pendiente media del cauce.

De acuerdo con Gil, Gentili y Ocampo (2009) la densidad de drenaje es un factor controlado por la litología, donde los valores bajos de este factor se asocian a zonas de gran masividad litológica, de materiales muy permeables y con alta infiltración, características que se encuentran presentes en la subcuenca del río Mezcalapa. En particular, respecto a la litología previamente descrita para la subcuenca predominan la arenisca-lutita en la parte alta de la zona chiapaneca y una llanura de materiales aluviales en la parte baja de la planicie tabasqueña correspondiente al área estudiada. Por tanto, la subcuenca del río Mezcalapa presenta materiales considerados muy permeables y con alta infiltración.

En cuanto al número de escurrimiento obtenido de 139, puede ser un indicador de energía de la subcuenca, de la capacidad y magnitud de la captación de agua y de la red fluvial, según reporta el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004). El tiempo de concentración de la subcuenca fue de 177 min, considerado lento (INE, 2004). De acuerdo con los datos de IBAL (2009) un distintivo en las cuencas alargadas es que para cada punto este parámetro es distinto. Sin embargo, cabe mencionar que al tratarse la subcuenca río Mezcalapa de una cuenca alargada y que los valores obtenidos han sido mediante fórmulas empíricas (Kirpich, California y Pizarro), estos muestran variaciones significativas entre uno y otro valor obtenido. Asimismo, Sánchez-San Román (2017) señala que la variabilidad en torno al tiempo de concentración se debe a que las expresiones matemáticas fueron obtenidas para describir cuencas específicas, por lo que estos valores deben manejarse con precaución.

En la práctica existe una confusión evidente ante las múltiples definiciones y métodos de estimación del tiempo de concentración reportados en la literatura (Beven, 2020). En particular, este parámetro representa un indicador clave para la comprensión del comportamiento y la respuesta hidrológica de una cuenca a la precipitación, pues implica cuán rápida o lenta es su respuesta a un evento de precipitación en términos del tiempo necesario para que el agua fluya desde el punto hidrológico más distante hasta el punto de salida (Amiri, Gao, Fohrer, & Adamowski, 2019). En igual sentido, Salimi, Nohegar, Malekian, Hoseini y Holisaz (2017) consideran este parámetro clave para predecir la respuesta de una cuenca hidrográfica a un evento de lluvia específico, jugando un papel fundamental en la simulación lluvia-escurrimiento. Por tanto, un mayor conocimiento del comportamiento de este parámetro es fundamental para la planificación territorial en zonas con

alta exposición a las inundaciones mediante modelos de respuesta hidrológica.

En cuanto a los métodos de cálculo del tiempo de concentración se tienen el hidrograma o hietograma para la toma de datos de lluvias y caudales; si se toma en cuenta que el tiempo de concentración se puede expresar en función del tiempo de rezago (Vélez-Upegui & Botero-Gutiérrez, 2011), y los llamados métodos empíricos compuestos por un sinnúmero de fórmulas matemáticas, que se han usado como estimación en el presente estudio. No obstante, se reitera la variabilidad existente entre los resultados obtenidos mediante las diferentes expresiones matemáticas del método empírico, manifestada en la literatura (Sánchez-San Román, 2017). En particular, se recomienda profundizar en el análisis y las estimaciones en este sentido.

En lo que concierne a la forma de la cuenca, de acuerdo con Mariscal-Romero et al. (2019), factores como relieve, forma y pendiente, entre otros, influyen en el comportamiento del caudal punta y la intensidad de las crecidas en intersecciones de descargas, lagunas y desembocaduras. En particular, los valores obtenidos para el factor de forma y el índice de alargamiento (Horton) de la subcuenca del río Mezcalapa indican una morfología alargada de la subcuenca, lo que corresponde con tiempos de viaje más largos, como lo estableció el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004); mientras que el coeficiente de circularidad obtenido de 0.13 corresponde a una subcuenca de escasa circularidad, lo cual de acuerdo con González De Matauco (2004) no intensifica las crecidas del río y una mayor vigorosidad de los afluentes del cauce principal en su punto de confluencia. Respecto al coeficiente de compacidad, el valor obtenido de 2.78 para la subcuenca indica una tendencia menor a concentrar volúmenes de agua de escurrimientos (INE, 2004).

En relación con la curva hipsométrica, los resultados mostrados indican un grado importante de desarrollo de esta subcuenca, que reflejan una cuenca madura, estando asociada la forma de la curva a ríos viejos que en su mayoría corresponden a un tipo sedimentario de baja erosionabilidad (Gaspari et al., 2012). En referencia al orden de las corrientes, calculado por el método de Strahler, se obtuvo un valor de 4, lo que indica que esta subcuenca tiene capacidad media de drenaje o respuesta a una tormenta y puede desalojar con cierta rapidez el agua, también refleja el grado de erosión y antigüedad de la subcuenca del río Mezcalapa (Aparicio Mijares, 2016; INE, 2004).

Desde una perspectiva geológica, de acuerdo con Mendoza et al. (2019), la subcuenca del río Mezcalapa se caracteriza por ser una cuenca en formación, donde la dinámica morfológica está condicionada por procesos acelerados de sedimentación y cambios morfológicos influenciados por intervenciones antrópicas, como presas y otras obras de control. En adición a ello, el río Mezcalapa recibe las descargas de la cuenca alta del río Grijalva (figura 8), la zona se afectó por la problemática de las inundaciones recurrentes que históricamente han impactado al sureste de México (Arreguín-Cortés et al., 2014). Cabe enfatizar que en la parte alta de la subcuenca estudiada se tiene la presa Malpaso (Nezahualcóyotl) y a continuación del cauce la presa Peñitas (Ángel Albino Corzo) para generación de electricidad y control de inundaciones.



Figura 8. Panorámica del río Mezcalapa a su paso por el municipio de Huimanguillo, Tabasco (puente Solidaridad). Fotografía proporcionada por Abner Álvarez-Soberano.

En este sentido, la morfología del río en estudio se ha ido definiendo por las crecientes que ocurren en él desde la cuenca alta del Grijalva. A su vez, el cauce ha tenido que ajustar de manera continua sus características hidrológicas y sedimentológicas a la política de operación de la presa Peñitas (CEPAL, 2008). En particular, la publicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional, el Colegio de Posgraduados de Chapingo y el Instituto Mexicano del Petróleo (2008), la de Mendoza et al. (2019) y la de Tudela (1989) han reportado las modificaciones en la morfometría del cauce como consecuencia de avenidas y las intervenciones antrópicas en la cuenca del río Mezcala-

pa. Asimismo, estimaciones recientes sobre sedimentos en el sistema de ríos Mezcalapa-Samaria-Carrizal muestran no solo que el sistema aún no llega a su equilibrio en cuanto a la dinámica de los sedimentos (CEPAL, 2008), sino también que el incremento de la sedimentación ha disminuido la capacidad hidráulica de los cauces (Rubio & Triana, 2006). Consecuentemente, esta disminución de la capacidad hidráulica puede representar un mayor impacto de los efectos adversos de las inundaciones en la dinámica socioeconómica, más aun, frente al alto grado de exposición ante eventos hidrometeorológicos extremos que caracterizan la región sureste de México (Valdés-Manzanilla, 2016).

CONCLUSIONES

La subcuenca del río Mezcalapa presenta un desnivel altitudinal alto, lo que facilita la presencia de crecidas en temporada de lluvias, sobre todo, hacia las zonas bajas. El sistema de presas en la zona alta y media Malpaso-Peñitas condicionan la dinámica hidromorfológica en esta subcuenca. Además, es una subcuenca con forma alargada y angosta, sus parámetros morfométricos indican baja tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento. Así, derivado de los resultados obtenidos, el comportamiento morfodinámico e hidrológico de la subcuenca río Mezcalapa se refleja en los siguientes parámetros geomorfológicos relevantes mostrados a continuación:

- a. El cauce principal presenta un rango altitudinal de entre 60 y 190 metros en la zona media alta de la subcuenca.
- b. El desnivel altitudinal de 1,000 m entre la cabecera y la salida de la subcuenca.
- c. El orden 4 de las corrientes sitúa a esta subcuenca en una clasificación media, por tanto, posee capacidad de respuesta a una tormenta y de erosión de categoría media.
- d. La morfología alargada indica tiempos de recorridos más largos y los picos de crecidas menos severos y violentos en esta subcuenca.
- e. El número de escurrimientos de 139 se clasifica como bajo.
- f. La densidad de drenaje es de clasificación baja, lo que es congruente con el número de escurrimientos que se tienen y las características litológicas de los materiales de la subcuenca (muy permeables y de alta infiltración).
- g. El tiempo de concentración obtenido a partir de la expresión de Pizarro es de 177 min,

considerado dentro de un rango lento. Al tratarse de una cuenca alargada y el sinnúmero de expresiones para determinar este parámetro, se recomienda un estudio específico con mayor detalle.

Se sugiere impulsar la investigación sobre la dinámica hidrológica y geomorfológica, así como sobre la gestión y operación de las presas en esta región. Además, dados los altos registros pluviométricos, se presenta como impostergable disponer de red de monitoreo hidrométrica e hidrometeorológica operativa en tiempo y espacio que permita generar datos en tiempo real en zonas estratégicas en esta región. La presente investigación se enmarca como una contribución al conocimiento local para que tomadores de decisión en los temas de ordenamiento territorial,

inundaciones, protección civil, infraestructura y políticas públicas incorporen a sus agendas los temas y preocupaciones político-institucionales y sociales, con el fin de trabajar conjuntamente en el fortalecimiento de las capacidades locales e institucionales.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. (CCGS) por las facilidades durante la realización de esta investigación, además de expresar su agradecimiento a los revisores anónimos por sus comentarios y recomendaciones en la mejora de esta investigación. ORMP también desea agradecer al programa Cátedra-CONACYT y al proyecto Cátedras-CCGS no. 963 titulado "Hacia un manejo sustentable del agua en el sureste de México y áreas adyacentes de Centroamérica".

REFERENCIAS

- Airbus DS. (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.airbus.com/space.html>
- Amiri, B. J., Gao, J., Fohrer, N., & Adamowski, J. (2019). Regionalizing time of concentration using landscape structural patterns of catchments. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(2), 135-142. doi: 10.2478/johh-2018-0041
- Aparicio Mijares, F. J. (2016). *Fundamentos de hidrología de superficie* (304 pp.). México: Limusa.
- Arreguín-Cortés, F., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R., & de Luna-Cruz, F. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 5-32.
- Beven, K. J. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences (Discussions)*, in review. doi: 10.5194/hess-2019-588
- Campos Aranda, D. F. (1992). *Proceso del ciclo hidrológico* (2ª. ed.). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. .
- CGIAR (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.cgiar.org/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2008). *Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4*. México, D. F.: Autor. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25881>
- Comisión Nacional del Agua. (2010). *Estadísticas del agua en México, edición 2010*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s. f.). Portal de Geoinformación 2020. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [Base de datos]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Córdova, M. (30 de abril de 2006). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas [Artículo en página web]. Recuperado de http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Cotler, H., & Care, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México* (pp. 15-16). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Cruz-Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 26-34.
- Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado [IBAL]. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas Las Panelas y La Balsa [Documento en pdf]. Recuperado de http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf

- Esri (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.esri.com/es-es/home>
- FAO (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <http://www.fao.org/home/en/>
- FEMA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.fema.gov/es>
- García-García, A. (2011). La cuenca hidrográfica transfronteriza Grijalva: La danza de politics-policy y el mapeo institucional en México y Guatemala. *Aqua-Lac: Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe*, 3(2), 127-140.
- Garmin (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.garmin.com/en-US/>
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Besteiro, S. I., & Delgado, M. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.
- Geodatasys (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://gst.dk/>
- Geoland (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.geoland.es/presentaci%C3%B3n.html>
- Gil, V., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2009). Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía*, 49-50, 55-68.
- GISuser Community (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://gisuser.com/>
- Gobierno de México. (s. f.). Descubre Datos Abiertos de tu gobierno [Portal de búsqueda de datos]. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/cartografia-geologica-de-la-republica-mexicana-escala-1-250000>
- González De Matauco, A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 38, 311-330.
- GSA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.gsa.gov/>
- Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 88-108.
- HERE (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.here.com/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto Politécnico Nacional, Colegio de Posgraduados de Chapingo, & Instituto Mexicano del Petróleo. (2008). Informe de las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Diagnostico preliminar [Informe en pdf]. Recuperado de <https://www.imta.gob.mx/gaceta/antecedentes/g12-04-2008/informe-tabasco.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro* (Estudio contratado a: José De Jesús Alfonso Fuentes Junco). México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.). Biblioteca digital de mapas [Repositorio digital de mapas]. Recuperada de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html>
- Intermap (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.intermap.com/>
- Mariscal-Romero, J., Chávez-González, T. R., & Arciniega-Flores, J. (2019). Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 38-46. Recuperado de <https://revistas.uaa.mx/index.php/investigacion/article/view/2120>
- Menchaca-Dávila, M. S., & Alvarado-Michi, E. L. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del Río Pixquiác. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(Esp. 1), 85-96. Recuperado el 18 de junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700007&lng=es&tlng=es.
- Méndez, W., & Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1), 29-55.
- Mendoza, A., Soto-Cortés, G., Priego-Hernández, G., & Rivera-Trejo, F. (2019). Historical description of the morphology and hydraulic behavior of a bifurcation in the lowlands of the Grijalva River Basin, Mexico. *Catena*, 176, 343-351. doi: 10.1016/j.catena.2019.01.033
- NASA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nasa.gov/>
- NCEAS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nceas.ucsb.edu/>
- NGA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.nga.mil/Pages/Default.aspx>
- NLS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.oracle.com/index.html>
- NMA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://geohive.ie/nma.html>

- NOAA (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.noaa.gov/>
- N Robinson (s. f.). [Dato colocado por el programa computacional ArcGis como colaborador en la elaboración del mapa base].
- Open StreetMap Contributors (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.openstreetmap.org/>
- OS Geo (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.osgeo.org/>
- Ramírez-García, A. G., Cruz-León, A., Sánchez-García, P., & Monterroso-Rivas, A. I. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: Ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Agrícola*, 27-43.
- Rijkswaterstaat (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.rijkswaterstaat.nl/>
- Rubio, H., & Triana, C. (2006). Gestión integrada de crecientes, estudio del caso Grijalva [Documento en pdf]. Recuperado de https://www.floodmanagement.info/publications/casestudies/cs_mexico_full.pdf
- Salas-Aguilar, V. M., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O. A., Báez-González, A. D., & Quintana-Martínez, R. M. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rofeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(1), 34-42.
- Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., & Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*, 15, 123-132. doi: 10.1007/s10333-016-0534-2
- Sánchez-San Román, J. (2017). Relación precipitación-escorrentía. En *Hidrología superficial y subterránea* (Capítulo 7). Salamanca, España: Createspace Independent Publishing Platform.
- Santos-Reyes, J., Alvarado-Corona, R., & Olmos-Peña, S. (2010). Learning from Tabasco's floods by applying MORT. *Safety Science*, 48(10), 1351-1360. doi: 10.1016/j.ssci.2010.05.008
- Tudela, F. (Coord.). (1989). La modernización forzada del trópico: *El caso de Tabasco, proyecto integrado del Golfo*. México: El Colegio de México.
- USGS (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.usgs.gov/>
- Valdés-Manzanilla, A. (2016). Historical floods in Tabasco and Chiapas during sixteenth–twentieth centuries. *Natural Hazards*, 80, 1563-1577. doi: 10.1007/s11069-015-2039-5
- Vélez-Upegui, J. J., & Botero-Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de La Quebrada San Luis, Manizales. *DYNA*, 78(165), 58-71. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/39138>
- Viera-Briones, A., López-Santos, A., González-Barrios, J. L., & Trucios-Caciano, R. (2012). Caracterización de la cuenca ALIP con la ayuda de un sistema de información geográfica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(1), 23-34
- Viramontes Olivas, O. A., Pinedo Álvarez, C., Reyes Gómez, V. M., Muñoz Robles, C. A., & Núñez López, D. (2015). *Caracterización geomorfológica e hidrodinámica de la subcuenca San Pedro dentro del complejo hidrológico del río Conchos* [Documento en pdf]. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Nunez6/publication/266297853

Asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2

Association between resilience and fasting blood glucose in adults with type 2 diabetes

Patricia Eneida Miranda-Félix *, Félix Gerardo Buichia-Sombra *,
Jorge Luis García-Sarmiento*, Guadalupe Adriana Miranda-Cota*,
Rosario Edith Ortiz-Félix*✉

Miranda-Félix, P. E., Buichia-Sombra, F. G., García-Sarmiento, J. L., Miranda-Cota, G. A., & Ortiz-Félix, R. E. (2020). Asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 45-53.

RESUMEN

La diabetes tipo 2 es un grave problema de salud pública por su prevalencia creciente y alta mortalidad, se requiere explorar factores psicológicos que podrían influir en el control de la enfermedad. El objetivo fue determinar la asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2. Estudio correlacional, muestreo aleatorio simple en 146 adultos que asistían a control de diabetes tipo 2 a una unidad de primer nivel de atención. La media de edad de los participantes fue de 41.7 ($DE= 10.5$) años, 54.8% fueron mujeres. El modelo de regresión lineal múltiple explicó el 53% de la varianza ($F_{[178667.3]} = 24.62$, $gl= 6$, $p < 0.001$), la resiliencia se asoció con las cifras de glucemia en ayuno ($\beta= -0.67$, $t= 10.932$, $p= 0.001$). Se concluye que los pacientes con diabetes tipo 2 más resilientes presentaron cifras de glucosa menores, indicando mayor control glucémico.

Palabras clave: resiliencia psicológica; diabetes mellitus tipo 2; glucemia; adulto; control glucémico.

Keywords: psychological resilience; diabetes mellitus; type 2; blood glucose; adult; glycemic control.

Recibido: 30 de septiembre de 2019, aceptado: 9 de junio de 2020

* Facultad de Enfermería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. Fuente Poseidón y Ángel Flores S/N, Colonia Jiquilpan. Los Mochis, Sinaloa, México. Correo electrónico: mirandapaenmife@gmail.com; buichiasombrat@uas.edu.mx; Jorge_luissarmiento@hotmail.com; mlupita09@gmail.com; rosarioortiz@uas.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7076-0991>; <http://orcid.org/0000-0003-1256-1828>; <http://orcid.org/0000-0001-6650-1762>; <http://orcid.org/0000-0002-4322-2215>; <http://orcid.org/0000-0002-5827-3218>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Type 2 diabetes is a serious public health problem due to its increasing prevalence and high mortality. It is necessary to explore psychological factors that could influence the control of the disease. The objective of determining the association between resilience and fasting blood glucose in adults with type 2 diabetes. Correlational study, simple random sampling in 146 adults who attended type 2 diabetes control at a first-level care unit. The mean age of the participants was 41.7 ($SD= 10.5$) years, 54.8% were women. The multiple linear regression model explained 53% of the variance ($F_{[178667.3]} = 24.62$, $gl= 6$, $p < 0.001$), resilience is associate fasting blood glucose figures ($\beta= -0.67$, $t= 10.932$, $p= 0.001$). It is concluded that the patients with more resilient type 2 diabetes presented lower glucose levels, indicating greater glycemic control.

INTRODUCCIÓN

La diabetes es un grave problema de salud pública global debido a su alta prevalencia, complicaciones y creciente mortalidad, lo que implica un gran desafío para los sistemas de salud y la sociedad por los altos costos financieros y sociales que se destinan para su control y tratamiento (OMS, 2016; 8 de junio de 2020). La Federación Internacional de la Diabetes (por sus siglas en inglés IDF, 2017) estimó que en el mundo existían 425 millones de personas de 20 a 79 años con diabetes y proyectó que durante los próximos 30 años esta cifra aumentará a 625 millones. Reportes de la OMS indican que en 2015 la diabetes fue causa directa de 1.6 millones de muertes a nivel mundial, además otros 2.2 millones de muertes fueron atribuidas a un

nivel de glucosa superior al deseable. Cabe resaltar que 43% de las muertes provocadas por diabetes se reportaron en pacientes menores de 70 años y 80% se registraron en países de ingresos medios y bajos, entre ellos México (OMS, 2016).

Es una enfermedad crónica no transmisible que se caracteriza por la disminución en la secreción, resistencia a la insulina o ambas. La Asociación Americana de Diabetes (por sus siglas en inglés ADA, 2019) clasifica a esta enfermedad en cuatro tipos: tipo 1, tipo 2 (DT2), gestacional y tipos específicos debidos a otras causas, con la DT2 como la de mayor prevalencia global al ocupar de 90 a 95% de los casos (OMS, 2016). A pesar de que los organismos sanitarios de salud han aumentado esfuerzos para revertir y contener las estadísticas a través de programas encaminados a la prevención, tamizaje y control de la DT2, este padecimiento sigue representando un grave problema de salud pública, manteniéndose al alza y con proyecciones poco alentadoras (ADA, 2019; IDF, 2017; OMS, 2016; Secretaría de Salud, 23 de noviembre de 2010).

En México, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2016 (Instituto Nacional de Salud Pública, 2016) reportó que 9.4% de la población adulta informó tener diagnóstico de DT2, esta cifra aumentó 1.8% de acuerdo con lo reportado por la misma encuesta ENSANUT en 2006. Este panorama se complica debido a que en 2012 se reportó que solo 85.5% de los pacientes con DT2 recibían tratamiento, 32.3% tenían glucosa plasmática en ayuno (GPA) y 25.3% cifras de hemoglobina glucosilada (HbA1c) por debajo de los puntos de corte señalados por la OMS e IDF (GPA < 100mg/dl, HbA1c < 7%) para control glucémico (CG).

Se ha evidenciado que cuando el paciente con DT2 se expone a niveles elevados de glucosa en sangre aumenta el riesgo para desarrollar complicaciones (ADA, 2019). En este sentido, ENSANUT 2016 reportó que la población mexicana con DT2 las ha sufrido, entre las mismas destacan visión disminuida (54.5 %), pérdida de la vista (10%), daño en la retina (11.2%), úlceras (9.1%) y amputaciones (5.5%). Estas condiciones aumentan la probabilidad de vivir con discapacidad y muerte prematura, afectando la calidad de vida del paciente y la familia.

Actualmente la DT2 representa un desafío para el paciente, familia y profesionales de la salud, debido a que requiere de un proceso de adaptación al tratamiento, el cual incluye cumplir con una alimentación saludable, actividad física suficiente, apego al tratamiento farmacológico y monitoreo

de glucosa; actividades que deben realizar por el resto de sus vidas para mantener cifras de glucosa óptimas (ADA, 2019). Cabe destacar que en el proceso de adaptación al tratamiento de DT2 existen factores estresantes, entre ellos metas de cifras adecuadas de glucosa en sangre, recursos para adquirir medicamentos, trastornos del sueño, entre otros (Rodríguez-Campuzano & Rentería-Rodríguez, 2016), los cuales podrían influir en la capacidad del individuo para llevar el control de la enfermedad.

Cuando el paciente se adapta a factores estresantes se refleja en la adherencia al tratamiento y consecuentemente en cifras adecuadas de glucosa en ayuno, este proceso se origina a partir de que la persona es diagnosticada con la enfermedad, así como en alteraciones biológicas, psicológicas y sociales que surgen del curso de la misma (Benítez-Agudelo, Barceló-Martínez, & Gelves-Ospina, 2017; Castro-Espinoza, Gallegos-Cabrales, & Frederickson, 2015).

El control de la DT2 supone ser efectivo en personas con capacidad de alcanzar, retener o recuperar un nivel físico o emocional después de un evento estresante; a esta capacidad se le denomina resiliencia, concepto tomado de la física y acuñado por Rutter (1985) el cual denota la capacidad de un cuerpo de resistir, ser fuerte y no deformarse; en el ser humano, resiliencia es la capacidad de prevalecer, crecer, ser fuerte y hasta triunfar a pesar de las adversidades (Quiceno & Vinaccia, 2011). En diabetes la resiliencia se ha definido como un conjunto específico de actitudes hacia los desafíos y el control de las respuestas mediadoras del estrés a la enfermedad (Yi, Vitaliano, Smith, Yi, & Weinger, 2008).

La evidencia científica sugiere que la resiliencia puede tener una influencia positiva en el autocontrol de la diabetes (DeNisco, 2011; Steinhart et al., 2015). Diversos estudios han evidenciado que los pacientes con DT1 más resilientes son más propensos a percibir cambios y adaptarse a situaciones estresantes, así como una oportunidad para el crecimiento personal en el comportamiento hacia el control de la diabetes (Figuroa & Gamarra, 2013; Figuroa-Suárez et al., 2014; Santos, Bernardo, Gabbay, Dib, & Sigulem, 2013; Yi-Frazier et al., 2015). Sin embargo, se encontró un número limitado de estudios sobre resiliencia y cifras de glucosa en ayuno en adultos con DT2, los datos disponibles han evidenciado que los pacientes más resilientes podrían adoptar conductas protectoras frente a factores estresantes que se presentan en el curso de la DT2 (DeNisco, 2011; Pérez, Mediavilla, Miñambres, & González-Segura, 2014).

Cabe resaltar que el estudio sobre el control de la DT2 se ha centrado en el modelo biomédico y poco se ha estudiado sobre factores psicológicos como la resiliencia. A pesar de la existencia de modelos de resiliencia se identifica un vacío en la investigación centrada en comprender y explicar la posible asociación entre los factores de resiliencia individuales y las prácticas de automanejo en las personas que viven con enfermedades crónicas (Ryan, 2014).

Estudiar esta variable en pacientes con DT2 podrían aportar conocimiento sobre la capacidad de los pacientes para afrontar las situaciones estresantes que se viven en el curso de la enfermedad y proponer estrategias que integren la resiliencia en la educación en DT2 en las áreas de primer nivel de atención que ayuden a que el paciente adquiera la capacidad para hacer frente a la enfermedad con éxito (Figueroa & Gamarra, 2013). Se planteó realizar un estudio con el propósito de determinar la asociación entre resiliencia y glucemia en ayuno en adultos con diabetes tipo 2 que asisten a consulta externa a una institución pública de primer nivel de atención a la salud de la ciudad de Guasave, Sinaloa, México. Basado en lo anterior se plantea la hipótesis a evaluar:

H1: A mayor puntaje de resiliencia menores cifras de glucemia en ayuno en adultos con DT2 que asisten a control de su enfermedad a una clínica de primer nivel de atención del norte de Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se utilizó un diseño descriptivo correlacional de tipo transversal (Grove, Gray, & Burns, 2014). La población estuvo conformada por pacientes de ambos sexos con DT2 de 18 a 65 años que acudían en el turno matutino a consulta médica para su control de diabetes a una clínica de salud de la ciudad de Guasave, México. La selección de los participantes fue a través de muestreo aleatorio simple a partir del registro de pacientes con DT2 que asistían a la unidad de salud. El tamaño de la muestra se calculó a través del paquete estadístico nQuery Advisor para un nivel de significancia de 0.05, una potencia de prueba de 90% y tamaño de efecto de 0.07 (R²), resultando 146 pacientes. Se excluyeron adultos con discapacidad física evidente a la observación por considerar que podría interferir en el cumplimiento de las actividades de autocuidado.

El estudio fue aceptado por la comisión de investigación y ética de la Facultad de Enfermería Mochis de la Universidad Autónoma de Sinaloa, el

cual obtuvo el registro CEI-000-04. Este cumplió con lo estipulado por la Ley General de Salud en materia de investigación (Secretaría de Salud, 1987). Con atención a esta ley se obtuvo el consentimiento informado de cada participante, en todo momento se informó que la participación sería voluntaria. Además, se aseguró el anonimato y se informó al participante que podría retirarse del estudio cuando así lo requiriera.

Antes de la selección y recolección de la información se capacitó a dos auxiliares para la investigación. Se acudió a la institución de salud en el turno matutino, se seleccionó a los participantes a partir del registro de pacientes citados a consulta para control de la DT2 durante los meses de marzo y abril de 2015. Se abordó a los participantes el día de la consulta, una vez corroborados los criterios de inclusión, se seleccionaron a los participantes, se les explicó el objetivo del estudio y firmaron el consentimiento informado. A través de una cédula se recolectaron datos sociodemográficos (edad, sexo, años de diagnóstico, estado civil y ocupación), clínicos y bioquímicos (peso, estatura y glucemia capilar).



Figura 1. Los pacientes con DT2 requieren de atención interdisciplinaria y conseguir mayores puntuaciones de resiliencia podría ayudar en la adaptación de eventos estresores durante el curso de la enfermedad.

Fotografía tomada por los autores.

El peso se midió con el mínimo de ropa y con los pies descubiertos en una báscula marca SECA® modelo 813 que mide hasta 150 kg. La estatura se midió con la persona en bipedestación haciendo coincidir su línea media sagital con la línea media del estadímetro, el resultado se expresó en cm y se midió con un estadímetro portátil marca SECA® modelo 213, el cual mide hasta 1.95 m. Con estos datos se calculó el índice de masa corporal (IMC) despejando la siguiente fórmula; peso (kg)/talla² (m). El IMC se clasificó en peso bajo (< 18.5), peso normal (> 18.5 a 24.9), sobrepeso (> 25 a 29.9) u obesidad (> a 30) de acuerdo con los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-08-SSA-2017 (Secretaría de salud, 25 de enero de 2017).

Para determinar los niveles de glucosa se pidió al participante asistiera al día siguiente de haber contestado los cuestionarios en ayuno mínimo de 8 h para la muestra de sangre capilar, tomada por el investigador principal a través de una punción capilar en el dedo medio o índice con glucómetro digital Accu-Check active®, se consideró como cifra en control entre 80 y 130 mg/dL de acuerdo con recomendaciones al PROY-NOM-015-SSA-2017 (Secretaría de Salud, 3 de mayo de 2018).

Se utilizó la escala de resiliencia creada originalmente en inglés por Wagnild y Young (1993) adaptada al español por Heilemann, Lee y Kury (2003). Esta escala mide dicha característica a nivel individual, está compuesta por 25 reactivos con opciones de respuesta tipo Likert, que va desde 1 (muy en desacuerdo) hasta 7 (muy de acuerdo). Las puntuaciones van desde 25 a 175, puntuaciones más altas reflejan mayor capacidad de resiliencia. La clasificación de puntajes para establecer niveles de resiliencia fue: 25-100= muy baja, 101-115= baja, 116-130= regular, 131-145= moderada, 146-160= moderadamente alta y 161- 175= alto.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 25 para Windows. Las variables continuas y categóricas fueron analizadas a través de frecuencias, proporciones y medidas de tendencia central. Se determinó la confiabilidad interna del instrumento a través del coeficiente Alpha de Cronbach ($\alpha = 0.92$). Para verificar la distribución de frecuencias de las variables numéricas se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors. Se utilizó estadística descriptiva y estadística inferencial no paramétrica por no encontrar distribución normal. Se llevó a cabo análisis bivariado a través del coeficiente de correlación de Spearman (tabla 1) para explorar la relación entre las variables de interés. Se ajustó un modelo de regresión lineal

múltiple para explorar el efecto de las variables sexo, edad, estado civil, ocupación, años de diagnóstico, IMC y resiliencia sobre los niveles de glucemia en ayuno (tabla 2).

RESULTADOS

La muestra la constituyeron 146 pacientes con DT2. La media de edad de los participantes fue de 41.7 ($DE = 10.5$) años, 54.8% mujeres ($n = 80$), en promedio los pacientes refirieron tener 5.82 ($DE = 4.20$) años de diagnóstico de DT2. El 54.4% de los participantes refirió ser empleada y 78.1% vivía con pareja.

En los datos descriptivos de las mediciones antropométricas y bioquímicas por sexo se observa que la media de peso es relativamente mayor en hombres ($M = 81$ kg, $DE = 10.7$) que en mujeres ($M = 76$ kg, $DE = 11.25$). Se encontró que 76.99% de los participantes tiene sobrepeso y obesidad, solamente 23.01% se encontró en peso normal. La media de glucemia capilar fue de 157.1 mg/dL, la cual fue ligeramente superior en mujeres 159.1mg/dL ($DE = 46.5$ mg/dL) con respecto a los hombres de 156.7mg/dL ($DE = 48.3$). Cabe resaltar que solamente 39.7% se encontró en CG (80-130 mg/dL). De acuerdo con los datos descriptivos de los niveles de resiliencia, 38.4% presentó puntuaciones muy bajas y bajas, mientras que 61.6% se identifican entre el nivel moderado, moderadamente alto y muy alto.

Se realizó un análisis de correlación de Spearman (tabla 1). Se encontró que en cuanto a las variables sociodemográficas solamente los AD mostraron relación positiva con la edad de los pacientes ($r_s = -0.44$, $p < 0.001$). En lo referente a los datos antropométricos, se observó que el IMC ($r_s = -0.16$, $p < 0.05$) se relacionó negativamente con la edad de los pacientes. Haciendo referencia a las variables clínicas, la GA presentó relación negativa con la ocupación ($r_s = -0.25$, $p < 0.001$) y positiva con el IMC ($r_s = 0.61$, $p < 0.001$). Finalmente, la resiliencia se relacionó positivamente con la ocupación ($r_s = 0.17$, $p < 0.05$) y negativamente con el IMC ($r_s = -0.58$, $p < 0.001$) y GA ($r_s = -0.79$, $p < 0.001$).

Se realizó un modelo de regresión lineal múltiple, el cual fue significativo ($F_{[26278,037]} = 26.33$, $p < .001$) y explicó 57% de la varianza. La variable que finalmente se mantuvo en el modelo y que tuvo un efecto en la glicemia en ayuno fue la resiliencia ($\beta = -.69$, $t = -10.932$, $p = 0.001$), lo que indica que a mayor puntuación de resiliencia, menores cifras de glucemia en ayuno. Por tanto, se aprueba la hipótesis.

Tabla 1
Matriz de correlación de Spearman para las variables principales

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Edad	1							
2. Sexo	-.12	1						
3. AD	.44**	.03	1					
4. Ocupación	.06	.07	.14	1				
5. Estado civil	-.13	-.14	-.03	-.02	1			
6. IMC	-.16*	.09	.04	-.11	.02	1		
7. GA	-.007	.03	.10	-.25**	.04	.61**	1	
8. Resiliencia	.057	-.12	-.05	.17*	-.03	-.58**	-.79**	1

Nota: AD= Años de diagnóstico, IMC= Índice de Masa Corporal, GA= Glucemia en Ayuno.*= p < 0.05, **= p < 0.01.
Elaboración propia.

Tabla 2
Modelo de regresión múltiple: Predictores de la glucemia en ayuno en pacientes con DT2

	Coeficientes no estandarizados	Coeficientes estandarizados	IC 95%
	β	β	
(Constante)	317.65		256.02, 379.27]
Sexo	-3.50	-.038	[-14.07, 7.06]
Edad	.07	.017	[-.48, .63]
Estado civil	1.15	.031	[-3.10, 5.41]
Ocupación	-3.94	-.080	[-9.54, 1.64]
AD	-.003	.000	[-1.39, 1.38]
IMC	1.119	.108	[-.10, 2.34]
Resiliencia	-1.371	-.697**	[-1.60, -1.13]
R ²		.57**	
F		26.33**	

Nota: Variable dependiente: Glucemia en Ayuno, IC= Intervalo de confianza. *p < 0.05 **, p= 0.001.
Elaboración propia.

DISCUSIÓN

El presente estudio se caracterizó por incluir a hombres y mujeres que acudían a una unidad de primer nivel de atención para su control de la DT2. Por lo que respecta a las características sociodemográficas la media de edad de los participantes fue de 41 años con estimación de 5 años de diagnóstico; estos datos sugieren que la DT2 se está presentando en población más joven con respecto a lo estimado en décadas anteriores, situación que representa grandes desafíos para los sistemas de salud y la sociedad, debido al alto gasto económico y social que se destinan para su control y tratamiento (OMS, 2016).

En cuanto a las características antropométricas de los participantes, hallazgos del presente estudio muestran prevalencias de sobrepeso y obesidad superior a la reportada por la ENSANUT en 2016, la cual estimó que casi tres cuartos de la población adulta mexicana presentaron sobrepeso y obesidad; estas condiciones son actualmente un problema de salud pública al aumentar el riesgo para desarrollar enfermedades cardiovasculares y DT2 (Reynoso-Vázquez, Carrillo-Ramírez, Algarín-Rojas, Camacho-Romero, & Ruvalcaba-Ledezma, 2018).

El sobrepeso y obesidad en población mexicana podría atribuirse a la modernización, que promueve tareas físicas menos demandantes y propicia un mayor acceso y consumo de alimentos de alto contenido calórico a bajo costo (Gómez-Delgado & Velázquez-Rodríguez, 2019; Moreno-Altamirano, García-García, Soto-Estrada, Capraro, & Limón-Cruz, 2014; Torres & Rojas, 2018). Otros planteamientos refieren que su causa obedece al conjunto de factores que se producen en la biología de los individuos modelados por influencias económicas, sociales y culturales (Torres & Rojas, 2018).

Los participantes mostraron cifras de glucosa superiores a los puntos de corte establecidos por la ADA (2019) y la IDF (2017) para cifras óptimas de control de DT2, condición que aumenta el riesgo de complicaciones. Cabe mencionar que se ha evidenciado relación entre las altas concentraciones de glucosa y la aparición de complicaciones crónicas por diabetes, con reducción estadísticamente significativa de las complicaciones micro y macrovasculares cuando se alcanzan concentraciones menores de glucosa (Diabetes Control and Complications Trial Research Group, 1990; Huang et al., 2017; Margetts, 1995).

El presente estudio encontró que el aumento del IMC tuvo una relación positiva con cifras de

glucemia en ayuno, lo cual es congruente con hallazgos de Bae, Lage, Mo, Nelson y Hoogwerf (2016) y de Sonmez et al. (2019), quienes demostraron que niveles elevados de IMC se relacionaron con cifras de glucosa altas; a su vez refieren que la ganancia de peso puede dificultar alcanzar cifras óptimas de control, comprometer la adherencia al tratamiento, empeorar el perfil de riesgo cardiovascular y limitar los beneficios del tratamiento. El modelo de regresión lineal múltiple mostró que a mayor puntaje de resiliencia, menor cifra de glucemia en ayuno, lo que indica un mejor control glucémico. Este hallazgo concuerda con DeNisco (2011) en su estudio sobre resiliencia en pacientes con DT2, en el cual encontró que niveles altos de resiliencia se relacionaron con niveles bajos de glucosa; los hallazgos encontrados son consistentes y apoyan el supuesto de que los pacientes más resilientes presentan mayor capacidad para enfrentar los estresores que se le presentan en el curso de la enfermedad (figura 1).

La resiliencia se ha estudiado poco en DT2; cabe resaltar que en pacientes con DT1 han encontrado hallazgos similares a los encontrados en este estudio. En este sentido, Yi et al. (2008) reportaron relación positiva entre resiliencia y glucemia en ayuno en pacientes con DT1, que indica que los pacientes más resilientes presentaron menores cifras de glucosa, aunque los pacientes con DT1 se caracterizan por tener menor edad y depender de la familia para cubrir necesidades económicas y de seguridad; las características de tratamiento para control de la DT1 y DT2 requieren que el paciente sea capaz de afrontar los factores estresantes que se presentan en el curso de la enfermedad.

CONCLUSIONES

Los hallazgos en este estudio permiten concluir que la resiliencia es un factor protector para el control de las cifras de glucosa en adultos DT2 que asisten a control a una unidad de salud de primer nivel de atención. Sugieren una oportunidad para seguir explorando el fenómeno de la DT2 a partir de variables psicológicas que aporten explicación del proceso que vive el paciente con DT2 en el curso de esta afección. Es conocido que durante la vida del paciente con diagnóstico de DT2 ocurren cambios para su manejo, situaciones de crisis y agudización, en donde la resiliencia es un factor protector en el equilibrio metabólico.

Es necesario que el sector salud desarrolle programas específicos de educación diabetológica que incluya estrategias para fortalecer la capacidad

de hacer frente a las adversidades y problemas que se suscitan en el curso de la enfermedad. Es necesario profundizar en el estudio de la resiliencia y CG en pacientes con DT2 para conocer si los hallazgos de este estudio son consistentes. El diseño de intervenciones multidisciplinarias para el control de la DT2 es una necesidad prioritaria del sistema de salud, en virtud del incremento y la aparición de complicaciones de esta enfermedad en México y el mundo. En un futuro se podrían desarrollar intervenciones fortaleciendo la resiliencia que incrementen la comprensión, explicación y otorgamiento del significado de los eventos estresores y problemas que surgen en el curso de la DT2.

En lo que corresponde a las limitaciones del presente estudio se encuentra el indicador bioquímico para determinar el nivel de glucosa. La ADA (2019) y la OMS (2016) recomiendan utilizar la prueba de hemoglobina glucosilada (HbA1c) como indicador para control glucémico en pacientes con DT2; en futuros estudios se sugiere medir la HbA1c para determinar el control de la enfermedad. El diseño transversal del estudio tiene como limitación no poder hacer inferencias causales debido a que la recolección de información del evento de interés y los factores relacionados ocurren en el mismo punto de tiempo (Polit & Beck, 2018).

REFERENCIAS

- American Diabetes Association. (2019). Standards of medical care in diabetes 2019. *Diabetes Care*, 42(1). Recuperado de https://care.diabetesjournals.org/content/42/Supplement_1
- Bae, J. P., Lage, M. J., Mo, D., Nelson, D. R., & Hoogwerf, B. J. (2016). Obesity and glycemic control in patients with diabetes mellitus: Analysis of physician electronic health records in the US from 2009-2011. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 30(2), 212-220. doi: 10.1016/j.jdiacomp.2015.11.016
- Benítez-Agudelo, J. C., Barceló-Martínez, E., & Gelves-Ospina, M. (2017). Factores psicológicos implicados en el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus de tipo 2. *Anuario de Psicología*, 47(3), 140-145. doi: 10.1016/J.ANPIC.2018.01.004
- Castro-Espinoza, J. M., Gallegos-Cabriales, E. C., & Frederickson, K. (2015). Análisis evolutivo del concepto adaptación a la diabetes tipo 2. *Aquichan*, 15(1), 52-59. doi: 10.5294/aqui.2015.15.1.6
- DeNisco, S. (2011). Exploring the relationship between resilience and diabetes outcomes in African Americans. *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*, 23(11), 602-610. doi: 10.1111/j.1745-7599.2011.00648.x
- Diabetes Control and Complications Trial Research Group. (1990). Diabetes Control and Complications Trial (DCCT): Update. *Diabetes Care*, 13(4), 427-433. doi: 10.2337/diacare.13.4.427
- Figuroa, C. L., & Gamarra, G. (2013). Factores asociados con no control metabólico en diabéticos pertenecientes a un programa de riesgo cardiovascular. *Acta Médica Colombiana*, 38(4), 213-221. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v38n4/v38n4a06.pdf>
- Figuroa-Suárez, M. E., Cruz-Toledo, J. E., Ortiz-Aguirre, A. R., Lagunes-Espinosa, A. L., Jiménez-Luna, J., & Rodríguez-Moctezuma, R. (2014). Estilo de vida y control metabólico en diabéticos del programa DiabetIMSS. *Gaceta Médica de México*, 150(1), 29-34.
- Gómez-Delgado, Y., & Velázquez-Rodríguez, E. B. (2019). Salud y cultura alimentaria en México. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1-11. doi: 10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6
- Grove, S. K., Gray, J. R., & Burns, N. (2014). *Understanding nursing research: Building an evidence-based practice* (6th ed.). Recuperado de <https://books.google.com/books?id=LjKPBAQAQBAJ&pgis=1>
- Heilemann, M. V, Lee, K., & Kury, F. S. (2003). Psychometric properties of the Spanish version of the Resilience Scale. *Journal of Nursing Measurement*, 11(1), 61-72. doi: 10.1891/JNUM.11.1.61.52067
- Huang, D., Refaat, M., Mohammedi, K., Jayyousi, A., AlSuwaidi, J., & Abi Khalil, C. (2017). Macrovascular Complications in Patients with Diabetes and Prediabetes. *BioMed Research International*, 2017, 1-9. doi: 10.1155/2017/7839101
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2016). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016 [Información en página web]. Recuperada de <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2016/index.php>
- International Diabetes Federation. (2017). *IDF Diabetes Atlas* [Documento en pdf]. Recuperado de <http://fmd diabetes.org/wp-content/uploads/2018/03/IDF-2017.pdf>
- Margetts, B. M. (1995). United Kingdom prospective diabetes study. *BMJ*, 310(6985), 1005-1006. doi: 10.1136/bmj.310.6985.1005c

- Montes-Delgado, R., Oropeza-Tena, R., Pedroza-Cabrera, F. J., Verdugo-Lucero, J. C., & Enríquez-Bielma, J. F. (2013). Manejo del estrés para el control metabólico de personas con diabetes mellitus tipo 2. *En-claves del pensamiento*, 7(13), 67-87. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/enclav/v7n13/v7n13a4.pdf>
- Moreno-Altamirano, L., García-García, J. J., Soto-Estrada, G., Capraro, S., & Limón-Cruz, D. (2014). Epidemiología y determinantes sociales asociados a la obesidad y la diabetes tipo 2 en México. *Revista Médica Del Hospital General De México*, 77(3), 114-123. doi: 10.1016/j.hgmx.2014.07.002
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Informe mundial de la diabetes 2016. Resumen de orientación*. Recuperado de <https://www.who.int/diabetes/global-report/es/>
- _____ (8 de junio de 2020). Diabetes [Datos en página web]. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Pérez, A., Mediavilla, J. J., Miñambres, I., & González-Segura, D. (2014). Control glucémico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en España. *Revista Clínica Española*, 214(8), 429-436. doi: 10.1016/J.RCE.2014.05.028
- Polít, D. P., & Beck, C. T. (2018). Diseño para investigación cuantitativa. En D. P. Polít, & C. T. Beck (Eds.), *Investigación en enfermería. Fundamentos para el uso de la evidencia en la práctica de la enfermería* (137-160). Barcelona, España: Wolters Kluwer.
- Quiceno, J. M., & Vinaccia, S. (2011). Resiliencia: Una perspectiva desde la enfermedad crónica en población adulta. *Pensamiento Psicológico*, 9(17), 69-82. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-89612011000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Reynoso-Vázquez, J., Carrillo-Ramírez, J., Algarín-Rojas, L., Camacho-Romero, O., & Ruvalcaba-Ledezma, J. C. (2018). La obesidad y su asociación con otras de las enfermedades crónicas no transmisibles. *Journal of Negative and No Positive Results*, 3(8), 627-642. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6521708>
- Rodríguez-Campuzano, M. L., & Rentería-Rodríguez, A. (2016). Factores que impiden la adherencia a un régimen terapéutico en diabéticos: Un análisis descriptivo. *Psicología y Salud*, 26(1), 51-62. Recuperado de <http://psicologiasalud.uv.mx/index.php/psicysalud/article/view/1898>
- Rutter, M. (1985). Resilience in the face of adversity. Protective factors and resistance to psychiatric disorder. *The British Journal of Psychiatry*, 147(6), 598-611. doi: 10.1192/bjpp.147.6.598
- Ryan, S. (2014). Psychological effects of living with rheumatoid arthritis. *Nursing Standard*, 29(13), 52-59. doi: 10.7748/ns.29.13.52.e9484
- Santos, F. R. M., Bernardo, V., Gabbay, M. A. L., Dib, S. A., & Sigulem, D. (2013). The impact of knowledge about diabetes, resilience and depression on glycemic control: a cross-sectional study among adolescents and young adults with type 1 diabetes. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 5. doi: 10.1186/1758-5996-5-55
- Secretaría de Salud. (1987). Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rlgsmis.html>
- _____ (23 de noviembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-2010, Para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus. Recuperado de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4215/salud/salud.htm>
- _____ (25 de enero de 2017). PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, para quedar como Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2016, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5469855&fecha=25/01/2017
- _____ (3 de mayo de 2018). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-SSA2-2018, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la diabetes mellitus. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5521405&fecha=03/05/2018
- Sonmez, A., Yumuk, V., Haymana, C., Demirci, I., Barcin, C., Kiyıcı, S., ... TEMD Study Group. (2019). Impact of obesity on the metabolic control of type 2 diabetes: Results of the Turkish Nationwide survey of glycemic and other metabolic parameters of patients with diabetes mellitus (TEMD obesity study). *Obesity Facts*, 12(2), 167-178. doi: 10.1159/000496624
- Steinhardt, M. A., Brown, S. A., Dubois, S. K., Harrison, L., Lehrer, H. M., & Jaggars, S. S. (2015). A resilience intervention in African-American adults with type 2 diabetes. *American Journal of Health Behavior*, 39(4), 507-518.
- Torres, F., & Rojas, A. (2018). Obesidad y salud pública en México: Transformación del patrón hegemónico de oferta-demanda de alimentos. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 49(193), 145-169. doi: 10.22201/ieec.20078951e.2018.193.63185

- Wagnild, G. M., & Young, H. M. (1993). Development and psychometric evaluation of the Resilience Scale. *Journal of Nursing Measurement*, 1(2), 165-178. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7850498>
- Yi, J. P., Vitaliano, P. P., Smith, R. E., Yi, J. C., & Weinger, K. (2008). The role of resilience on psychological adjustment and physical health in patients with diabetes. *British Journal of Health Psychology*, 13(2), 311-325. doi: 10.1348/135910707x186994
- Yi-Frazier, J. P., Yaptangco, M., Semana, S., Buscaino, E., Thompson, V., Cochrane, K.,... Rosenberg, A. R. (2015). The association of personal resilience with stress, coping, and diabetes outcomes in adolescents with type 1 diabetes: Variable-and person-focused approaches. *Journal of Health Psychology*, 20(9), 1196-1206. doi: 10.1177/1359105313509846

Monitoreo de la antigüedad de hospitales potencialmente requeridos en caso de desastre en México

Monitoring age of hospitals potentially required in case of disaster in Mexico

Milton Montejano-Castillo*✉, Mildred Moreno-Villanueva**

Montejano-Castillo, M., & Moreno-Villanueva, M. (2020). Monitoreo de la antigüedad de hospitales potencialmente requeridos en caso de desastre en México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 54-61.

RESUMEN

Desastres recientes han evidenciado la necesidad de revisar en México la seguridad de la infraestructura crítica del país. En este artículo se exploran las limitantes que un hospital puede tener con el fin de incrementar su seguridad ante desastres de acuerdo con su antigüedad, dada la relativamente reciente formulación de códigos de construcción y lineamientos para hacer los hospitales seguros frente a desastres. Por ello, el año de construcción y el coeficiente de ocupación se tomaron como indicadores para analizar algunos de los hospitales en proceso de certificación en el programa Hospital Seguro en México. Se observa que solo una minoría de los hospitales es de reciente construcción y que en su mayoría estos hospitales están sujetos a una constante expansión física, por lo que se propone un Observatorio para identificar vulnerabilidades asociadas a la antigüedad y saturación física de hospitales, para evaluar la factibilidad de recibir saldos masivos de víctimas en caso de desastre.

Palabras clave: seguridad; riesgo; salud; construcción; Observatorio.

Keywords: safety; risk; health; construction; Observatory.

Recibido: 17 de abril de 2019, aceptado: 29 de enero de 2020

* Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco, Instituto Politécnico Nacional. Av. Fuente de los Leones 28, C. P. 53950, Naucalpan, Estado de México, México. Correo electrónico: mmontejano@ipn.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5804-2364>

** Instituto Nacional de Salud Pública. Av. Universidad 655, Santa María Ahuacatlilán, C. P. 62100, Cuernavaca, Morelos, México. Correo electrónico: investigador.insp18@insp.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5835-8572>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The occurrence of recent disasters in Mexico made evident the need to assess the safety of the critical infrastructure of the health sector. Given the relatively recent development of building codes and guidelines to make hospitals safe from disasters, this article explores the obstacles to increase the safety of hospitals considering their construction period. Therefore, age and floor space ratio were used as indicators to analyze hospitals that are currently under process of certification in the Safe Hospital program in Mexico. It is observed that only a minority of hospitals are of recent construction and most of these hospitals are subject to a constant physical expansion. Therefore, an Observatory is proposed to identify vulnerabilities associated with age and gradual reduction of open space. This would be useful to evaluate the feasibility of receiving a large number of patients after a mass casualty disaster.

INTRODUCCIÓN

Las afectaciones a hospitales causados por desastres en México no son un tema reciente. Desde hace más de 30 años esta discusión comenzó a tomar forma a partir del gran terremoto de 1985 en la Ciudad de México y desde entonces el tema no ha dejado de ser preocupación, dada la intermitente y desafortunada ocurrencia de otros desastres en hospitales en los últimos años, como la explosión de un hospital materno infantil en Cuajimalpa, Ciudad de México, a inicios de 2015, causada por la fuga de gas de una pipa o las constantes inundaciones de hospitales a lo largo del país, sobre todo en época de lluvias y huracanes.

En 2017, los sismos ocurridos en México volvieron a hacer evidente (quizá con más fuerza) la importancia y la necesidad de una visión multidisciplinaria para la comprensión y respuesta por parte del sector salud en casos de desastre. El colapso y daño de algunos hospitales (sobre todo en los estados de Oaxaca y Morelos) despertó muchas preguntas e inquietudes para otros campos profesionales y su corresponsabilidad, tanto en la construcción de riesgos como en el entendimiento de los mismos (figura 1).



Figura 1. Hospital General Dr. Ernesto Meana San Román, en el municipio de Jojutla de Juárez, Morelos, dañado por el sismo de septiembre de 2017.

Fotografía proporcionada por Mildred Moreno-Villanueva.

Una de las inquietudes que surgen en el campo de la Arquitectura se refiere a las limitantes de un hospital para aumentar su seguridad según su antigüedad y características arquitectónicas, debido a la reciente formulación de códigos de construcción y lineamientos para hacer los hospitales seguros frente a desastres; en este artículo se hizo una revisión tanto de las visiones institucionales como académicas a nivel internacional acerca de los aspectos arquitectónicos y constructivos de un hospital sujeto a riesgos de desastre y las implicaciones que estos hallazgos tienen para el caso mexicano, ya que por su costo la vida útil de un hospital generalmente se concibe para funcionar varias décadas o acercarse al siglo.

Los primeros acuerdos internacionales para la reducción de riesgos de desastre en instalaciones de salud tienen antecedente en el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 (UNISDR, 2007) y en el Marco

de Sendai 2015-2030 (UNISDR, 2015), que a su vez dieron continuidad a los trabajos de la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), llevada a cabo de 1990 a 1999. En dichos marcos se estableció que el reforzamiento o construcción de sanatorios más resistentes deben hacer posible que una clínica no solamente siga funcionando durante un desastre, sino que continúe haciéndolo después de ocurrido, por lo menos durante tres días, a su máxima capacidad (WHO, 2015), por lo que se hace necesaria la implementación de una serie de medidas estructurales (seguridad física) y no estructurales (de tipo organizativo), cuya existencia es susceptible de medirse a partir de un índice de seguridad hospitalaria, de la que ya hay una segunda versión.

Como consecuencia, muchos gobiernos nacionales desde finales del siglo XX e inicios del siglo XXI han estado implementando programas, leyes e instrumentos para asegurarse de que la totalidad de su infraestructura hospitalaria resista un desastre. Alcanzar esta ambiciosa pero necesaria meta no queda libre de obstáculos, sumados a la gran complejidad (estructural y organizativa) que por sí misma implica una instalación hospitalaria. Ante estos vacíos el sector académico ha emprendido, de igual forma, un importante esfuerzo de investigación reflejado en un relativamente escaso pero importante grupo de literatura sobre distintos aspectos de la seguridad hospitalaria frente a desastres. Dentro de dicha literatura se han identificado al menos seis ejes temáticos (Montejano-Castillo & Moreno-Villanueva, 2018):

- a) La problematización y necesidad de implementar el programa hospital seguro
- b) La aplicación general del índice de seguridad hospitalaria
- c) Estrategias para la implementación de programas de emergencias en hospitales
- d) Riesgo y vulnerabilidad de hospitales considerando amenazas específicas como sismos o inundaciones
- e) Vacíos en la investigación sobre bioseguridad y hospitales
- f) Finalmente, los hospitales ante los retos de adaptación relacionados con el cambio climático

Entre los temas citados resulta verdaderamente escasa la investigación propiamente arquitectónica sobre sanatorios seguros frente a catástrofes, y únicamente se tocan de manera tangencial las implicaciones de la arquitectura de una clínica o su edad en la reducción de riesgo. En el caso de

EE. UU. se observa que para muchos nosocomios el cumplir con estándares de construcción resistente a las inundaciones es un requerimiento complejo, pues muchos fueron construidos mucho antes de que se tuvieran mapas precisos sobre la probabilidad de ocurrencia de una inundación y el mismo caso para los construidos en zonas propensas a tornados, en donde muchas unidades hospitalarias fueron construidas en las décadas de los cincuenta y los sesenta, antes de que existieran códigos y estándares para asegurar dichas edificaciones contra estas amenazas (Balbus et al., 2016). En el caso del riesgo sísmico, investigaciones sobre la vulnerabilidad en infraestructura hospitalaria en la India han revelado que de un total de 3,344 hospitales, casi 20% tienen alta probabilidad de daño ante un sismo, habiendo sido construida la mayor parte de estos edificios antes de 1950 (Rautela, Girish, & Bhupendra, 2011), lo que lleva a la pregunta: ¿Qué tan antiguos son los hospitales en México? y en esta condición: ¿Qué margen de adaptación les queda a futuro a las unidades médicas de nuestro país?

MATERIALES Y MÉTODOS

Para responder a las preguntas citadas anteriormente se partió de un listado de hospitales que, de acuerdo con la Coordinación General de Protección Civil de México, tienen prioridad para ser evaluados dentro del programa Hospital Seguro. Dicha lista es de acceso libre y se encuentra disponible en línea (Coordinación General de Protección Civil, 2011). Se compone de 201 nosocomios clasificados como de alta complejidad y alto nivel resolutivo. Se les denomina hospitales "rojos", según los colores del semáforo; es decir, son las unidades médicas que en primera instancia tienen tanto los recursos humanos (mínimo cuatro especialidades) como materiales (50 camas mínimo, salas de cirugía, rayos X) para atender víctimas en una catástrofe.

De dicha lista se le dio prioridad a estados costeros mexicanos más el Distrito Federal (Ciudad de México), que son los que se encuentran en mayor riesgo por estar expuestos a amenazas debidas a fenómenos hidrometeorológicos y sísmicos. Se analizaron un total de 47 clínicas de diferentes instituciones de los siguientes estados: Baja California Norte, Baja California Sur, Durango, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Campeche, Yucatán, Tabasco y Distrito Federal (Ciudad de México). Para cada hospital se documentaron los siguientes indicadores, que a su vez fueron extraídos de la revisión bibliográfica

por expresar condiciones críticas asociadas a la seguridad, como se detalla a continuación.

Año de construcción

Este dato se buscó para cada sanatorio a través de fuentes históricas y oficiales. El periodo de construcción es una variable aproximada de la tipología arquitectónica, la cual puede ser una de las razones que limiten el reforzamiento de la clínica, pues aunado a la incapacidad y costos que representan las intervenciones estructurales en los construidos antes del siglo XXI, el diseño arquitectónico de la mayoría de los erigidos en el siglo XX ha sido considerado un periodo de clínicas de grandes dimensiones, edificadas principalmente en las décadas de los sesenta y los setenta, lo que puede representar una limitante física para la adaptación a riesgos, en contraposición a las características que deberían tener los del presente siglo, como flexibilidad, tendencia a la disminución de ingreso hospitalario, reducción del número de camas, cirugía mayor ambulatoria, y hospitalización a domicilio, entre otros, que marcan un cambio hacia nosocomios abiertos (Loyo-Varela & Díaz-Chazaró, 2009).

Coefficiente de ocupación de suelo

El coeficiente de ocupación es la división entre la superficie construida en planta baja y la superficie libre de construcción (espacio abierto) que se obtuvo a partir de medir imágenes de satélite para varios años de Google Earth (2001 a 2019). Es decir, a partir de fotografías de diferentes periodos se fueron contabilizando las superficies de los espacios que se fueron construyendo gradualmente en cada clínica en el tiempo y la sumatoria de esas superficies fue dividida, para cada periodo, entre la superficie total del terreno, que es una constante. Se trata de otro indicador muy importante, pues los sitios abiertos en hospitales juegan un papel primordial no solamente como un recurso de valor escénico para el personal médico y para los pacientes, sino como recurso de adaptación al riesgo de catástrofe a corto y largo plazo. En este último la existencia de lugares abiertos representa un margen para el crecimiento del nosocomio para nuevos espacios que incrementen tanto su capacidad de atención como la construcción de sitios especiales para la atención de pacientes víctimas de un desastre. A corto plazo permiten la expansión provisional de la clínica en caso de saldo masivo de víctimas, aspecto que se contempla en la cédula de evaluación de hospital seguro para el caso de México. Los procedimientos para habilitación de espacios para aumentar la capacidad, incluyendo

disponibilidad de camas adicionales, procedimientos para la expansión provisional del departamento de urgencias y otras áreas críticas; la forma y las actividades que se deben realizar en la expansión hospitalaria, como el suministro de agua potable, electricidad, desagüe, entre otros; los procedimientos para la habilitación de sitios para ubicación temporal de medicina forense, actividades específicas para el área de patología y si tiene sitio destinado para depósito de múltiples cadáveres (OPS, 2008). No contar con espacios libres dentro del nosocomio hace necesario el uso de calles, plazas o camellones para evacuar pacientes durante una calamidad (figura 2).



Figura 2. Ocupación provisional del camellón Álvaro Obregón para la evacuación de pacientes y personal médico durante el sismo de septiembre de 2017 en la Ciudad de México.

Imagen cortesía de Lissette Wendy Moreno Villanueva.

El coeficiente de ocupación expresa la capacidad de expansión en caso de emergencia para recibir saldos masivos de víctimas, pues depende de las áreas libres de que se disponga en el edificio. Una vez obtenidos el año aproximado de construcción y el coeficiente de ocupación para la muestra de hospitales se correlacionaron en una gráfica con los siguientes resultados.

RESULTADOS

Al observar la sucesión de imágenes para cada sanatorio se encontró que la historia de su edificación está llena de un ir y venir de planes, reconstrucciones y modificaciones que ni es simple ni lineal, pues cada una de estas intervenciones depende de muchos factores políticos, administrativos, históricos y económicos. Lo evidente es que prácticamente todos tuvieron una constante adición de espacios; es decir, no son objetos terminados, están en constante

expansión y transformación. A manera de ejemplo, el Hospital General Agustín O'Horán, en Mérida, Yucatán, México (figura 3), construido en la década de los setenta del siglo pasado, afectado por el huracán Gilberto en 1988. A la fecha se le continúan haciendo adiciones (figura 4). Por medio de imágenes de satélite se muestra el crecimiento ocurrido entre 2002 (con un coeficiente de ocupación del terreno de 31%) y 2015 (con un coeficiente de ocupación de 56%). Es decir, en el transcurso de casi 15 años el hospital se expandió casi el doble en el terreno (tabla 1).

Tabla 1

Expansión del Hospital General Agustín O'Horán, Mérida, Yucatán

Año	Superficie construida (m ²)	Coeficiente de ocupación (%)
2002	9,036.76	0.31
2005	9,136.76	0.32
2009	10,687.20	0.37
2010	12,788.64	0.44
2011	14,216.85	0.49
2012	15,816.85	0.55
2015	15,966.85	0.56

Nota: La superficie total del terreno es de 28,497.51 m². Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth.

Se encontró que los sanatorios tienen una antigüedad de entre 9 y 76 años, con una antigüedad promedio de 41 años (tabla 2). Solamente se identificaron dos construidos antes de 1900, que son el Hospital General (1789) y el Hospital Civil de Guadalajara (1783), los cuales se omitieron del análisis estadístico por considerarse casos especiales. Por su antigüedad se consideran patrimonio arquitectónico, e instituciones como el INAH han restringido su modificación. En cuanto a los erigidos en el siglo XX, algunos han sido clasificados como Patrimonio del siglo XX, como el Hospital Siglo XXI, por contener las obras del muralista Diego Rivera. Fue reconstruido después del sismo de 1985, prácticamente no ha sido ampliado y ha conservado las áreas libres.



Figura 3. Hospital General Agustín O'Horán, Mérida, Yucatán, México.
Fotografía tomada de Google Earth (s. f.).

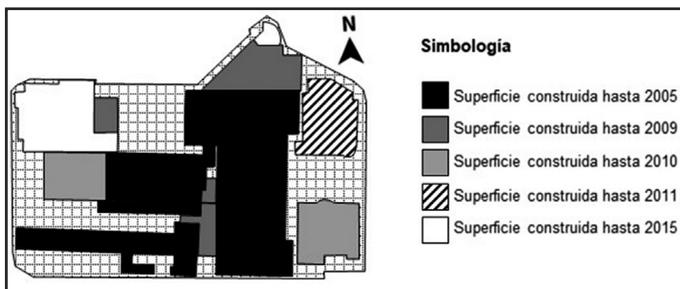


Figura 4. Expansión del Hospital General Agustín O'Horán, Mérida, Yucatán, México, 2005-2015.
Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth de fechas que permitieron medir la superficie de cada espacio adicionado con el tiempo.

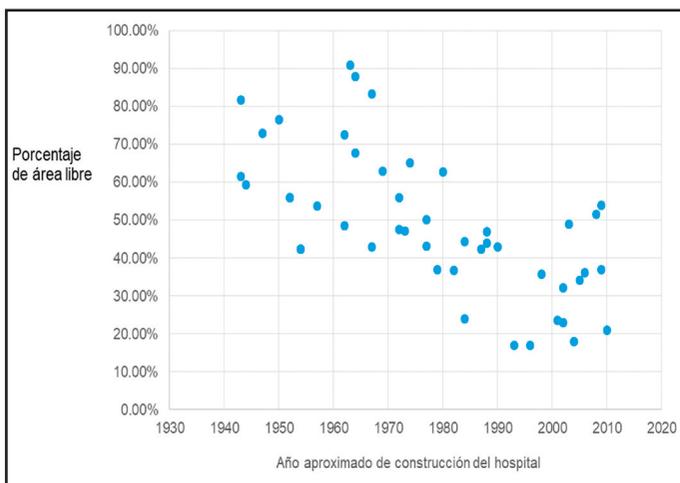


Figura 5. Ejemplos de hospitales de alta complejidad y alto nivel resolutivo según porcentaje de área ocupada de su terreno.
Elaboración propia a partir de Google Earth.

Estadísticamente se observa una clara tendencia a perder área libre del terreno a lo largo del tiempo (figura 5). Al correlacionar el año de construcción (eje de las X) con el porcentaje de área construida con respecto al terreno (eje de las Y) se pueden distinguir dos grupos de sanatorios; uno construido hasta 1980, donde el porcentaje de área construida oscila entre 40% y 90%, y uno erigido después de 1980, con porcentajes de área construida entre 15% y 50%.

DISCUSIÓN

Una de las preguntas evidentes es: ¿Qué opciones quedan si se está registrando que la mayoría de los nosocomios mexicanos tienen tantos años edificados y pierden constantemente sus áreas libres?

Desde sus primeras versiones, las herramientas para hacerlos seguros contra catástrofes consideraban de gran importancia los ya construidos. Se reconocía que el reto mayor era reforzar estructuralmente las instalaciones de salud que ya existían, pues aproximadamente 50% en Latinoamérica y el Caribe estaban ubicados en zonas de alto riesgo (OPS, 1996). Por tanto, la reducción de la vulnerabilidad *no estructural* como la protección de equipos y suministros, mejoramiento de anclajes y la planificación para emergencias se planteaba como la única opción para ese tipo de hospitales, pues representaba una inversión mínima de capital (OPS, 1996).

Por otra parte, en los citados documentos se estipulaba que en casos de necesidad el criterio para decidir sobre la pertinencia de un reforzamiento debía basarse en la relación costo/efectividad en función del riesgo aceptable e, incluso, considerando que los existentes difícilmente cumplirían con las nuevas normas de seguridad. Estaba previsto que la certificación estaría dividida en dos tipos: a) certificación de los que cumplieran todos los criterios (estructurales, no estructurales y organizativos) y b) el reconocimiento de los esfuerzos que se realizarían para cumplir con al menos los dos últimos criterios (Zeballos, 1993). En otras palabras, las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para hacerlos seguros contra desastres, evidentemente variará en función de la antigüedad. Los esfuerzos para reforzar la seguridad para los hospitales con más de 40 años de vida útil deberán enfocarse en aspectos no estructurales, con pocas opciones de expansión en caso de emergencia, mientras que para el resto –no saturados–, aún tienen oportunidad de adaptar incluso sus nuevos espacios a los

Tabla 2

Hospitales de alta complejidad y alto nivel resolutivo en México según año de construcción (muestra)

Núm.	Nombre del hospital	Estado	Año de construcción del hospital (aprox.)
01.	Hospital General Rubén Leñero	Distrito Federal	1943
02.	Hospital Infantil de México Federico Gómez	Distrito Federal	1943
03.	Dr. Rafael Pascacio Gamboa	Chiapas	1944
04.	Hospital General Manuel Gea González. SS	Distrito Federal	1947
05.	20 de Noviembre	Distrito Federal	1950
06.	UMAE Hospital de Especialidades CMN La Raza Antonio Fraga Mouret	Distrito Federal	1952
07.	UMAE Hospital General La Raza Gaudencio González Garza	Distrito Federal	1952
08.	UMAE Hospital de Pediatría del CMN IMSS	Distrito Federal	1954
09.	UMAE Hospital de Especialidades CMN Siglo XXI	Distrito Federal	1954
10.	H.G Dr. Miguel Silva	Michoacán	1957
11.	Hospital General Xoco	Distrito Federal	1962
12.	Hospital General Balbuena	Distrito Federal	1962
13.	Dr. Darío Fernández Fierro	Distrito Federal	1963
14.	Hospital General Regional No.45	Jalisco	1964
15.	Hospital General La Villa	Distrito Federal	1964
16.	Hospital General Regional No. 25 IMSS	Distrito Federal	1967
17.	Hospital General Dr. Álvaro Vidal Vera	Campeche	1967
18.	Hospital General Gregorio Salas Flores	Distrito Federal	1969
19.	Hospital General de Acapulco	Guerrero	1972
20.	Hospital General Agustín O'Horan	Yucatán	1972
21.	Hospital General de Zona No.8 Río Magdalena IMSS	Distrito Federal	1973
22.	Hospital General María Ignacia Gandulfo	Chiapas	1974
23.	HGR 20	Baja California	1977
24.	Gral. Ignacio Zaragoza	Distrito Federal	1977
25.	Dr. Gustavo A. Roviroso Pérez	Tabasco	1979
26.	Hospital Regional Villahermosa	Tabasco	1980
27.	Hospital General de Tijuana	Baja California	1982
28.	Hospital Central Sur de Alta Especialidad	Distrito Federal	1984
29.	Hospital General de Durango	Durango	1984
30.	Hospital General Regional No.2 Villa Coapa	Distrito Federal	1987
31.	Nuevo Hospital Civil de Guadalajara Dr. Juan I. Menchaca	Jalisco	1988
32.	Hospital Juárez de México	Distrito Federal	1988
33.	Hospital Gral. de Tapachula	Chiapas	1990
34.	Hospital Regional Mérida	Yucatán	1993
35.	Hospital General de Rosamorada	Nayarit	1996
36.	Hospital General Dr. Pedro Daniel Martínez Uruapan	Michoacán	1998
37.	Hospital Regional Universitario	Colima	2001
38.	HGR 1	Baja California	2002
39.	Hospital Regional de Alta Especialidad de Oaxaca	Oaxaca	2002
40.	Hospital Regional de Puerto Vallarta	Jalisco	2003
41.	Hospital Regional de Alta Especialidad de la Península de Yucatán	Yucatán	2004
42.	Hospital General de Manzanillo	Colima	2005
43.	Dr. Juan Graham Casasús	Tabasco	2006
44.	Hospital General Dr. Raymundo Abarca Alarcón Chilpancingo	Guerrero	2008
45.	Hospital General Naval de Alta Especialidad	Distrito Federal	2009
46.	Hospital General Regional Tlajomulco de Zúñiga N. 180	Jalisco	2009
47.	Hospital General La Paz	Baja California Sur	2010

Nota: Elaboración propia a partir de Coordinación General de Protección Civil (2011).

Tabla 3

Fortalezas, oportunidades y amenazas (FODA) para la adaptación de medidas de seguridad para hospitales con menos de 40 años de antigüedad

	Oportunidades (O)	Amenazas (A)
	Desarrollo de nuevos materiales y tipologías arquitectónicas para mejor aprovechamiento de espacios en hospitales	Amenazas naturales y antropogénicas (huracanes, sismos, variaciones de temperatura, explosiones)
Fortalezas (F)	Estrategias F-O	Estrategias F-A
Permanencia de área libre suficiente para expansión provisional del hospital en caso de desastre	Uso de los nuevos materiales y criterios de seguridad para preparar las áreas libres antes de que ocurra un desastre	En caso de desastre, el hospital tiene capacidad de expansión de áreas críticas como urgencias y triage
Debilidades (D)	Estrategias D-O	Estrategias D-A
Demanda constante de crecimiento del hospital por población local en aumento	Uso de nuevas tipologías arquitectónicas que permitan el crecimiento del hospital sin menoscabo de sus áreas libres	Identificación de amenazas en el entorno del hospital y consideración de medidas de seguridad en ampliación

Nota: Elaboración propia.

requerimientos de seguridad y posible expansión provisional en caso de catástrofe (tabla 3).

CONCLUSIONES

Para los sanatorios de reciente construcción, un plan de ampliación a futuro o una perspectiva de crecimiento son imperativos. Por otra parte, ante el poco presupuesto para construir hospitales nuevos, un análisis más detallado de las lógicas de crecimiento de sanatorios podría dar pautas para la anticipación y previsión de crecimiento para evitar la improvisación constructiva y la pérdida de áreas libres para la expansión emergente del hospital en caso de un saldo masivo de víctimas.

A partir de los sucesos ocurridos en México un proyecto de monitoreo o incluso un Observatorio de Hospitales Seguros contra desastres podría ser un insumo y una plataforma de investigación que permitiría una mejor toma de decisiones en cuanto al mejoramiento o sustitución de infraestructura hospitalaria, programación de presupuesto y una estimación de la vulnerabilidad de las regiones más propensas a catástrofes en México. Para esta vigilancia se podrían añadir otras características como la certificación "Hospital Seguro" por

ciudad y estado, el año de la misma, sanatorios reemplazados, y los que han sufrido daños por desastres. Dicho monitoreo debería ser de carácter público y esta información se podría vincular con la de otros observatorios para tener con ello un mayor conocimiento en la toma de decisiones en cuanto a las unidades médicas y su respuesta ante situaciones de desastre. Finalmente, se demuestra que ni las herramientas tecnológicas ni la inversión requerida para lograr un acercamiento al panorama general de la infraestructura hospitalaria del país tienen que ser costosas, pues la información para la metodología mostrada en este artículo es de carácter público, lo que facilita realizar este análisis para todo el territorio nacional.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los arquitectos Adriana Jiménez Leyva, Francisco Javier Pérez Madrigal y Ana Patricia Alonso Contreras por su colaboración en la búsqueda de información y análisis de hospitales. Este artículo es un subproducto del proyecto de investigación IPN SIP 20144135, financiado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCIAS

- Balbus, J., Berry, P., Brettle, M., Jagnarine-Azan, S., Soares, A., Ugarte, C., Varangu, L., & Prats, E. V. (2016). Enhancing the sustainability and climate resiliency of health care facilities: A comparison of initiatives and toolkits. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 40 (3), 174-180.
- Coordinación General de Protección Civil. (2011). *Universo de hospitales clasificados como de alta complejidad y alto nivel resolutivo (rojos) con corte al 31 de diciembre de 2011 programa hospital seguro* [Tabla en pdf]. Recuperado de www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/59/2/images/lhcr.pdf
- Google Earth. (s. f.). Hospital General Agustín O'Horan, Mérida, Yucatán, México [Fotografía aérea]. Recuperada de earth.google.com
- Loyo-Varela, M., & Díaz-Chazaro, H. (2009). Hospitales en México. *Cirugía y Cirujanos*, 77(6), 497-504.
- Montejano-Castillo, M., & Moreno-Villanueva, M. (2018). Hospitals safe from disasters: A glimpse into the Mexican coastal zones. *International Journal of Safety & Security Engineering*, 8(2), 329-341.
- Organización Panamericana de la Salud. (1996). *Conferencia internacional sobre mitigación de desastres en instalaciones de salud. Recomendaciones*. Washington, D. C., EE. UU: Oficina Sanitaria Panamericana-Oficina Regional de la OMS. Recuperado de <http://helid.digicollection.org/en/d/J063s/4.html>
- _____ (2008). *Lista de verificación de hospitales seguros* [Formato en pdf]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58617/hs_06.pdf
- Rautela, P., Girish, C. J., & Bhupendra, B. (2011). Seismic vulnerability of the health infrastructure in the Himalayan township of Mussoorie, Uttarakhand, India. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 2(3), 200-209. doi: 10.1108/17595901111167088
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2007). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*. Geneva, Switzerland: UNISDR.
- _____ (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030*. Geneva, Switzerland: UNISDR.
- World Health Organization. (2015). *Hospital safety index: Guide for evaluators* (2nd. ed.). Geneva, Switzerland: WHO.
- Zeballos, J. L. (1993). Effects of natural disasters on the health infrastructure: Lessons from a medical perspective. *Bulletin of the Pan American Health Organization*, 27(4), 389-396.

Análisis bayesiano de la compra de alimentos en espacios de distribución de Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Bayesian analysis of the purchase of food in distribution spaces of Ciudad Guzman, Jalisco, Mexico

Margarita Cantero-Ramírez*✉, Claudia Rocío Magaña-González**,
Alma Gabriela Martínez-Moreno*, Héctor Gabriel Acosta-Mesa***

Cantero-Ramírez, M., Magaña-González, C. R., Martínez-Moreno, A. G., & Acosta-Mesa, H. G. (2020). Análisis bayesiano de la compra de alimentos en espacios de distribución de Ciudad Guzmán, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 62-70.

RESUMEN

Con el fin de identificar y clasificar los lugares de distribución donde las personas de Ciudad Guzmán compran alimentos y por qué lo hacen, para describir cómo son las prácticas de compra de alimento, se elaboró y validó un cuestionario aplicado a 366 personas entre 25 y 64 años de las regiones sur y Lagunas de Jalisco, analizados con estadística-probabilística con un modelo de redes bayesianas. Los resultados indican que se compra con mayor frecuencia (38.26%) en tiendas de abarrotes y en el supermercado se compran más grupos de alimentos (22.62%). Las razones para elegir un establecimiento y comprar alimentos se relacionaron significativamente ($p < 0.05$) con el

Palabras clave: distribución; alimentos; compra; supermercado; tiendas de abarrotes; comportamiento alimentario.

Keywords: distribution; food; buy; supermarket; grocery stores; eating behavior.

Recibido: 10 de abril de 2019, aceptado: 19 de mayo de 2020

* Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva No. 883, Colón, Cd. Guzmán Centro, C. P. 49000, Cd. Guzmán, Jal., México. Correo electrónico: margarita.cantero.ramirez@hotmail.com; alma.martinez@cusur.udg.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8515-7864>; <http://orcid.org/0000-0002-7495-1007>

** Observatorio de la Alimentación (ODELA), Universidad de Barcelona campus del'Alimentació de Torribera. Av. Carrer de Prat dela Riba, 171, 08921, Santa Coloma de Gramenet, Barcelona, España. Correo electrónico: claudia.magana@ub.edu ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8321-7584>

*** Centro de Investigación en Inteligencia Artificial, Universidad Veracruzana. Sebastián Camacho 5, Zona Centro, C. P. 91000, Xalapa Enríquez, Veracruz, México. Correo electrónico: heacosta@uv.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0935-7642>

✉ Autor para correspondencia

género, la administración de la economía doméstica, aspectos sociales. Las compras de alimentos son diversificadas, se acude a espacios de distribución tradicional (91.09%) y distribución moderna (8.91%) ante la necesidad de alimentarse, lo cual va en contra de las tendencias registradas en grandes ciudades.

ABSTRACT

To identify and classify the distribution places where people in Ciudad Guzman buy food and why they do it, to describe how food buying practices are, it was developed, validated a questionnaire applied to 366 people between 25 and 64 years of age in the southern and Lagoon regions of Jalisco, analyzed through probabilistic statistics with a bayesian network model. The results indicate that it is purchased more frequently (38.26%) in grocery stores and in the supermarket more food groups are purchased (22.62%). The reasons for choosing an establishment and buying food were significantly ($p < 0.05$) related to gender, the administration of the domestic economy, social aspects. Food purchases are diversified, going to traditional distribution spaces (91.09%) and modern distribution (8.91%) due to the need to eat, which goes against the trends registered in large cities.

INTRODUCCIÓN

La distribución es un proceso que pone al alcance de los consumidores productos alimenticios por medio de diversos sistemas de venta; como vending, telemarketing y el tradicional en sitios web, a distancia (por teléfono o correo) o en espacios físicos (Trespalcios Gutiérrez, Vázquez Casielles, Estrada Alonso, & González Mieres, 2017). Estos últimos son los

abordados en este artículo, sobre los cuales autores como Gasca y Torres (2014) consideraron aspectos relacionados con el tamaño, uso de tecnología y ventas para clasificarlos en tradicionales (tiendas de abarrotes, tiendas especializadas, tiendas de conveniencia, tianguis y mercados) y modernos (supermercados, hipermercados y tiendas de descuento).

Los cambios en la distribución de alimentos se relacionan con el crecimiento de la industria alimentaria, una mayor producción y oferta dada la tecnificación de procesos como la producción, transformación y conservación de productos. Esto repercutió en el comportamiento alimentario, entendido como "todo aquello que hace un organismo para alimentarse" (López-Espinoza et al., 2014, p. 133); específicamente en las maneras de adquirir alimentos y se reflejó en la dualidad entre lo empresarial y lo individual, donde parece dejarse de lado las características particulares de los alimentos que permiten a los consumidores diferenciarlos y adquirirlos, al inclinarse hacia tendencias de homogenización y concentración alimentaria (Ogden, 2010).

Dicha dualidad es visible en reportes institucionales, como el de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017) que señalaron una tendencia a la concentración de la compra de alimentos en supermercados. Otros estudios proyectaron la desaparición de establecimientos de distribución tradicional (Acevedo, 2017).

En estudios previos los resultados sobre prácticas de compra de alimentos en grandes ciudades suelen generalizarse, sin considerar que las características sociales y económicas son distintas en cada una. Los métodos parten de una perspectiva, donde se han utilizado etnografías y entrevistas a profundidad para abordar las representaciones de los espacios (Duhau & Giglia, 2007), revisiones documentales y análisis espacial para conocer la distribución geográfica de las tiendas en territorios específicos (Alcocer García & Campos Alanís, 2014).

El objetivo de este texto fue identificar los lugares donde las personas de una ciudad media compran alimentos, algunas de las razones por las que lo hacen, conocer si se procuran las tendencias de homogeneización y concentración alimentaria para describir cómo son las prácticas de compra de alimentos en una ciudad media de Jalisco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar de estudio fue Ciudad Guzmán, cabecera municipal de Zapotlán el Grande, localizado en

la región sur del estado de Jalisco, en México, reconocida como ciudad media y polo regional de comercio, cuyas principales actividades económicas pertenecen al sector terciario de comercio y servicios (Macías Macías & Sevilla García, 2014).

El tipo de estudio fue estadístico-probabilístico de metodología mixta con análisis de redes bayesianas. Para la muestra se consideró como universo a la población de las regiones sur y lagunas de Jalisco entre 25 y 64 años. Los criterios de inclusión, además de vivir en alguna de las dos regiones y tener dicho rango de edad, fueron que los participantes compraran alimentos en supermercados de Ciudad Guzmán y desearan participar. Se calculó la muestra en 380 participantes a través de la fórmula de proporciones poblacionales que se describe a continuación:

$$n = \frac{z^2(p*q)}{e^2 + (z^2(p*q)|N)}$$

n= Tamaño de la muestra

z= Nivel de confianza

p= Proporción de la población con la característica deseada (éxito)

q= Proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)

e= Nivel de error

N= Tamaño de la población

Para la recolección de datos se consultó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENEUE) (INEGI, 2016a) y el Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC) (INEGI, 2016b) para contabilizar y clasificar los espacios de distribución de comestibles. Se empleó una metodología mixta para construir y validar el cuestionario utilizado, se recuperaron testimonios de algunos participantes. La validación del cuestionario fue a través del método de juicio de expertos en la modalidad de agregados individuales, donde se obtuvo el Índice de Validación del Juicio de Expertos (IVJE) promedio de 84.67% y el Alfa de Cronbach en 0.965 con ambos indicadores se consideró validado (Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez, 2008; George & Mallery, 2003).

El trabajo de campo se realizó de agosto a septiembre de 2017 en espacios públicos como parques y calles de la ciudad, se utilizó la técnica cualitativa de muestreo *bola de nieve*, en la cual el participante recomienda a un conocido que considera interesado en participar (Martínez-Salgado, 2012). La base de datos se realizó a través de Google Formularios y el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 23.

En total se llenaron 385 cuestionarios y al aplicar el análisis estadístico se invalidaron 19 por no cumplir con el criterio de inclusión de rango de edad; es

decir, las personas que respondieron no se encontraban entre 25 y 64 años, y quedaron 366 cuestionarios válidos. El ambiente de análisis de conocimiento fue con Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) versión 3.8. La relación entre variables fue explorada utilizando la técnica de redes probabilistas bayesianas, entendidas como modelos gráficos dinámicos que ayudan a clasificar, predecir y diagnosticar (Sucar, 2015), las cuales se visualizaron en el programa Sensitivity, Analysis, Modeling, Inference and More (SAMIAM) versión 3.0.

Las redes bayesianas están integradas por nodos (círculos) que representan las variables aleatorias de interés acompañadas de rectángulos con las respuestas posibles; los arcos (flechas) representan las relaciones probabilísticas entre las variables.

Para complementar las tendencias mostradas en las redes bayesianas se recuperaron testimonios para lograr una descripción cualitativa que permitiera identificar características específicas en la muestra.

RESULTADOS

Descripción sociodemográfica de la muestra

La mayoría de los participantes (tabla 1) fueron mujeres (65%), entre 25 y 29 años de edad (27.05%), casadas (50.27%), empleadas (44.54%) y con nivel de estudios superior (licenciatura o posgrado terminado, 36.61%) que perciben un ingreso semanal entre 1 y 1703 pesos mexicanos (51.54%) y viven en la región sur de Jalisco (95.36%).

Tabla 1
Características sociodemográficas de la muestra

Variables sociodemográficas	Participantes	
	Frecuencia	Porcentaje
Sexo		
Femenino	238	65
Masculino	128	35
Edad		
De 25 a 29 años	99	27.05
De 30 a 34 años	47	12.84
De 35 a 39 años	44	12.02
De 40 a 44 años	57	15.57
De 45 a 49 años	41	11.2
De 50 a 54 años	30	8.2
De 55 a 59 años	20	5.46
De 60 a 64 años	28	7.65
Estado civil		
Casada (o)	184	50.27
No casada (o)	182	49.73
Ocupación		
Empleado	163	44.54
Independiente	67	18.31
Jubilado	10	2.73
Sin pago	126	34.43
Nivel de estudios		
Sin estudio	12	3.28
Básico	90	24.59
Medio	130	35.52
Superior	134	36.61
Rango de ingreso semanal		
Sin ingreso	1	0.27
De 1 a 1703 pesos	189	51.64
De 1704 a 4782 pesos	162	44.26
Más de 4783 pesos	14	3.83
Región		
Lagunas	17	4.64
Sur	349	95.36

Nota: Elaboración propia.

Tipo de distribución. En los últimos 14 años en Ciudad Guzmán se incrementó la cantidad de espacios de comercio de alimentos. En 2004 el SAIC contabilizó 1,072 espacios, sin considerar los de alimentos preparados, como fondas o restaurantes, ni establecimientos informales; mientras que en 2016 el DENU reportó la existencia de 1,232 de estos espacios, en el periodo consultado (2004-2016) predominó la distribución tradicional (tabla 2).

Tabla 2
Clasificación de espacios por tipo de distribución

Tipo de distribución	Cantidad de establecimientos por año			
	2004	2009	2014	2016
Moderna	6	4	8	9
Tradicional	1021	1105	1160	1223
Total	1072	1109	1168	1232

Nota: Elaboración propia a partir de INEGI (2016 a y b).

En 2017 los principales espacios de distribución en Ciudad Guzmán se clasificaron en seis tipos: (1) el tianguis, nombre local para referirse a lo que en otros lugares se conoce como central de abastos de alimentos; (2) el mercado municipal localizado en el centro de la ciudad; (3) tiendas de abarrotes, conocidas como *tienditas* o *tiendas de la esquina*; (4) supermercados, ubicados en la periferia de la ciu-

dad; (5) tiendas especializadas, aquellas que limitan su oferta a productos específicos, entre ellas carnicerías, panaderías, tortillerías y fruterías; finalmente (6) tiendas de conveniencia o de autoservicio con horario de 24 h los siete días de la semana (Alcocer García & Campos Alanís, 2014; Castolo, 2012).

Grupos de alimentos comprados

A partir de lo que las personas reconocen y cómo clasifican los alimentos se elaboró un listado de 21 grupos (figura 1). Esta clasificación local propuesta por los participantes coincide en las categorías de frutas, verduras, cereales y leguminosas (tabla 3) de las clasificaciones oficiales de grupos de alimentos de la Norma oficial mexicana NOM-043-SSA2-2005 y el sistema mexicano de alimentos equivalentes (Pérez Lizaur, Palacios González, & Castro Becerra, 2014).

La figura 2 muestra la tendencia de las características sociodemográficas en la compra de los grupos de comestibles en los espacios de distribución, donde el ingreso fue la principal variable a considerar antes de elegir el grupo de alimento y el espacio en el cual comprar.

Para esta muestra contar con un ingreso en el hogar entre 1 y 1,703 pesos mexicanos (52.71%) indica que las frutas será el grupo de alimentos más comprado (7.01%) por personas empleadas (44.52%), en su mayoría mujeres (63.46%) con educación media (37.73%), entre 25 y 29 años de edad (18.36%) que no son casadas (50.67%) y acuden al supermercado

Tabla 3
Clasificaciones de los alimentos por grupo

Fuente	Grupos de alimentos
Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005	1. Verduras y frutas 2. Cereales y tubérculos 3. Leguminosas y alimentos de origen animal
Sistema mexicano de equivalentes	1. Verduras 2. Frutas 3. Cereales y tubérculos 4. Leguminosas 5. Alimentos de origen animal 6. Leche 7. Aceites y grasas 8. Azúcares 9. Alimentos libres de energía 10. Bebidas alcohólicas
Clasificación local de los alimentos	1. Verduras 2. Frutas 3. Cereales 4. Leguminosas 5. Tortillas 6. Lácteos 7. Carne 8. Mariscos 9. Embutidos 10. Repostería 11. Empaquetados 12. Botanas 13. Chatarra 14. Congelados 15. Dulces 16. Bebidas 17. Bebidas alcohólicas 18. Abarrotes 19. Preparados 20. Condimentos 21. Enlatados

Nota: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Salud (2006) y de Pérez Lizaur, Palacios González y Castro Becerra (2014).

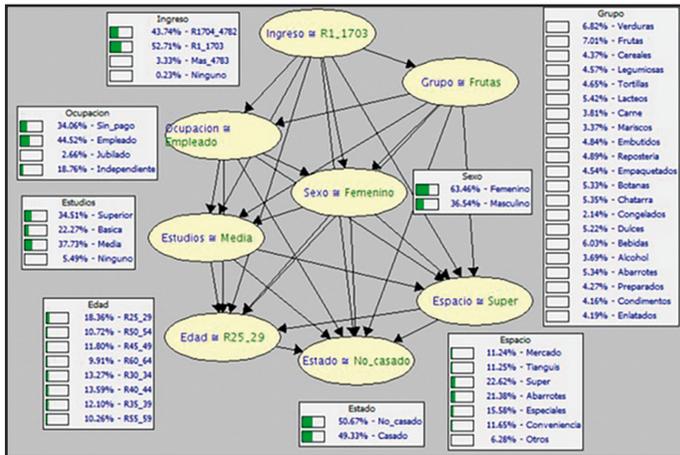


Figura 1. Tendencia de las características sociodemográficas por grupo y espacio. La edad se expresa en rangos de años y el ingreso en rangos de pesos. Se consideró chatarra a alimentos altos en azúcares y grasas como galletas y papitas comerciales. La categoría "otros" alude a fondas o restaurantes, establecimientos informales y ambulantes. Elaboración propia.

(22.62%) a comprar en promedio cinco grupos de alimentos, los principales son frutas (7.01%), verduras (6.82%), bebidas (6.03%), lácteos (5.42%) y chatarra (5.35%). Se utilizó la prueba de chi cuadrada (χ^2) para identificar la diferencia estadísticamente significativa entre las variables y se obtuvo un valor de p de 0.000 entre el espacio de compra con el sexo, la edad, el estado civil, la ocupación, el nivel de estudios y el rango de ingreso de los participantes.

Al hacer el análisis por espacios de distribución de alimentos se encontró que en el mercado y tianguis predomina la compra de frutas y verduras; en el supermercado los enlatados y empaquetados; en tienda de abarrotes bebidas no alcohólicas y abarrotes en general, que de acuerdo con la Real Academia Española (RAE, 2014) son productos de consumo cotidiano de venta en pequeñas cantidades como cereales, leguminosas, embutidos, entre otros; en tiendas especializadas carne y mariscos; en tiendas de conveniencia bebidas no alcohólicas y chatarra; en otros espacios predomina la adquisición de alimentos preparados y botanas.

En relación con la frecuencia de compra (figura 3), las tiendas de abarrotes son el espacio al cual acuden en su mayoría mujeres (64.29%) en un rango de edad entre 25 y 29 (26.16%) casadas (50.61%) y con estudios de educación media (35.72%), empleadas (43.61%) con un ingreso semanal en el hogar entre 1 y 1,703 pesos (37.74%).

Razones de compra de alimentos. Ante la pregunta: ¿Por qué compran alimentos para su hogar? se obtuvo

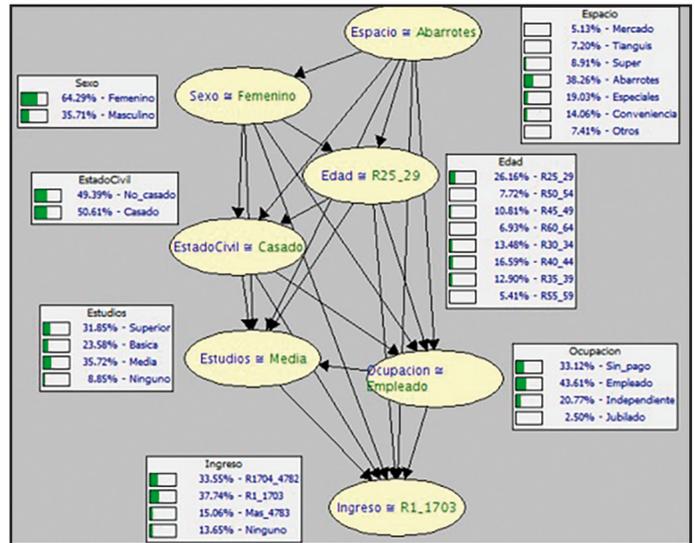


Figura 2. Tendencia de frecuencia de compra por espacio de distribución y características sociodemográficas de la muestra. La edad se expresa en rangos de años y el ingreso en rangos de pesos. Elaboración propia.

un listado de 417 razones por las cuales sí compran alimentos y 64 por las que no, las cuales se agruparon en categorías por género. Se trató de una pregunta no obligatoria, por lo cual no todos los participantes la respondieron, mientras otros mencionaron más de una razón. En la tabla 4 se observa que los hombres refirieron nueve razones por las que compran alimentos, entre ellas por obligación (14.73%) y necesidad (13%), las cuales coinciden con lo señalado por las mujeres (38% y 16.55% respectivamente), solo que ellas tienen además la categoría autonomía (23.63%).

En general los participantes refirieron comprar alimentos por obligación (154, 52.74%) y necesidad (107, 36.64%). Es decir, porque viven solos o porque otro miembro del hogar, principalmente la esposa o mamá, los obliga. Las principales razones para no hacerlo son porque otra persona lo hace (47, 27.33%) refiriéndose a otro miembro del hogar y porque no pueden (15, 8.72%) lo cual atribuyen a cuestiones de trabajo. También se identificaron otras fuentes (1, 0.34%) para obtener comestibles como regalos o la siembra de traspatio.

La experiencia fue entendida como el tiempo en años de residencia en el municipio, la cantidad de personas para las cuales se compra y cocina en el hogar y la cantidad de años que el participante se desempeñó como responsable de la compra. Las experiencias previas sobre dichos aspectos influyen en las prácticas de compra, la elección de los alimentos, así como en el espacio y frecuencia de compra y, por tanto, en su comportamiento alimen-

Tabla 4
Razones para comprar alimentos

Compra alimentos para el hogar	Razones por categorías	
	Mujeres	Hombres
Sí	Obligación (111): "Es mi obligación porque soy la mamá."	Obligación (43): "Me obliga mi esposa."
	Necesidad (69): "Soy sola y tengo que preparar mis comidas para la semana."	Necesidad (38): "Porque vivo solo."
	Organización del hogar (36): "Nos dividimos las tareas del hogar."	Acompañar (19): "Cuando acompaño a mi esposa."
	Gusto (24): "Me gusta."	Organización del hogar (13): "Dividimos los quehaceres por semana y nos turnamos."
	Administrar (23): "No gastar tanto y yo sé qué hace falta."	Conveniencia (5): "Cuando me queda de paso o tengo ganas de algo."
	Voluntad (9): "Cuando tengo días de descanso o los fines de semana que no trabajo."	Voluntad (5): "Cuando tengo tiempo."
	Tranquilidad (5): "Bienestar familiar al saber que estamos comiendo."	Administrar (4): "Controlar lo que se gasta en comida."
	Acompañar (4): "Voy con quien realizará las compras."	Gusto (4): "Me gusta."
	Conveniencia (3): "También realizo las compras para mi restaurante."	Tranquilidad (1): "Alimento a mi familia."
	Autonomía (1): "Puedo hacerlo."	
No	Otra persona lo hace (18): "Mamá lo hace."	Otra persona lo hace (29): "Lo compra otra persona de la familia."
	No puede (6): "Por el trabajo es que no tengo tiempo."	No puede (9): "Por el trabajo es que no tengo tiempo."
	Otras fuentes (1): "A mi esposo le regalan cosas en su trabajo y ya no compramos algunas cosas."	Inexperiencia (1): "Nunca sé qué comprar."

Nota: Los números entre paréntesis indican la frecuencia de cada categoría. Elaboración propia.

tario (Vega-Macedo, Shamah-Levy, Peinador-Roldán, Méndez-Gómez Humarán, & Melgar Quiñonez, 2014).

En la muestra la tendencia respecto a la experiencia (figura 4) señala que la compra y preparación suele ser para cuatro personas (22.84%), las adquisiciones se realizan en tiendas de abarrotes (38.22%) en su mayoría por mujeres (64.19%) que tienen entre 15 y 29 años (35.66%) que siempre han residido en su municipio de procedencia (41.48%). Al respecto, Ward et al. (2012) coincidieron en que es la mujer quien se encarga en el hogar de compra y preparación; por su parte, Duhau & Giglia (2007) señalaron que la mayor compra de alimentos se realiza en microcomercios, entre los que se encuentran las tiendas de abarrotes, mientras que Gasca & Torres (2014), así como Koch (2012) difieren con este tipo de resultados al señalar que dadas las tendencias globales hacia la hiperconcentración de compras de comestibles, en su mayoría se realizan en supermercados.

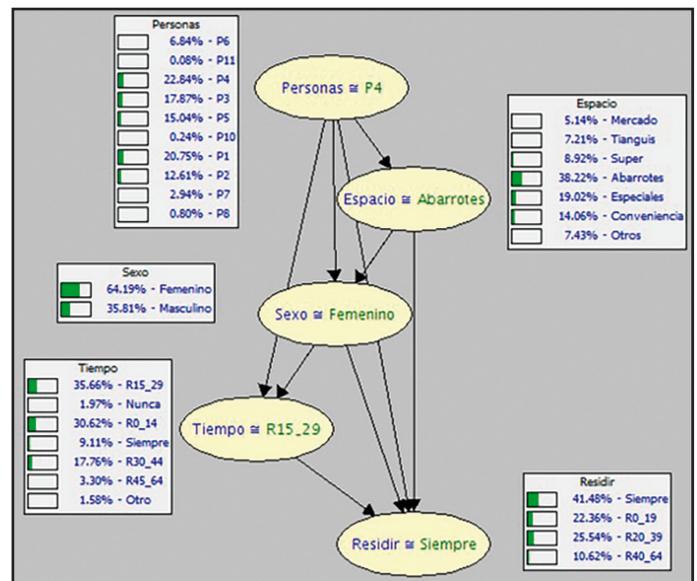


Figura 3. Tendencia de los aspectos de experiencia por espacio de distribución y sexo. Elaboración propia.

La variable *personas* indica la cantidad de ellas para las cuales se compra y cocina alimentos en el hogar, la variable *tiempo* alude a rangos de años que tienen los participantes realizando la compra de alimentos y la variable *residir* está integrada por rangos de años que tiene el participante de vivir en su municipio de procedencia. La variable *organización del hogar* consideró actividades específicas como el cuidado de los hijos en caso de tenerlos, las tareas domésticas, la compra y preparación de alimentos, con quién se realiza la compra y si hace lista de compra, con la finalidad de conocer si dichos aspectos influyen y de qué manera en las prácticas de compra de comestibles en los diferentes espacios de distribución de Ciudad Guzmán. Los resultados revelan una tendencia en la muestra (figura 5) a realizar una lista (59.34%) de lo que se va a comprar cuando acuden a tiendas de abarrotes (38.25%) en compañía de familiares (43.89%), esto cuando el participante es responsable de cuidar a sus hijos (46.86%), de comprar (61.27%) y cocinar (69.19%) alimentos además de realizar el quehacer del hogar (64.96%), quienes realizan estas actividades en su mayoría son mujeres (63.73%).

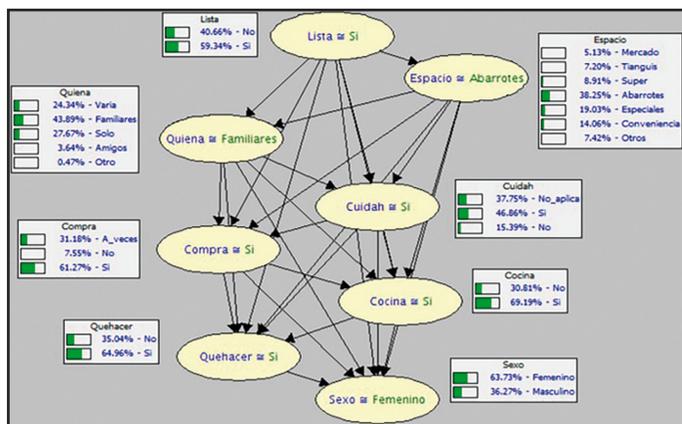


Figura 4. Aspectos de organización del hogar por sexo y lugar de compra de alimentos. Quiéna= Quien acompaña a comprar, Cuidah= Cuida a los hijos. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La compra de una variedad de alimentos en los supermercados coincidió con lo reportado por Carrete & Rosas (2010). Sobre las características sociodemográficas, Ward et al. (2012) afirmó que al conocer el sexo, edad, nivel de educación e ingresos, estado civil y ocupación, se podría predecir lo que

la persona compra y el lugar en que lo hace. Sin embargo, en este estudio se considera que dicha información es insuficiente para realizar predicciones.

Los participantes reportaron acudir a los seis espacios mencionados, contrario a lo señalado por Gasca & Torres (2014), quienes refirieron que las compras se concentran en espacios de la distribución moderna, sobre todo en supermercados. En la literatura las principales razones reconocidas por las cuales las personas compran alimentos, además del hambre, es por cuidar su salud y por necesidad (Koch, 2012). Los resultados en esta muestra coincidieron en que la compra se hace por necesidad y difiere de dichos estudios en que los participantes expresaron que compran por autonomía; es decir, porque pueden hacerlo y es una manera de sentirse independientes.

En relación con la experiencia, los resultados coincidieron con los reportados por Osorio y Londoño Roldán (2015), quienes señalaron que las experiencias están basadas en el aprendizaje y se repiten a lo largo de la vida; es decir, que se esperaba que la persona acuda a los mismos lugares o aquellos que sean similares a los que acudía en su niñez.

CONCLUSIONES

Con base en el análisis estadístico-probabilístico apoyado en modelos de redes bayesianas se concluye que conocer características sociodemográficas de la muestra no es suficiente para predecir el comportamiento de compra en relación con dónde se acudirá y qué se comprará. Los resultados obtenidos permitieron identificar los cambios en el tipo de distribución de comestibles en Ciudad Guzmán a partir de la llegada de los supermercados y la manera en que las personas realizan sus compras en ellos, sin dejar de acudir a los establecimientos tradicionales (figura 5).

Se encontró que 91.09% de las compras se realizaron en espacios de la distribución tradicional (mercado, tianguis, abarrotes, tiendas especializadas, de conveniencia y otros espacios), pero también se acude a los supermercados (8.91%); es decir, que la compra de alimentos por parte de la muestra es diversificada. Esto podría atribuirse a las características propias de la población y de la ciudad, que en conjunto han mantenido prácticas que parecieran ir en contra de las tendencias de homogeneización y concentración alimentaria reportadas en las grandes ciudades, las cuales se pensaba estarían presentes en todo tipo de ciudad. La principal razón



Figura 5. Tienda de abarrotes de Ciudad Guzmán.
Fotografía del equipo de investigación.

que expresaron hombres y mujeres para comprar fue por la necesidad de alimentarse. También se identificó que para los participantes en Ciudad Guzmán solo existen tres supermercados, mientras que el DENUE (INEGI, 2016a) refiere que son nueve.

Futuros estudios podrían abordar los criterios de estas clasificaciones desde las dos perspectivas señaladas; es decir, desde el punto de vista de las instituciones y de la población. Estas diferencias en

los sistemas de clasificación oficial y local permiten plantear la necesidad de abordar estudios a través de técnicas cualitativas que recuperen la visión de la población para identificar cómo se reconocen e interactúan en su contexto. Las razones que considera la persona para elegir los comestibles y el lugar de compra se relacionan con aspectos de experiencia y organización del hogar, entre los que sobresale la cantidad de personas que viven en el hogar, los años que tiene de ser responsable de la compra y/o la preparación de los mismos.

Este trabajo evidencia cómo espacios de la llamada distribución tradicional, específicamente el tianguis y el mercado municipal, se están adaptando al introducir tecnología relacionada con el uso de tarjetas de crédito y débito como forma de pago. Además, abre un campo de investigación en el que será necesario incluir nuevas herramientas metodológicas que crucen información cualitativa y cuantitativa para comprender las tendencias particulares y generales de los comportamientos alimentarios y abonen al desarrollo de políticas públicas mucho más localizadas y acordes a las transformaciones sociales y económicas que se viven en las regiones.

REFERENCIAS

- Acevedo, C. (2017). Las tiendas de barrio desde la economía institucional. *IJMSOR International Journal of Management Science & Operations Research*, 2(1), 30-37. Recuperado de <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/85>
- Alcocer García, O., & Campos Alanís, J. (2014). El formato de tiendas de conveniencia como medio de proximidad de servicios y abastecimiento en áreas urbanas. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 16(2), 63-84. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/401/40136960004/>
- Carrete Lucero, L. & Rosas Ferrer, J. A. (2010). Propuesta preliminar de una escala de satisfacción para clientes mexicanos de supermercado. *Pecvnía* (monográfico), 2010, 5-23. Recuperado de <http://revpubli.unileon.es/index.php/Pecvnía/article/viewFile/761/674>
- Castolo, F. G. (2012). *Censos comercial e industrial en Ciudad Guzmán 1900-1949*. México: Archivo Histórico Municipal de Zapotlán el Grande.
- Duhau, E., & Giglia, A. (2007). Nuevas centralidades y prácticas de consumo en la Ciudad de México: Del microcomercio al hipermercado. *EURE (Santiago)*, 33(98), 77-95. doi: 10.4067/S0250-71612007000100005
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6, 27-36. Recuperado de http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf
- Gasca, J., & Torres, F. (2014). El control corporativo de la distribución de alimentos en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 45(176), 133-155. doi: 10.1016/S0301-7036(14)70853-3
- George, D., & Mallery, P. (2003). *Spss for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update*. Boston: Allyn & Bacon.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *Directorio estadístico nacional de unidades económicas [Mapa]*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- _____ (2016). *Sistema automatizado de información censal [Base de datos]*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- Koch, S. L. (2012). *A theory of grocery shopping: Food, choice and conflict*. United Kingdom: Berg Publishers.

- López-Espinoza, A., Martínez-Moreno, A. G., Aguilera-Cervantes, V. G., López-Uriarte, P. J., Ezzahara-Housni, F., Ruelas-Castillo, M. G., & Vázquez-Cisneros, L. C. (2014). El hábito de comer. En A. López-Espinoza & C. R. Magaña González (Eds.), *Hábitos alimentarios. Psicobiología y sociantropología de la alimentación* (pp. 129-137). México: McGraw-Hill.
- Macías Macías, A. & Sevilla García, L. (2014). El papel de los pequeños productores en la agricultura y alimentación. En A. Macías Macías y L. Sevilla García (Eds.), *La experiencia desde tres regiones agrícolas en México* (pp. 43-92). México: Plaza y Valdés.
- Martínez-Salgado, C. (2012). El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3), 613-619. doi: 10.1590/S1413-81232012000300006
- Ogden, J. (2010). *The psychology of eating. From healthy to disordered behavior* (2nd. ed.). United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (3 de marzo de 2017). *Crecimiento económico y poblacional ha generado cambios profundos en los sistemas alimentarios de América Latina y el Caribe* [Resumen de informe]. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/472735/>
- Osorio, F. F., & Londoño Roldán, J. C. (2015). Intención emprendedora de estudiantes de educación media: Extendiendo la teoría de comportamiento planificado mediante el efecto exposición. *Cuadernos de Administración*, 28(51), 103-131. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/205/20543851004.pdf>
- Pérez Lizaur, A. B., Palacios González, B., Castro Becerra, A. L., & Flores Galicia, I. (2014). *Sistema mexicano de alimentos equivalentes*. México: Ogalí-Fomento de Nutrición y Salud, A. C.
- Real Academia Española. (2014). *Abarrote. Diccionario de la lengua española* (23ª. ed.). Madrid: Autor. Recuperado de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=abarrote>
- Secretaría de Salud. (23 de enero de 2006). Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005. Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. *Diario Oficial de la Federación*, Primera Sección, 32-49. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/043ssa205.pdf>
- Sucar, L. E. (2015). *Probabilistic graphical models*. London: Springer-Verlag London.
- Trespalacios Gutiérrez, J. A., Vázquez Casielles, R., Estrada Alonso, E., & González Mieres, C. (2017). *Marketing Insights: la respuesta del comercio a las tendencias de comportamiento social del consumidor*. Oviedo, España: KRK.
- Vega-Macedo, M., Shamah-Levy, T., Peinador-Roldán, Méndez-Gómez Humarán, I., & Melgar-Quiñonez, H. (2014). Inseguridad alimentaria y variedad de la alimentación en hogares mexicanos con niños menores de cinco años. *Salud Pública de México*, 56(suplemento 1), S21-S30. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000700005
- Ward, P. R., Mamerow, L., Henderson, J., Taylor, A. W., Meyer, S. B., & Coveney, J. (2012). The social determinants of food purchasing practices: Who chooses price-before-health, taste-before-price or organic foods in Australia? *Food and Nutrition Sciences*, 3, 461-470. doi: 10.4236/fns.2012.34066

Factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña en Loma Bonita, Oaxaca, México

Socioeconomic factors and level of technological adoption in pineapple production units in Loma Bonita, Oaxaca, Mexico

César Julio Martínez-Castro*✉, Ana Rosa Ramírez-Seañez*, José Antonio Marina-Clemente**

Martínez-Castro, C. J., Ramírez-Seañez, A. R., & Marina-Clemente, J. A. (2020). Factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña en Loma Bonita, Oaxaca, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 71-79.

RESUMEN

Este trabajo analiza la relación entre los factores socioeconómicos: edad, nivel educativo, experiencia, disponibilidad de recursos económicos, tamaño de la finca y frecuencia de visita a la finca, respecto al nivel de adopción tecnológica de las unidades de producción de piña en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México. Esta investigación es cuantitativa, transversal y exploratoria. La selección de la muestra fue no probabilística. Se aplicó una encuesta a 70 productores de piña. Se emplearon correlaciones bivariadas de Pearson. Los resultados muestran que los factores que se asociaron positiva y significativamente con el nivel de adopción tecnológica fueron: la experiencia, la disponibilidad de recursos económicos y tamaño de la finca. Se concluye que los productores más experimentados y con mayor superficie sembrada de piña pueden

Palabras clave: edad; escolaridad; correlación; innovación; superficie.

Keywords: age; scholarship; correlation; innovation; surface.

Recibido: 29 de agosto de 2019, aceptado: 5 de marzo de 2020

* Ingeniería Agrícola Tropical, Instituto de Agroingeniería, Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita. Av. Ferrocarril s/n Ciudad Universitaria, C. P. 68400, Loma Bonita, Oaxaca, México. Correo electrónico: c_julios4@hotmail.com; ana_ramirez04@hotmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7755-0233>; <http://orcid.org/0000-0002-7499-4541>

** Ingeniería en Acuicultura, Instituto de Agroingeniería, Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita. Av. Ferrocarril s/n Ciudad Universitaria, C. P. 68400, Loma Bonita, Oaxaca, México. Correo electrónico: joanmarina@hotmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6874-583X>

✉ Autor para correspondencia

asumir riesgos para aumentar de manera paulatina su producción y con ello incrementar la disponibilidad de recursos económicos necesarios para realizar nuevas y mayores inversiones en los diversos tipos de tecnologías disponibles para el cultivo.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the relationship between socioeconomic factors: age, education level, experience, economics resources availability, farm size and the frequency of visits by growers to their farms, regarding the technological adoption level of the pineapple production units in the municipality of Loma Bonita, Oaxaca, Mexico. This research is quantitative, transversal and exploratory. The selection was made by non-probability sampling. A survey was applied to 70 pineapple growers. Pearson's bivariate co-relations were used. The results show that the factors that were positively and significantly associated with technological adoption level were: experience, economics resources availability and farm size. It is concluded that the most experienced growers with the largest planted area of pineapple can take risks to gradually increase their production and thereby increase the availability of economic resources necessary, to make new and greater investments in the various types of technologies available for crop cultivation.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas recurrentes en el campo mexicano es la asimetría que existe entre los niveles tecnológicos de las unidades de producción agrícola en los diferentes espacios geográficos (local, municipal, regional, etc.). Aunque los costos de producción de

los cultivos suelen ser más elevados para los grandes productores, muchas veces estos son compensados con el incremento de los rendimientos, reducción del costo unitario, mejor calidad del producto y mayor ganancia (Molina & Álvarez, 2009; Vélez, Espinosa, Omaña, González, & Quiroz, 2013); mientras que los pequeños productores buscan disminuir sus costos, evitando desembolsos en adquisición de semillas, pago de mano de obra y otras actividades que pueden realizar ellos y/o con ayuda de familiares. A nivel macroeconómico la adopción o innovación tecnológica contribuye a mejorar el crecimiento y desarrollo del sector agropecuario (Vargas Canales, Palacios Rangel, Camacho Vera, Aguilar Ávila, & Ocampo Ledesma, 2015). Por el contrario, los bajos niveles de adopción tecnológica en las unidades de producción agrícola se consideran una de las causas de los ineficientes niveles productivos y competitivos, por lo que se hace necesario indagar sobre los factores que influyen en la adopción (Aguilar Gallegos, Muñoz Rodríguez, Santoyo Cortés, & Aguilar Ávila, 2013).

En el municipio de Loma Bonita, Oaxaca, la actividad agrícola depende en gran medida de la producción de piña; es el principal municipio productor en esta entidad y cuarto a nivel nacional, con un volumen de producción durante 2018 superior a 101 mil 216 t (SIAP, 2019), por lo que su impacto económico y social es de vital importancia. En este lugar existen diferencias tecnológicas entre las unidades de producción que se pueden percibir a simple vista, aunque se carece de investigaciones que permitan identificar los factores asociados a los mayores niveles de adopción tecnológica, por lo que este estudio pretende contribuir a llenar este vacío en la literatura académica.

De acuerdo con diferentes autores, en el sector agropecuario el proceso de adopción tecnológica es complejo, existe una larga lista de factores de tipo socioeconómico, cultural, biofísico, tecnológico, institucional, entre otros, que inciden para que un productor utilice determinados componentes tecnológicos dentro de las unidades de producción y alcance un nivel tecnológico diferente al de otro productor de su localidad (CIMMYT, 1993; Mwangi & Kariuki, 2015; Rojas Gaviria, 1998; Velasco-Fuenmayor, Ortega-Soto, Sánchez-Camarillo, & Urdaneta, 2009; Vélez et al., 2013).

Según los argumentos expuestos, se plantea la pregunta que guía la presente investigación: ¿Qué factores socioeconómicos se relacionan positivamente con el nivel de adopción tecnológica de las unidades de producción de piña en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca? Mientras que el objetivo

fue analizar la relación de estos factores con respecto al nivel de adopción tecnológica de las unidades de producción de piña en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca.

Estudios teóricos y empíricos en México (Bernardino Hernández et al., 2016; García-Salazar, Borja-Bravo, & Rodríguez-Licea, 2018; Juárez-Morales et al., 2017; López-Fuentes, Ortiz-Torres, Carranza-Cerda, Argumedo-Macías, & Rueda-Luna, 2017; Mercado Escamilla, Ayala Garay, Flores Trejo, Oble Vergara, & Almaguer Vargas, 2019) y otras partes del mundo (Melesse, 2018; Velasco-Fuenmayor et al., 2009) señalan la existencia de una relación entre los factores socioeconómicos como edad del productor, nivel escolar, experiencia, disponibilidad de recursos económicos, tamaño de la finca y frecuencia de visita del productor a la finca, con el nivel de adopción tecnológica de las unidades de producción agropecuarias. Dichas investigaciones reportan que los productores de menor edad tienden a incorporar con mayor facilidad tecnologías agrícolas; por tanto, alcanzan mayores niveles tecnológicos en sus unidades de producción (CIMMYT, 1993; Rojas Gaviria, 1998), o bien, conforme los productores se hacen más longevos disminuye la probabilidad de adopción tecnológica (Aguilar Gallegos et al., 2013; Mishra, Upadhyay, & Upadhyay, 2018; Tudela, 2007). En cuanto al nivel escolar, se espera que mayores niveles de escolaridad se asocien con mayores tasas de adopción, debido a que el nivel educativo puede hacer que el agricultor sea más receptivo a los consejos de los extensionistas o tener mayor capacidad para aplicar las recomendaciones técnicas para el uso de tecnologías complejas que requieren cierto grado de instrucción (Aguilar Gallegos et al., 2013; CIMMYT, 1993; Hernández Morales et al., 2013; Rojas Gaviria, 1998; Tudela, 2007; Velasco-Fuenmayor et al., 2009).

Existen evidencias de que la experiencia se asocia positivamente con el nivel de adopción tecnológica; es decir, que cuantos más años tenga el productor realizando cierta actividad agrícola es más probable que ensaye nuevas tecnologías (Aguilar Gallegos et al., 2013; CIMMYT, 1993; Sánchez-Toledano, Zegbe, Espinoza-Arellano, & Rumayor-Rodríguez, 2017; Vargas-Canales et al., 2015; Vicini, 2000). De igual manera, las investigaciones indican que la disponibilidad de recursos económicos está asociada con altos niveles de adopción de tecnologías, ya que los productores con mayores recursos económicos tienden a incorporarlas en mayor cantidad, sobre todo si estas requieren inversiones elevadas (Olumba & Rahji, 2014; Rojas Gaviria, 1998).

En relación con el tamaño de la finca, se supone que es más probable que los agricultores a mayor escala adopten cierto tipo de tecnologías, particularmente cuando la innovación requiere un tamaño mínimo de superficie para que sea rentable invertir (Aguilar Gallegos et al., 2013; CIMMYT, 1993; Cuevas Reyes et al., 2013; Mwangi & Kariuki, 2015; Olumba & Rahji, 2014; Roco Fuentes, Engler Palma, & Jara-Rojas, 2012; Rojas Gaviria, 1998; Tudela, 2007; Velasco-Fuenmayor et al., 2009). Finalmente, algunos investigadores establecen que cuando el productor visita con mayor frecuencia su finca, es probable que identifique necesidades del cultivo que se van presentando a lo largo del ciclo productivo, haciendo que sean más susceptibles a la adopción tecnológica (Velasco-Fuenmayor et al., 2009).

Según los antecedentes antes señalados, se plantean seis hipótesis de trabajo en relación con las unidades de producción de piña del municipio de Loma Bonita, Oaxaca:

- H1: La edad se relaciona directa e inversamente con el nivel de adopción tecnológica.
- H2: El nivel educativo se relaciona directa y positivamente con el nivel de adopción tecnológica.
- H3: La experiencia se relaciona directa y positivamente con el nivel de adopción tecnológica.
- H4: La disponibilidad de recursos económicos se relaciona directa y positivamente con el nivel de adopción tecnológica.
- H5: El tamaño de la finca se relaciona directa y positivamente con el nivel de adopción tecnológica.
- H6: La frecuencia de visita a la finca se relaciona directa y positivamente con el nivel de adopción tecnológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Loma Bonita, localizado al norte del estado de Oaxaca, México, entre las coordenadas geográficas extremas: al norte 18° 10' y al sur 17° 46' de latitud; al este 95° 47' y al oeste 95° 59' de longitud, a 30 m s. n. m. (H. Ayuntamiento de Loma Bonita, Oaxaca, 2008).

Como técnica de recolección de datos se utilizó la encuesta, aplicada de manera directa a 70 productores de piña del municipio de Loma Bonita, Oaxaca, durante el periodo comprendido desde diciembre de 2016 hasta abril de 2017. Dicha encuesta quedó integrada por los factores socioeconómicos: a) edad del productor, b) escolaridad, c) experiencia, d) disponibilidad de recursos económicos, e) tamaño de la finca, f) frecuencia de visita a la finca. Para medir el nivel de adopción tec-

nológica en el instrumento de medición también se incluyeron 40 preguntas relacionadas con los componentes tecnológicos: a) contratación de servicios (cuatro ítems), b) sistema y densidad de siembra (dos ítems), c) tecnificación de actividades (11 ítems), d) siembra de la variedad MD2 o piña miel (un ítem), e) cantidad de actividades mecánicas para preparar el terreno (seis ítems), f) disponibilidad de maquinaria y equipo (10 ítems), g) cantidad de aplicación de agroquímicos (seis ítems).

El método de selección fue no probabilístico por conveniencia, incluyéndose a aquellos productores que en el momento de aplicar el cuestionario contaban con alguna superficie sembrada de piña y que aceptaron ser encuestados e incluidos en el estudio (Otzen & Manterola, 2017). En este sentido, los resultados y conclusiones no se pueden generalizar y sólo son aplicables específicamente para esta muestra.

En cuanto a las variables, los factores socioeconómicos se midieron tomando en cuenta algunas investigaciones relacionadas con la temática (Mwangi & Kariuki, 2015; Olumba & Rahji, 2014; Velasco-Fuenmayor et al., 2009; Vélez et al., 2013): *edad* (años del productor), *nivel educativo* (años de escolaridad), *experiencia de los productores* (años dedicados a la actividad), *disponibilidad de recursos económicos* (ingresos), *tamaño de la finca* (ha sembradas), *frecuencia de visita del productor a la unidad de producción* (número de visitas mensuales).

Por otro lado, el nivel de adopción tecnológica fue calculado como el índice de esta misma característica para cada una de las 70 unidades de producción, donde de acuerdo con los 40 ítems relacionados con los componentes tecnológicos y siguiendo la propuesta de Cuevas Reyes et al. (2018), se obtuvo un valor máximo de 131 puntos a partir de la codificación de las escalas que conformaron cada reactivo. Posteriormente, para cada unidad de producción se contabilizaron los puntos obtenidos y ese valor se dividió entre el valor máximo y luego se multiplicó por 100. De esta manera el valor del índice fluctuó entre 0 y 100%, por lo que los índices tendientes a 100% indicaban una mayor utilización o aplicación de los componentes tecnológicos evaluados; es decir, mayor nivel de adopción tecnológica, mientras que aquellos tendientes a 0% implicaban lo contrario (Damián Huato et al., 2007; Vélez et al., 2013).

Los datos se capturaron y analizaron por medio del Paquete Estadístico para la Ciencias Sociales (SPSS, por sus siglas en inglés) versión 19. Para la prueba de hipótesis se realizaron correlaciones bivariadas de Pearson.

RESULTADOS

El análisis de correlación permitió identificar que tres de los seis factores socioeconómicos incluidos en el estudio se relacionaron positiva y significativamente con el nivel de adopción tecnológica. En este sentido, los factores como *tamaño de la finca* y *disponibilidad de recursos económicos* registraron coeficientes de correlación de .731** y .495**, respectivamente, con un nivel de significancia de 0.01 ($p < 0.01$), mientras que la *experiencia* registró un coeficiente de correlación de .257*, con un nivel de significancia de 0.05 ($p < 0.05$) (tabla 1).

Tabla 1

Relación entre factores socioeconómicos y nivel de adopción tecnológica en unidades de producción de piña de Loma Bonita, Oaxaca

Factores socioeconómicos	Correlaciones	
	Nivel de adopción tecnológica	
Edad	Correlación de Pearson	.137
	Sig. (bilateral)	.259
Escolaridad	Correlación de Pearson	.144
	Sig. (bilateral)	.235
Experiencia	Correlación de Pearson	.257*
	Sig. (bilateral)	.031
Disponibilidad de recursos económicos	Correlación de Pearson	.495**
	Sig. (bilateral)	.000
Tamaño de la finca	Correlación de Pearson	.731**
	Sig. (bilateral)	.000
Frecuencia de visita	Correlación de Pearson	.052
	Sig. (bilateral)	.667

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).
Elaboración propia.

A partir de estos resultados se comprueban y refuerzan tres hipótesis: H3, que plantea la relación directa y positiva entre la experiencia y el nivel de adopción tecnológica; H4, que contempla la relación directa y positiva entre la *disponibilidad de recursos económicos* y el nivel de adopción tecnológica; y H5, que señala la relación directa y positiva entre el *tamaño de la finca* y el *nivel de adopción tecnológica*. Parece lógico que productores con más experiencia en el cultivo de la piña, mayores superficies de terreno sembrado y más disponibilidad de recursos económicos adopten con mayor facilidad las tecnologías disponibles para este cultivo.

Por el contrario, se rechazan las hipótesis H1, H2 y H6, ya que no se encontraron relaciones significativas, entre *edad*, *escolaridad* y *frecuencia de visita*

a la finca con el nivel de adopción tecnológica. En cuanto a la edad, los resultados son similares a lo reportado por Cuevas Reyes et al. (2013), Galindo González (2001) y Guardiola y Bernal (2009); quienes tampoco encontraron relación significativa entre estas variables, pero difieren de la relación inversa y significativa hallada por Aguilar Gallegos et al. (2013), López-Fuentes et al. (2017), Salas González, Leos Rodríguez, Sagarnaga Villegas y Zavala Pineda (2013) y Tudela (2007). Con respecto a la experiencia, Alvarado Barbarán (2014), Gaitán y Pachón (2010), Juárez-Morales et al. (2017) y Sánchez-Toledano et al. (2017) tampoco encontraron relación significativa con el nivel de adopción tecnológica, a diferencia de Aguilar-Gallegos et al. (2013), Galindo González (2001), García-Salazar et al. (2018), Guardiola y Bernal (2009), López-Fuentes et al. (2017), Mercado Escamilla et al. (2019), Tudela (2007) y Velasco-Fuenmayor et al. (2009), que sí la obtuvieron. Finalmente, la no significancia de la relación entre la frecuencia de visita a la finca con el nivel de adopción tecnológica difiere de los resultados reportados por Velasco-Fuenmayor et al. (2009).

DISCUSIÓN

Las relaciones directas y positivas entre los factores *experiencia*, *disponibilidad de recursos económicos* y *tamaño de la finca* con el nivel de adopción tecnológica encontrados en este trabajo coinciden con los resultados reportados en investigaciones similares (Aguilar-Gallegos et al., 2013; García-Salazar et al., 2018; Juárez-Morales et al., 2017; Mercado Escamilla et al., 2019; Rodríguez, Ramírez, & Restrepo Betancur, 2015; Sánchez-Toledano et al., 2017).

Respecto a los hallazgos del presente estudio en cuanto a asociación de la experiencia, superficie y disponibilidad de recursos económicos con el nivel de adopción tecnológica de los productores piñeros de Loma Bonita, Oaxaca, es común que aquellos cuyas superficies sembradas que superan las 50 ha, cuenten con más de 15 años dedicados al cultivo de esta fruta, actividad que puede complementarse con la ganadería bovina o la siembra de caña. Los productores por lo regular disponen de la totalidad de los equipos e implementos agropecuarios para el manejo de las unidades de producción como tractores, rastras, desvaradoras, spray boom, etc., además de tener la capacidad económica para el establecimiento y mantenimiento del cultivo; es decir, la aplicación de agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas, fungicidas, reguladores de crecimiento, entre otros. Esto se complementa con la introducción

de nuevas tecnologías propuestas en años recientes para el cultivo de piña como los sistemas de riego presurizado, acolchado, malla sombra y la variedad MD2 (figura 1).



Figura 1. Cosecha de piña variedad MD2 cultivada con riego, acolchado y malla sombra. Fotografía de Marcos de la Fuente Ávila.

La disponibilidad de los elementos mencionados es indicativo de una mayor capacidad de adopción tecnológica de los productores más grandes en relación con los más pequeños, cuyas superficies de siembra muchas veces no superan las 5 ha, por lo que pueden contar con un tractor, alguno de los implementos mencionados, hacen menos aplicaciones de agroquímicos; además de sembrar la variedad Cayena Lisa en condiciones de temporal sin la incorporación de acolchado y cubriendo el fruto con las hojas de la planta atándolas con rafia (figura 2). Aquellos que no disponen de la maquinaria y equipo requeridos emplean como estrategias la renta o solicitan a algún colega productor el préstamo de las mismas.

En cuanto a la experiencia, Sánchez-Toledano et al. (2017) obtuvieron resultados similares al identificar que resultó fundamental para la adopción de siembra en surcos a doble hilera y pileteo por parte de productores de cebada maltera en nueve municipios de Zacatecas, México. Por su parte, Aguilar-Gallegos et al. (2013) hallaron que una mayor experiencia de los productores de palma de aceite en estados del sureste mexicano se relaciona positivamente con el mayor nivel de adopción tecnológica. Difieren de los resultados de Velasco-Fuenmayor et

al. (2009) quienes reportan que la experiencia no mostró influencia en el nivel tecnológico de fincas ganaderas de doble propósito localizadas en el estado de Zulia, Venezuela. Vargas Canales et al. (2015) tampoco encontraron efecto significativo de la experiencia sobre el comportamiento de los productores de jitomate en cuanto a la adopción de innovaciones en la región de Tulancingo, Hidalgo, México.

Para el cultivo de la fruta en estudio la experiencia de los productores resulta importante para conocer el manejo y requerimientos de la planta y fruta, lo que les permite brindarles las mejores condiciones para su desarrollo, por medio de los diversos elementos tecnológicos disponibles en el mercado. La experiencia también es importante, ya que con el paso del tiempo se logran crear redes sociales con otros productores, técnicos, investigadores, proveedores de insumos, proveedores de maquinaria, intermediarios, etc., quienes a través de sus conocimientos y experiencias contribuyen en el proceso de difusión y adopción de tecnologías, sobre todo de aquellos productores que cuentan con la disponibilidad de recursos económicos y amplias superficies de terreno.

En cuanto a la disponibilidad de recursos económicos y el nivel de adopción tecnológica, los resultados coinciden con el argumento teórico del CIMMYT (1993), que señala que los agricultores más acaudalados pueden correr más riesgos al adoptar tecnologías que requieren la compra de insumos. En la misma línea, Rojas Gaviria (1998) menciona que



Figura 2. Cultivo de piña variedad Cayena Lisa a campo abierto sin acolchado y cobertura de frutos con rafia. Fotografía del equipo de investigación.

los productores de más recursos económicos están asociados con altos niveles de adopción tecnológica, sobre todo si estas requieren una gran inversión inicial.

Coinciden también con los resultados obtenidos por Olumba y Rahji (2014), que revelan una relación directa y positiva entre la disponibilidad de recursos económicos (ingresos) y el nivel de adopción tecnológica para productores de plátano del estado de Anambra, Nigeria. Molina y Álvarez (2009) identificaron que la disponibilidad de dinero en efectivo por parte de grandes productores les permite afrontar decisiones de inversión en oportunidades necesarias para la adopción de medidas de manejo de ganado bovino en cinco departamentos de Uruguay, mientras que la poca o nula disponibilidad de recursos económicos de los productores de menor escala limita fuertemente las decisiones de adopción. Esto también es similar a lo determinado por Sánchez-Toledano et al. (2017), que reportan que la falta de recursos económicos limita la adopción de la tecnología de siembra en surcos a doble hilera y pileteo en unidades de producción de cebada maltera en Zacatecas, México.

En Loma Bonita, Oaxaca, es evidente la lenta adopción de tecnologías novedosas para la piña como el acolchado plástico, mallasombra, sistemas de riego y la variedad MD2, lo que coincide con lo reportado por Uriza-Ávila et al. (2018). De estas innovaciones, la variedad MD2 es la de mayor aceptación entre los pequeños y medianos productores, lo cual se puede deber a que su adquisición implica una menor inversión de recursos económicos en relación con el riego, acolchado y malla sombra. Estos mismos autores también mencionan que entre las tecnologías adoptadas por la totalidad de los productores de piña en México, incluyendo los pequeños, se encuentran las aplicaciones de fertilizantes al suelo.

En lo que se refiere al tamaño de la finca y el nivel de adopción tecnológica, diferentes autores también reportan resultados similares a lo encontrado en el presente estudio, entre ellos Tudela (2007), quien halló que el tamaño de la finca se relaciona positivamente con la adopción de la producción de café orgánico en Puno, Perú; Roco Fuentes et al. (2012) muestran que el tamaño de la finca influye positivamente en la adopción de tecnologías de conservación de suelos por parte de pequeños productores de Pencahue y Curepto, Chile. Otras investigaciones con resultados similares son los de Aguilar Gallegos et al. (2013), Olumba y Rahji (2014), Sánchez-Toledano et al. (2017), Velasco-Fuenmayor et al. (2009).

Los resultados difieren de lo hallado por Cuevas Reyes et al. (2013), quienes no encontraron relación significativa entre estas variables. La fuerte correlación (.731**) de la superficie sembrada de piña y el nivel de adopción tecnológica, puede ser explicada por los requerimientos mínimos necesarios de terreno para que sea redituable adquirir ciertas tecnologías como el tractor con sus respectivos implementos, sistemas de riego, malla sombra y acolchado.

Por otro lado, la relación no significativa entre edad y nivel de adopción tecnológica encontrada en esta investigación coincide con los hallazgos de Velasco-Fuenmayor et al. (2009) y Cuevas Reyes et al. (2013). Por el contrario, contrastan con el planteamiento original de que productores con menor edad tienden a adoptar con mayor facilidad las tecnologías (CIMMYT, 1993; Rojas Gaviria, 1998; Tudela, 2007). También difieren de la relación positiva y significativa entre estas variables reportada por Roco Fuentes et al. (2012) y Vélez et al. (2013). Al igual que los resultados obtenidos en este estudio, Cuevas Reyes et al. (2013) tampoco encontraron relación significativa entre el nivel escolar y el nivel de adopción tecnológica, lo cual contrasta con lo reportado por Aguilar Gallegos et al. (2013), Tudela (2007), Velasco-Fuenmayor et al. (2009) y Vélez et al. (2013). Finalmente, la muy baja relación pero no significativa de la frecuencia de visita a la finca por parte del productor y el nivel de adopción tecnológica difiere de lo hallado por Velasco-Fuenmayor et al. (2009), quienes encontraron una relación positiva y significativa a 15% estas variables.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar que la experiencia, la disponibilidad de recursos económicos y el tamaño de la finca se relacionan directa y positivamente con el nivel de adopción de las unidades de producción de piña del municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México. Esto puede estar relacionado con los conocimientos adquiridos por parte de los productores a través de los años en el establecimiento, manejo y comercialización de la piña, lo que les ha permitido a aquellos con mayor experiencia asumir riesgos para aumentar de manera paulatina su producción y con ello obtener los recursos económicos suficientes para realizar nuevas y mayores inversiones en los diversos tipos de tecnologías disponibles para el cultivo. En contraparte, los factores edad, nivel escolar y frecuencia de visita a la finca no presentan relaciones significativas.

Aunque los factores relacionados con el nivel de adopción tecnológica pueden aplicar para grandes productores con capacidad económica y de superficie de terreno, no es así para los pequeños productores con reducidas superficies de terreno y restricciones de capital financiero. No obstante, existen tecnologías como los fertilizantes, cuya aplicación es una práctica común, incluso entre pequeños productores. Otras, como la siembra de la variedad MD2, también se han comenzado a cultivar en parcelas de pequeña escala, lo que podría representar para estos una oportunidad en el futuro si se comienzan a adoptar prácticas de manejo orgánicas y sustentables que les permitan acceder a nichos de mercado en los que puedan vender bajos volúmenes, pero con perspectivas de obtener mejores precios de venta por t.

En el caso de los factores de adopción tecnológica, si bien el presente trabajo contribuye a enriquecer la literatura sobre los factores socioeconómicos que se asocian e influyen en el nivel de adopción tecnológica de las unidades de producción de piña, también es importante analizar la dinámica de

los diversos canales de comercialización existentes para las variedades como Cayena Lisa, Champaka y MD2, si se considera que esta última al parecer comienza a tener una mayor aceptación entre los consumidores de piña fresca; mientras que las dos primeras son más demandadas por la agroindustria, por lo que se recomienda en futuras investigaciones indagar con mayor profundidad sobre la articulación al mercado de estas variedades.

Finalmente, aunque en este estudio se abordaron los factores socioeconómicos que influyen sobre la adopción tecnológica en unidades de producción de piña de Loma Bonita, Oaxaca, los esfuerzos en México por identificar las repercusiones que algunas de las tecnologías aquí mencionadas tienen sobre los trabajadores, suelo, agua, etc., aún son escasos. Las investigaciones posteriores deberán tomar en cuenta los impactos que los diferentes niveles tecnológicos tienen sobre la sustentabilidad de las unidades de producción, ya que existen reportes en países como Costa Rica, donde la producción intensiva de piña está provocando efectos negativos ambientales y sociales.

REFERENCIAS

- Aguilar Gallegos, N., Muñoz Rodríguez, M., Santoyo Cortés, V. H., & Aguilar Ávila, J. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay*, 4(4), 207-228.
- Alvarado Barbarán, L. S. (2014). Análisis de la adopción tecnológica de técnicas agrícolas orgánicas para productores de café. *Natura@economía*, 2(1), 71-91.
- Bernardino Hernández, H. U., Mariaca Méndez, R., Nazar Beutelspacher, A., Álvarez Solís, J. D., Torres Dosal, A., & Herrera Portugal, C. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 41(6), 382-392.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1993). *The adoption of agricultural technology: A guide for survey design* (88 pp.). México: Autor.
- Cuevas Reyes, V., Baca del Moral, J., Cervantes Escoto, F., Espinosa García, J. A., Aguilar Ávila J., & Loaiza Meza, A. (2013). Factores que determinan el uso de innovaciones tecnológicas en la ganadería de doble propósito en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 31-46.
- Cuevas Reyes, V., Loaiza Meza, A., Astengo Cazares, H., Moreno Gallegos, T., Borja Bravo, M., Reyes Jiménez, J. E., & González González, D. (2018). Análisis de la función de producción de leche en el sistema bovinos doble propósito en Ahome, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(2), 376-386.
- Damián Huato, M. Á., Ramírez Valverde, B., Parra Inzunza, F., Paredes Sánchez, J. A., Gil Muñoz, A., Cruz León, A., & López Olguín, J. F. (2007). Apropiación de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica en México*, 33(2), 163-173.
- Gaitán, C. A., & Pachón A., F. A. (2010). Causas para la adopción de tecnologías para la renovación de cafetales - Caso El Colegio (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 38(2), 329-336.
- Galindo González, G. (2001). Uso de innovaciones en el grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología Joachin, Veracruz, México. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 385-392.
- García-Salazar, J. A., Borja Bravo, M., & Rodríguez-Licea, G. (2018). Consumo de fertilizantes en el sector agrícola de

- México: Un estudio sobre los factores que afectan la tasa de adopción. *Interciencia*, 43(7), 505-510.
- Guardiola, J., & Bernal, J. (2009). Factores influyentes en la adopción de cultivos no tradicionales: el caso de Guatemala. *Agroalimentaria*, 15(29), 27-37.
 - H. Ayuntamiento de Loma Bonita, Oaxaca. (2008). *Plan Municipal de Desarrollo 2008-2010*. Oaxaca, México: Autor. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Oaxaca/Todos%20los%20Municipios/wo46349.pdf>
 - Hernández Morales, P., Estrada Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A. D., & Castelán-Ortega, O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del Estado de México. *Universidad y Ciencia Trópico-Húmedo*, 29(1), 19-31.
 - Juárez-Morales, M., Arriaga-Jordán, C. M., Sánchez-Vera, E., García-Villegas, J. D., Rayas-Amor, A. A., Rehman, T.,... & Martínez-García, C. G. (2017). Factores que influyen en el uso de praderas cultivadas para producción de leche en pequeña escala en el altiplano central mexicano. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 8(3), 317-324.
 - López-Fuentes, J. M., Ortiz-Torres, E., Carranza-Cerda, I., Argumedo-Macías, A., & Rueda-Luna, R. (2017). Adopción de la lombricultura en mujeres indígenas de la Mixteca Alta Oaxaqueña, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14(2), 283-301.
 - Melesse, B. (2018). A review on factors affecting adoption of agricultural new technologies in Ethiopia. *Journal of Agricultural Science and Food Research*, 9(3), 1000226.
 - Mercado Escamilla, F., Ayala Garay, A. V., Flores Trejo, A., Oble Vergara, E., & Almaguer Vargas, G. (2019). Factores que influyen en la adopción de innovaciones en productores de naranja en Álamo, Veracruz. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(2), 183-198.
 - Mishra, P. K., Upadhyay, R. G., & Upadhyay, A. D. (2018). Diagnostic analysis of technology adoption and factors influencing adoption level of tribal famers of Madhya Pradesh. *Economic Affairs*, 63(1), 01-07.
 - Molina, C., & Álvarez, J. (2009). Identificación de factores incidentes en las decisiones de adopción de tecnología en productores ganaderos criadores familiares. *Agrociencia Uruguay*, 13(2), 70-83.
 - Mwangi, M., & Kariuki, S. (2015). Factors determining adoption of new agricultural technology by smallholder farmers in developing countries. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(5), 208-216.
 - Olumba, C. C., & Rahji, M. A. Y. (2014). An analysis of the determinants of the adoption of improved plantain technologies in Anambra State, Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 5(2), 232-245.
 - Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.
 - Roco Fuentes, L., Engler Palma, A., & Jara-Rojas, R. (2012). Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central. *Rev. FCA UNCUYO*, 44(2), 31-45.
 - Rodríguez, H., Ramírez, C. J., & Restrepo Betancur, F. L. (2015). Factores que influyen en la adopción de tecnología de gestión en producción lechera. *Temas Agrarios*, 20(1): 34-44.
 - Rojas Gaviria, C. P. (1998). Factores físicos y socioeconómicos que explican la no adopción de tecnología moderna por el caficultor en Antioquia y Cundinamarca. *Ensayos sobre Economía Cafetera*, 14, 73-100.
 - Salas González, J. M., Leos Rodríguez, J. A., Sagarnaga Villegas, L. M., & Zavala Pineda, M. J. (2013). Adopción de tecnologías por productores beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 243-254.
 - Sánchez-Toledano, B. I., Zegbe, J. A., Espinoza-Arellano, J. J., & Rumayor-Rodríguez, A. F. (2017). Adopción tecnológica de surcos-doble hilera con pileteo en cebada maltera. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 25-33.
 - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Anuario estadístico de la producción agrícola [Base de datos]. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
 - Tudela, J. W. (2007). Determinantes de la producción orgánica: El caso del café orgánico en los valles de San Juan del Oro – Puno. *Economía y Sociedad*, 64, 74-79.
 - Uriza-Ávila, D. E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Zetina-Lezama, R., & Rebolledo-Martínez, A. (2018). *La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación* (Colección Trópico-Húmedo). México: UACH.
 - Vargas Canales, J. M., Palacios Rangel, M. I., Camacho Vera, J. H., Aguilar Ávila, J., & Ocampo Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827-840.
 - Velasco-Fuenmayor, J., Ortega-Soto, L., Sánchez-Camarillo, E., & Urdaneta, F. (2009). Factores que influyen sobre el nivel

tecnológico presente en las fincas ganaderas de doble propósito localizadas en el estado de Zulia, Venezuela. *Revista Científica (Maracaibo)*, 19(2), 187-195.

- Vélez, I. A., Espinosa, G. J. A., Omaña, S. J. M., González, O. T. A., & Quiroz, V. J. (2013). Adopción de tecnología en unidades de producción de lechería familiar en Guanajuato, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 3, 88-96.
- Vicini, L. E. (2000). Adopción de tecnología agrícola. *Horizonte Agroalimentario*, Julio, 10-13.

La economía del compartir (2008-2018): Una revisión de la literatura

Sharing economy (2008-2018): A literature review

Francisco García-Flores*, Sergio Madero**✉

García-Flores, F., & Madero, S. (2020). La economía del compartir (2008-2018): Una revisión de la literatura. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 80-90.

RESUMEN

La economía del compartir ha emergido como una nueva forma de desarrollar y ofrecer productos y servicios, donde se engloban un conjunto de actividades y acciones con diversas características, junto a ella han surgido también una cantidad de promesas y paradojas. Las nuevas tendencias socioeconómicas y los cambios actitudinales en algunos sectores de la población han llevado a que la economía del compartir adquiera percepciones positivas entre los individuos. El interés por este fenómeno no solo se ha incrementado en la sociedad en general, sino también en el ámbito académico. Este artículo busca aportar por medio de una revisión de literatura con el objetivo de identificar las diferencias y supuestos que subyacen en las diversas definiciones propuestas por los investigadores y académicos en torno a este fenómeno, las cuales giran alrededor del papel que debe jugar el altruismo y la comercialización en los actos de compartir.

Palabras clave: economía del compartir; economía híbrida; economía de acceso; consumo colaborativo; revisión de literatura.

Keywords: sharing economy; hybrid economy; access economy; collaborative consumption; literature review.

Recibido: 19 de agosto de 2019, aceptado: 19 de mayo de 2020

* EGADE Business School, Tecnológico de Monterrey. Eugenio Garza Lagüera y Rufino Tamayo, Valle Oriente, San Pedro Garza García, C. P. 66269, Nuevo León, México. Correo electrónico: f.garciaf@tec.mx
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6186-609X>

** Escuela de Negocios, Departamento de Gestión y Liderazgo, Tecnológico de Monterrey campus Monterrey. Ave. Garza Sada 2501 sur, C. P. 64849, Nuevo León, México. Correo electrónico: smadero@tec.mx
ORCID: <http://orcid.org/0003-3996-7609>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The sharing economy has emerged as a new way of producing and offering products and services. Witch encompasses a set of activities and actions with various characteristics and, along with it, a number of promises and paradoxes have emerged. The new socioeconomic trends and attitudinal changes in some sectors of the population have led the sharing economy to acquire positive perceptions among individuals. Interest in this phenomenon has not only increased in society in general, but also in the academic sphere in particular. Therefore, this article seeks to contribute to the literature by identifying the discrepancies and assumptions that underlie the various definitions proposed by researchers and academics, which revolve around the role that altruism and marketing should play in the acts of sharing.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la economía del compartir (conocido en inglés como sharing economy) ha emergido como una forma de desarrollar, diseñar y ofrecer productos y servicios, distinta de los modelos tradicionales de hacer negocio. Estos nuevos modelos de negocio han atraído cada vez más el interés no solo del público en general, también de los académicos e investigadores interesados en explorar este fenómeno (DaSilva, Trkman, Desouza, & Lindič, 2013; Muñoz & Cohen, 2017). Este crecimiento se debe, en parte, a los cambios en las condiciones socioeconómicas de los mercados (Parente, Geleilate, & Rong, 2018) como son: el constante desarrollo de la tecnología, ocasionando un incremento de las diversas relaciones y conexiones que las personas pueden realizar, así como de nuevas formas de distribución de productos

y servicios (Gansky, 2010), lo que permite la creación de plataformas basadas en las redes sociales por medio de las cuales se puede compartir una gran variedad de recursos (Tussyadiah & Pesonen, 2016).

Por otro lado, en la sociedad en general se ha observado una mayor conciencia por la sustentabilidad y el consumo verde (Hamari, Sjöklint, & Ukkonen, 2016), un crecimiento en el uso de las redes sociales y de los mercados electrónicos (Puschmann & Alt, 2016), lo que se ha reflejado en la adopción de nuevos estilos de vida y cambios en la actitud de algunos individuos hacia ciertos aspectos de los bienes de consumo (Botsman & Rogers, 2011). De igual manera, eventos significativos como la crisis económica de 2008 han reforzado esta tendencia de una mayor demanda de productos alternativos, en detrimento por los productos que son realizados en modelos industriales tradicionales y menos sustentables (Dredge & Gyimóthy, 2015).

Aunque el uso del término *economía del compartir* está aumentado para englobar las acciones y actividades con que se identifica a esta nueva forma de hacer negocios (Muñoz & Cohen, 2017), no existe en la literatura un consenso con respecto a su definición, motivo por el cual se le ha asociado con prácticas y sectores muy heterogéneos que cubren un gran variedad de formas y procesos organizacionales (Acquier, Daudigeos, & Pinkse, 2017). Esto ha generado una mayor ambigüedad y confusión en el uso que se le da a este término, incluso en el ámbito académico. Lo anterior se debe a que muchas personas que participan en esta nueva forma de hacer negocios utilizan un discurso cuyo mensaje se caracteriza por contener elementos de moda, sofisticación tecnológica, progreso e innovación (Frenken & Schor, 2017).

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de literatura que permita identificar diferencias, supuestos y elementos relevantes en las diversas definiciones del término de economía del compartir para comprender mejor las implicaciones que tienen en la actualidad. Al realizar la presente revisión se contribuye a la literatura de dos maneras: a realizar una revisión de la literatura enfocada en identificar los elementos y supuestos que subyacen en las definiciones que han sido propuestos para delimitar el fenómeno de la economía del compartir; así como a proponer un marco conceptual que permita organizar y clasificar dichas definiciones y con ello ayudar a clarificar la delimitación del fenómeno.

Este artículo se encuentra compuesto por una revisión de literatura en primer lugar, la cual resalta la

evolución de los términos que han surgido alrededor del concepto estudiado, que ayude a comprender las aproximaciones desde las cuales se ha abordado este fenómeno en diversas áreas de estudio; posteriormente se describe el proceso metodológico utilizado en esta revisión; en la siguiente sección se realiza el análisis de la información obtenida y se presenta un marco conceptual que permita organizar las diferentes definiciones que han surgido en la literatura; finalmente, se discuten los resultados y se desarrollan las conclusiones.

Revisión de la literatura

El concepto *compartir* (conocido en inglés como *sharing*) empezó a ser utilizado en estudios antropológicos donde se le relaciona con otros conceptos como los regalos, los intercambios o las economías basadas en trueques, en donde no necesariamente existen intercambios económicos o monetarios (Dredge & Gyimóthy, 2015). Rifkin (2002) argumenta que existe una transición al pasar de un régimen económico basado en el intercambio mercantil de la propiedad de los recursos de los compradores y a los consumidores, a uno donde los proveedores mantienen la propiedad de los recursos y ceden su acceso a los consumidores, mediante el pago de un alquiler (*leasing*) o una cuota de admisión, suscripción o derechos de inscripción para hacer uso de dichos recursos en el corto plazo. Estos acuerdos se caracterizan por un uso limitado, por lo que los recursos son controlados por una red de proveedores.

El concepto de compartir en la literatura económica se relaciona con los modelos de intercambio diferentes a los existentes en el mercado. Benkler (2004) argumenta que es más apropiado usar el término *compartir* en lugar de los de reciprocidad o regalo, ya que es más adecuado utilizar dicho término para evaluar los mecanismos de producción económica basados en las relaciones sociales. Adicionalmente, el concepto de *agrupar* (conocido en inglés como *pooling*) se refiere a la idea de sumar una gran cantidad de pequeñas contribuciones individuales y así obtener una mayor efectividad funcional por medio de los llamados sistemas sociales para compartir (Benkler, 2004).

Aunado a lo anterior, las nuevas tecnologías permiten disminuir el costo de capital inicial requerido para que las personas puedan realizar actividades comerciales, lo que se traduce en una estructuración descentralizada de la producción y se organiza conforme a las relaciones sociales en lugar de realizarse por medio de mecanismos de mercado

o mediante estructuras jerárquicas (Benkler, 2004; Hernaes, 27 de febrero de 2015).

En el periodo comprendido entre los años 2000 y 2010 se observó un crecimiento exponencial de *plataformas entre iguales* (*peer-to-peer*, por su término en inglés) y con ellas el surgimiento de la llamada economía del compartir, la cual, no solo se ha expandido, sino que ha tenido impacto en una diversidad de industrias, en especial la hospitalidad y el turismo con el nacimiento de plataformas de alojamiento como Airbnb (Ert, Fleischer, & Magen, 2016; Gutiérrez, García-Palomares, Romanillos, & Salas-Olmedo, 2017; Möhlmann, 2015; Tussyadiah & Pesonen, 2016; Zervas, Proserpio, & Byers, 2017), 9Flats (Heo, 2016; Tussyadiah & Pesonen, 2016), Couchsurfing (Heo, 2016; Scaraboto, 2015), HouseAway (Heo, 2016); en industrias de transporte como Uber (Dudley, Banister, & Schwanen, 2017; Tussyadiah & Pesonen, 2016), Car2go (Möhlmann, 2015), Lyft (Tussyadiah & Pesonen, 2016), Zip Car (Bardhi & Eckhardt, 2012); o la industria de mantenimiento y construcción, como es el caso de TaskRabbit (Mair & Reischauer, 2017), y se espera un mayor crecimiento en otros contextos sociales con el objetivo de poder cubrir de la mejor manera las necesidades de los consumidores (Gil-Lafuente, 2018).

Como se ha señalado anteriormente a la economía del compartir se le ha relacionado con el comercio en línea y las nuevas tecnologías (Kaplan & Haenlein, 2010), por lo que ha ganado una mayor notoriedad tanto en la práctica como en la academia y se ha expandido hacia una diversidad de industrias, como el turismo (Gutiérrez et al., 2017; Guttentag, 2015; Guttentag & Smith, 2017; Heo, 2016; Scaraboto, 2015; Sigala, 2017; Tussyadiah, 2016; Tussyadiah & Pesonen, 2016), el transporte (Bardhi & Eckhardt, 2012; Gruen, 2017; Möhlmann, 2015), la salud (Sharon, 2016) e incluso el entorno de los negocios, *business to business* (B2B, por sus siglas en inglés) (Puschmann & Alt, 2016).

En el ámbito académico durante los últimos años se ha observado un incremento en el interés de los investigadores por este fenómeno y los temas relacionados con la sustentabilidad (Hamari et al., 2016), la creación de valor (Camilleri & Neuhofer, 2017), los modelos económicos (Puschmann & Alt, 2016), entre otros (Park & Armstrong, 2017). Sin embargo, debido a que estas investigaciones aún se encuentran en sus primeras etapas de desarrollo, existen áreas de oportunidad para profundizar en el tema e ir identificando sus implicaciones, es por eso que el campo de acción para explorar y analizar los

alcances de los puntos antes mencionados es muy amplio.

A las plataformas para compartir se les relaciona con el desarrollo de herramientas colaborativas entre iguales para la creación y distribución de contenidos, así como de archivos a través de las redes computacionales (Benkler, 2004), por lo cual a las nociones como compartir archivos, programas computacionales libres para su uso, distribución por redes computacionales, préstamos entre iguales (conocido en inglés como *crowdfunding*), criptomonedas como el bitcoin y redes sociales, se les relaciona con la economía del compartir (Frenken & Schor, 2017; Laurell & Sandström, 2017); por lo que se incrementa la complejidad de este fenómeno y su conceptualización.

La ambigüedad en el concepto de economía del compartir se debe a que el significado que se le da a los actos de *compartir* se ha transformado en los últimos años. En el pasado las personas han compartido sus activos y bienes, aunque lo realizaban principalmente dentro de su círculo de convivencia más cercano e íntimo (debido a la confianza que se requiere para realizar dicho acto), mientras que en la actualidad las plataformas electrónicas (Zervas et al., 2017) permiten compartir con personas extrañas con las que no se tienen conexiones previas (Belk, 2014), lo que puede llevar a un incremento en el nivel de riesgo. Sin embargo, dicha percepción de riesgo puede disminuirse y hacer más atractivo el acto de compartir con extraños por medio del uso de calificaciones y reputaciones que se realizan en las plataformas (Zervas, Proserpio, & Byers, 2015).

Aunque se identifica a la economía del compartir como una actividad de intercambio (Bardhi y Eckhardt, 2012; Belk, 2010; Benkler 2004; Botsman & Rogers, 2011) existe un debate en la literatura con respecto al beneficio económico de realizar ese tipo de transacciones entre las personas. Por un lado, algunos investigadores relacionan el acto de compartir con formas de organización no comerciales y motivadas por las nociones de comunidad, conexión y cuidado, entendidas como más acordes a las motivaciones reales del ser humano que lo lleva a realizar el acto de compartir, dejando las motivaciones económicas en segundo plano (McLaren & Agyeman, 29 de febrero de 2016; Marasco, 21 de marzo de 2016). Se diferencia el acto del compartir de los regalos y de los mecanismos de mercado en donde se realiza un intercambio de la posesión de un bien, tal y como lo argumenta Belk (2010) al señalar que al compartir no hay un

intercambio de propiedad, sino que se da acceso al uso común de los bienes (Hamari et al., 2016). Sin embargo, McLaren y Agyeman (29 de febrero de 2016) señalan que el compartir bajo ciertos contextos y ambientes se da de forma económica y transaccional, en lugar de solamente altruista.

Se han propuesto tres tendencias que explican el crecimiento de la economía del compartir (Puschmann & Alt, 2016). En primer lugar el cambio del *comportamiento del consumidor*, al pasar de un modelo donde se obtiene la propiedad del objeto que se consume a uno donde de manera temporal y sin recibir la transferencia de la propiedad del activo, se puede acceder a su uso (Rifkin, 2002). En segundo lugar el crecimiento acelerado de las redes sociales y los mercados electrónicos, que además de crear plataformas comunitarias y redes entre iguales, han reducido los costos de investigación y transacción (Puschmann & Alt, 2016) y han creado mecanismos para generar confianza y reputación (Zervas et al., 2015).

Finalmente, el crecimiento en el uso de los teléfonos móviles inteligentes y de los servicios electrónicos (figura 1) ha permitido dar un impulso a la economía de las aplicaciones, las cuales facilitan e incrementan la conveniencia de consumo a partir de aplicaciones en los teléfonos móviles (Puschmann & Alt, 2016; Van Esler, 2016).



Figura 1. Los servicios electrónicos dentro de la economía del compartir.

Imagen tomada del blog de Institute of Entrepreneurship Development (10 de mayo de 2018).

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico utilizado en este artículo está basado en una revisión a la literatura publicada en los últimos años con el objetivo de ayudar a clarificar

la delimitación del fenómeno de la economía del compartir, al identificar las diferencias ontológicas y los supuestos subyacentes en las diversas definiciones que han sido propuestas por los investigadores, las cuales vislumbran que el debate puede darse de acuerdo con la forma de entender la naturaleza del fenómeno, la cual en general gira alrededor del papel que desempeñan el altruismo y la comercialización en los actos de compartir.

Se decidió utilizar la base de datos Scopus para llevar a cabo la revisión de la literatura, dado que existen similitudes con las principales bases de datos de investigaciones científicas como Web of science, además Scopus es una de las que mayor cobertura de revistas científicas tiene, tal como lo mencionan Chadegani, Salehi, Yunus, Farhadi, Fooladi, Farhadi y Ale Ebrahim (2013). Durante el período comprendido desde agosto hasta octubre de 2018 se realizó la búsqueda de información, utilizando como palabras clave *sharing* y *economy* y, como primer filtro, se permitió que la búsqueda se realizara en el título de los artículos, los abstracts y las palabras clave. Posteriormente se revisaron los documentos de las áreas de negocios, administración y contabilidad y se restringió a artículos de revistas de investigación o journals. Como se puede apreciar en la tabla 1 la mayoría de los artículos de investigación que han sido publicados sobre el tema, alrededor de 85% de las publicaciones se han realizado en los últimos 10 años, y más de la mitad se han publicado desde 2015. Al restringir el periodo de análisis entre los años 2008 y 2018 se captura una parte significativa de los artículos publicados.

Posteriormente se ordenaron los artículos de investigación de acuerdo con el número de citas siguiendo el análisis propuesto por Ramos-Rodríguez y Ruiz-Navarro (2004). Solamente se consideraron aquellas investigaciones publicadas en *journals* y revistas académicamente arbitradas, al ser estas las que más referencias y revisiones reciben. Se realizó un filtro para descartar las investigaciones que no están relacionadas con la economía del compartir, como son los diversos aspectos técnicos, tecnologías de la información y electrónica, así como de aprendizaje, política pública, ingeniería o ciencias computacionales.

Los principales *journals* o revistas de investigación donde se publican los trabajos de la economía del compartir que se relacionan con las áreas que estudian el turismo, el transporte, la sustentabilidad y los cambios sociales, son *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Business Research*, *Technological Forecasting and Social Change*,

Tabla 1
Relación de artículos publicados por año

Artículos		Artículos	
Año	publicados	Año	publicados
2018	144	2007	11
2017	134	2006	16
2016	90	2005	13
2015	41	2004	18
2014	50	2003	9
2013	42	2002	15
2012	33	2001	8
2011	36	2000	6
2010	17	1999	5
2009	31	1998	6
2008	25		

Nota: Elaboración propia con base en Scopus.

International Journal of Hospitality Management,
International Journal of Contemporary Hospitality Management.

Análisis de la información

La economía del compartir engloba diferentes discursos, valores y marcos conceptuales, lo cual refleja una estructura compleja para su análisis (Acquier et al., 2017). Por lo anterior, en la revisión de la literatura se identificaron diferentes enfoques y propuestas para conceptualizar y definir la economía del compartir, siendo los principales autores en el desarrollo de la conceptualización de dicho término los que se muestran en la tabla 2.

En revisiones de la literatura previas (Acquier et al., 2017; Dredge & Gyimóthy, 2015) se identificó la problemática y falta de consenso en cuanto al concepto de economía del compartir, así como su delimitación, ya que no existe un claro acuerdo entre los investigadores sobre las características y fenómenos que abarca; por lo que se procedió a categorizar los conceptos propuestos por los autores con base en el marco conceptual propuesto por McLaren y Agyeman (29 de febrero de 2016) y analizado por Marasco (21 de marzo de 2016), que permite analizar la economía del compartir a lo largo de dos dimensiones (tabla 3).

Existe un debate entre los investigadores con respecto a la naturaleza del acto de compartir. Por un lado, algunos autores diferencian el compartir de las

transacciones que se realizan en los mercados donde se lleva a cabo la transferencia de propiedad, en el cual señalan la importancia tanto del aspecto social como del comunitario al momento de compartir, enfatizando las motivaciones no comerciales, que llevan a las personas a compartir. Por otro lado, hay autores que enmarcan el compartir en un aspecto mucho más amplio, al considerar que en ciertos contextos y situaciones el compartir incluye nociones de tipo transaccionales y económicas, y no solamente sociales, comunitarios o altruistas.

En este marco conceptual se puede apreciar el estado actual del debate en la literatura de la economía del compartir con respecto a la delimitación del fenómeno; como señala Belk (2010). Por un lado, si los actos de compartir requieren que estén presentes características como el altruismo y el interés principal es el de formar comunidad dejando la remuneración económica en un segundo plano o si las nuevas formas de organización basadas en redes sociales pueden ofrecer servicios y productos al mercado (McLaren & Agyeman, 29 de febrero de 2016). Ayuda a clarificar la delimitación del fenómeno al identificar dos enfoques de investigación para el estudio de la economía del compartir, que posiblemente se basan en diferentes supuestos y concepciones ontológicas del fenómeno, lo que lleva a interpretar y describir la economía del compartir con ciertas discrepancias. Por una parte están las definiciones que delimitan el fenómeno al

Tabla 2
Principales autores y conceptos relacionados con el tema de economía del compartir

Autores	Términos
Rifkin (2002)	Economía de acceso
Benkler (2004)	Compartir social
Lessig (2008)	Economía híbrida
Gansky (2010)	Compartir por medio de redes e interconexiones
Botsman y Rogers (2011)	Consumo colaborativo
Sheth, Sethia y Srinivas (2011)	Consumo consciente
Albinsson y Yasanthi Perera (2012)	Consumo colaborativo en comunidad
Bardhi y Eckhardt (2012)	Consumo de acceso
Germann Molz (2013)	Economía moral
Belk (2014)	Consumo colaborativo y compartir
Sigala (2017)	Comercio colaborativo
Dredge y Gyimóthy (2015)	Consumo colaborativo
Hamari et al. (2016)	Economía acceso mediante comunidades en línea
Acquier, Daudigeos y Pinkse (2017)	Marco conceptual
Reza, Habibi, Davidson y Laroche (2017)	Rango de intercambio de compartir
Frenken y Schor (2017)	Consumo de activos subutilizados
	Eficiencia y optimización de recursos
	subutilizados
Muñoz y Cohen (2017)	
Gibbs, Guttentag, Gretzel, Morton y Goodwill (2018)	Modelo hedónico
Jiang y Tian (2018)	Modelo de compartir de productos de consumidor a consumidor

Nota: Elaboración propia con base en información de autores citados.

incluir los intercambios comerciales que se realizan mediante mecanismos de mercado y que incluyen las plataformas que se alojan en internet, las cuales facilitan el consumo entre personas desconocidas, al compartir recursos y proveer servicios (McLaren & Agyeman, 29 de febrero de 2016).

Por otra parte se encuentran aquellas definiciones que resaltan las concepciones más tradicionales del concepto compartir, incluyendo las nociones de compartir en un contexto comunal entre familiares, grupos étnicos o religiosos, la coproducción entre los miembros de las

comunidades y el concepto de regalo. Cabe señalar que se puede apreciar una tendencia entre los autores de las investigaciones más recientes, de considerar la mediación de los mecanismos de mercado en el consumo colaborativo al momento de delimitar este fenómeno y, por tanto, se alejan de las concepciones tradicionales del compartir de forma altruista. Igualmente se identificó que el enfoque que los investigadores han tomado es el de probar las premisas teóricas desarrolladas previamente, por lo que el desarrollo teórico ha sido más limitado.

Tabla 3
Autores en las dimensiones del paradigma de compartir

	Compartir mediado	Compartir sociocultural
Compartir comunal	Gansky (2010) The Mesh	Benkler (2004) Compartir Social Sheth et al. (2011) Consumo consciente Albinsson y Yasanthi Perera (2012) Consumo colaborativo en comunidad Germann Molz (2013) Economía Moral Belk (2014) Consumo colaborativo y compartir Frenken y Schor (2017) Acceso a activos subutilizados
Compartir comercial	Rifkin (2002) Economía de Acceso Lessig (2008) Economía híbrida Botsman y Rogers (2011) Consumo Colaborativo Bardhi y Eckhardt (2012) Consumo de acceso Dredge y Gyimóthy (2015) Consumo colaborativo Hamari et al. (2016) Economía de acceso Reza et al. (2017) Intercambio de compartir Muñoz y Cohen (2017) Optimizar recursos subutilizados Gibbs et al. (2018) Modelo Hedónico Jiang & Tian (2018) Modelo de consumidor a consumidor	Sigala (2017) Colaboración en cocreación de valor

Nota: Elaboración propia tomando como base el modelo de McLaren y Agyeman (29 de febrero de 2016).

DISCUSIÓN

Como Botsman (2013) señala que a la economía del compartir le falta una definición compartida, esto se debe en parte a lo que Belk (2014) llama el pseudo-compartir; es decir, la forma de operar de muchos negocios de agrupar diferentes tipos de recursos mediante las pequeñas aportaciones de una gran cantidad de individuos y a partir del cual se crean redes basadas en las características positivas de la economía del compartir, con lo que buscan explotar el aspecto positivo de la capacidad de cocreación con los consumidores con el fin de crear valor para la firma Y para el consumidor (Belk, 2014). Ello puede motivar que muchas empresas quieran ser identificadas como parte de la economía del compartir, aunque su naturaleza, su estrategia y filosofía se relacionen más con los modelos tradicionales de producción y no necesariamente busquen crear la colaboración social y hacer comunidad (Reza et al., 2017).

Analizar las transacciones y el contexto en que se realizan permite analizar las características principales de una economía (Mair & Reischauer, 2017). En las transacciones mediadas por el mercado las diversas formas de retribución y de compensación siguen la lógica de la maximización; es decir, siguen un proceso transaccional (Scaraboto, 2015). En la economía del compartir no existe un consenso claro, ya que se busca fomentar la unión de los diversos procesos de comunidad (Albinsson & Yasanthi Perera, 2012; Belk 2014; Sheth et al., 2011), el reutilizar los activos que se consideran subutilizados (Botsman & Rogers, 2011; Frenken & Schor, 2017), el acceso al uso de un activo a cambio de una compensación o tarifa (Bardhi & Eckhardt, 2012), o en el continuo entre la economía de mercado y la economía de regalo, entre Uber y CouchSurfing (Mair & Reischauer, 2017).

Un aspecto importante de la economía del compartir es el acceso y la redistribución de los recursos, la cual se diferencia de los modos de

intercambio mediados por el mercado en donde existe una transferencia de propiedad (Scaraboto, 2015) o de las formas tradicionales de regalo, trueque y permutas donde igualmente se transfiere la propiedad (Belk, 2014). En la economía del compartir algunos autores enfatizan la importancia de dar uso a los activos que son subutilizados (Frenken & Schor, 2017), en donde se privilegia la actitud de los individuos por reutilizar en lugar de adquirir nuevos productos (Botsman & Rogers, 2011) con el fin de reusar o revender y así reducir el impacto ambiental y el desperdicio. Y aunque el acceso al uso de los activos sin adquirir la propiedad ya ha existido en modos de intercambio tradicionales, Bardhi y Eckhardt (2012) señalan la conveniencia y la rapidez de acceso a los activos en la economía del compartir.

Uno de los puntos de debate es la intencionalidad con la que las personas participan en la economía del compartir, donde se incluye el altruismo (Belk, 2014), mientras que el verdadero acto de compartir excluye intereses comerciales, la conciencia de reutilizar (Botsman & Rogers, 2011), dar acceso a activos subutilizados de forma libre o a cambio de alguna tarifa o remuneración (Bardhi & Eckhardt, 2012; Frenken & Schor, 2017). Otros investigadores abordan los aspectos relacionados con sistemas de tipo socioeconómico que permiten el intercambio de bienes y servicios entre los individuos y las organizaciones con la intención de incrementar la eficiencia y la reutilización de los recursos de la sociedad (Muñoz & Cohen, 2017).

Se puede analizar el concepto estudiado como un modelo económico, que parece presentar características híbridas de modelos de mercado y no-mercado (Lessig, 2008; Puschmann & Alt, 2016), donde conviven las lógicas de maximización, optimización y creación comunidad. En torno a este enfoque, los investigadores han propuesto la economía de acceso (Rifkin, 2002), los servicios subutilizados (Bardhi & Eckhardt, 2012), el compartir productos (Botsman & Rogers, 2011), y la economía de plataformas (Acquier et al., 2017). Los rasgos híbridos de la economía del compartir se reflejan en las diferentes características de los modelos desarrollados en la literatura al variar entre modelos centralizados y descentralizados; entre mediados por el mercado y por plataformas; entre lucrativos y no; entre privados, cooperativas, y asociaciones público-privadas; entre otras (Acquier et al., 2017).

La economía del compartir se puede entender como un constructo que alberga al menos dos concepciones con ciertas diferencias en cuanto a

la forma de observar y comprender el fenómeno, lo que lleva a abordar su estudio de forma distinta, por lo que han surgido concepciones distintas en cuanto lo que significa el compartir y lo que es la economía del compartir. Las formas de analizar este fenómeno se deben a las características híbridas que tiene, en la cual conviven el altruismo, la colaboración, la formación de comunidades, con lógicas de mercado, plataformas y la remuneración. Debido a que los autores y académicos interesados en el tema provienen de diferentes campos de estudio, con antecedentes y acercamientos al fenómeno desde diversas perspectivas, por el momento se dificulta llegar a acuerdos.

Para clarificar la delimitación del fenómeno se sugiere desarrollar dos conceptos distintos. Uno que capture las características de compartir en un contexto comunal y con el objetivo de permitir el acceso a los activos comunitarios de forma altruista y desde una perspectiva de crear comunidad. El otro, un concepto que tenga las características que engloben los nuevos modelos de negocio, donde la participación de las plataformas digitales y las redes sociales juegan un rol importante en la oferta de servicios y productos con características híbridas que son mediados por el mercado.

CONCLUSIONES

Entre las limitaciones del presente artículo se pueden señalar las siguientes: en primer lugar, la revisión de la literatura se basó en la base de datos bibliográfica de Scopus, por lo que puede ser posible analizar otras bases de datos, ya que puede existir algún sesgo al privilegiar estudios realizados en idioma inglés y no considerar trabajos en otros idiomas, por lo que en futuras investigaciones se pueden revisar trabajos escritos en castellano. Finalmente, el diseño metodológico de la presente revisión de literatura se basó en analizar artículos científicos revisados por pares y publicados en revistas, dejando a un lado capítulos de libros u otros medios de divulgación científica, por lo que es importante tenerlos en cuenta para futuras investigaciones.

El desarrollo del presente artículo busca ayudar a clarificar las delimitaciones de la economía del compartir reconociendo que es una de las tendencias más significativas en la sociedad actual y en el mundo de los negocios, por lo que busca animar al sector productivo y académico a generar conocimientos, con el fin de lograr una mejor comprensión de este fenómeno en beneficio de las nuevas generaciones.

REFERENCIAS

- Acquier, A., Daudigeos, T., & Pinkse, J. (2017). Promises and paradoxes of the sharing economy: An organizing framework. *Technological Forecasting & Social Change*, 125, 1-10. doi: 10.1016/j.techfore.2017.07.006
- Albinsson, P. A., & Yasanthi Perera, B. (2012). Alternative marketplaces in the 21st century: Building community through sharing events. *Journal of Consumer Behaviour. An International Research Review*, 11(4), 303-315. doi: 10.1002/cb.1389
- Bardhi, F., & Eckhardt, G. M. (2012). Access-based consumption: The case of car sharing. *Journal of Consumer Research*, 39(4), 881-898. doi: 10.1086/666376
- Belk, R. (2010). Sharing. *Journal of Consumer Research*, 36(5), 715-734. doi: 10.1086/612649
- _____ (2014). You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online. *Journal of Business Research*, 67(8), 1595-1600. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.10.001
- Benkler, Y. (2004). Sharing nicely: On shareable goods and the emergence of sharing as a modality of economic production. *The Yale Law Journal*, 114(2), 273-358. doi: 10.2307/4135731
- Botsman, R. (2013). The sharing economy lacks a shared definition [Presentación en pdf]. NY: Fast Company. Recuperado de <https://www.fastcompany.com/3022028/the-sharing-economy-lacks-a-shared-definition>
- Botsman, R., & Rogers, R. (2011). What's mine is yours: *How collaborative consumption is changing the way we live*. London: Collins. Recuperado de https://books.google.com.mx/books/about/What_s_Mine_is_Yours.html?id=eDhsTbjyFlgC&redir_esc=y
- Camilleri, J., & Neuhofer, B. (2017). Value co-creation and co-destruction in the airbnb sharing economy. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 29(9), 2322-2340. doi: 10.1108/IJCHM-09-2016-0492
- Chadegani, A. A., Salehi, H., Yunus, M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M., & Ale Ebrahim, N. (2013). A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases. *Asian Social Science*, 9(5), 18-26. doi: 10.5539/ass.v9n5p18
- DaSilva, C. M., Trkman, P., Desouza, K., & Lindič, J. (2013). Disruptive technologies: A business model perspective on cloud computing. *Technology Analysis & Strategic Management*, 25(10), 1161-1173. doi: 10.1080/09537325.2013.843661
- Dredge, D., & Gyimóthy, S. (2015). The collaborative economy and tourism: Critical perspectives, questionable claims and silenced voices. *Tourism Recreation Research*, 40(3), 286-302. doi: 10.1080/02508281.2015.1086076
- Dudley, G., Banister, D., & Schwanen, T. (2017). The rise of Uber and regulating the disruptive innovator. *The Political Quarterly*, 88(3), 492-499. doi: 10.1111/1467-923X.12373
- Ert, E., Fleischer, A., & Magen, N. (2016). Trust and reputation in the sharing economy: The role of personal photos in Airbnb. *Tourism Management*, 55, 62-73. doi: 10.1016/j.tourman.2016.01.013
- Frenken, K., & Schor, J. (2017). Putting the sharing economy into perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 23, 3-10. doi: 10.1016/j.eist.2017.01.003
- Gansky, L. (2010). *The Mesh: Why the future of business is sharing*. NY: Penguin Books.
- Germann Molz, J. (2013). Social networking technologies and the moral economy of alternative tourism: The case of couchsurfing.org. *Annals of Tourism Research*, 43, 210-230. doi: 10.1016/j.annals.2013.08.001
- Gibbs, C., Guttentag, D., Gretzel, U., Morton, J., & Goodwill, A. (2018). Pricing in the sharing economy: A hedonic pricing model applied to Airbnb listings. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 35(1), 46-56. doi: 10.1080/10548408.2017.1308292
- Gil-Lafuente, A. M. (Coord.). (2018). *Los efectos de la irrupción y desarrollo de la economía colaborativa en la sociedad española*. Barcelona: Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Recuperado de https://racef.es/archivos/publicaciones/web_racef_mo52_18.pdf
- Gruen, A. (2017). Design and the creation of meaningful consumption practices in access-based consumption. *Journal of Marketing Management*, 33(3-4), 226-243. doi: 10.1080/0267257X.2016.1229688
- Gutiérrez, J., García-Palomares, J. C., Romanillos, G., & Salas-Olmedo, M. H. (2017). The eruption of Airbnb in tourist cities: Comparing spatial patterns of hotels and peer-to-peer accommodation in Barcelona. *Tourism Management*, 62(C), 278-291. doi: 10.1016/j.tourman.2017.05.003
- Guttentag, D. (2015). Airbnb: Disruptive innovation and the rise of an informal tourism accommodation sector. *Current Issues in Tourism*, 18(12), 1192-1217. doi: 10.1080/13683500.2013.827159

- Guttentag, D. A., & Smith, S. L. J. (2017). Assessing airbnb as a disruptive innovation relative to hotels: Substitution and comparative performance expectations. *International Journal of Hospitality Management*, 64, 1-10. doi: 10.1016/j.ijhm.2017.02.003
- Hamari, J., Sjöklint, M., & Ukkonen, A. (2016). The sharing economy: Why people participate in collaborative consumption. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(9), 2047-2059. doi: 10.1002/asi.23552
- Heo, C. Y. (2016). Sharing economy and prospects in tourism research. *Annals of Tourism Research*, 58, 166-170. doi: 10.1016/j.annals.2016.02.002
- Hernaes, C. (27 de febrero de 2015). Sharing is everything but caring in the sharing economy. Recuperado de <https://techcrunch.com/2015/02/27/sharing-is-everything-but-caring-in-the-sharing-economy/> el 19 de marzo de 2020
- Institute of Entrepreneurship Development. (10 de mayo de 2018). [Imagen en blog]. Recuperada de <https://ied.eu/project-updates/collaborative-economy-and-its-impact/>
- Jiang, B., & Tian, L. (2018). Collaborative consumption: Strategic and economic implications of product sharing. *Management Science*, 64(3), 983-1476. doi: 10.1287/mnsc.2016.2647
- Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2010). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of social media. *Business Horizons*, 53(1), 59-68. doi: 10.1016/j.bushor.2009.09.003
- Laurell, C., & Sandström, C. (2017). The sharing economy in social media: Analyzing tensions between market and non-market logics. *Technological Forecasting & Social Change*, 125(C), 58-65. doi: 10.1016/j.techfore.2017.05.038
- Lessig, L. (2008). *Remix: Making art and commerce thrive in the hybrid economy*. New York: Penguin.
- Mair, J., & Reischauer, G. (2017). Capturing the dynamics of the sharing economy: Institutional research on the plural forms and practices of sharing economy organizations. *Technological Forecasting & Social Change*, 125(C), 11-20. doi: 10.1016/j.techfore.2017.05.023
- Marasco, A. (21 de marzo de 2016). Sharing one more resource of the city: The power. Recuperado de <https://labgov.city/theurbanmedialab/sharing-one-more-resource-of-the-city-the-power/>
- McLaren, D., & Agyeman, J. (29 de febrero de 2016). Sharing power: The crucial challenge for sharing cities. Recuperado de <https://www.shareable.net/sharing-power-the-crucial-challenge-for-sharing-cities/>
- Möhlmann, M. (2015). Collaborative consumption: Determinants of satisfaction and the likelihood of using a sharing economy option again. *Journal of Consumer Behaviour*, 14(3), 193-207. doi: 10.1002/cb.1512
- Muñoz, P., & Cohen, B. (2017). Mapping out the sharing economy: A configurational approach to sharing business modeling. *Technological Forecasting & Social Change*, 125, 21-37. doi: 10.1016/j.techfore.2017.03.035
- Parente, R. C., Geleilate, J. M. G., & Rong, K. (2018). The sharing economy globalization phenomenon: A research agenda. *Journal of International Management*, 24(1), 52-64. doi: 10.1016/j.intman.2017.10.001
- Park, H., & Armstrong, C. M. J. (2017). Collaborative apparel consumption in the digital sharing economy: An agenda for academic inquiry. *International Journal of Consumer Studies*, 41(5), 465-474. doi: 10.1111/ijcs.12354
- Puschmann, T., & Alt, R. (2016). Sharing economy. *Business & Information Systems Engineering*, 58(1), 93-99. doi: 10.1007/s12599-015-0420-2
- Ramos-Rodríguez, A. R., & Ruiz-Navarro, J. (2004). Changes in the intellectual structure of strategic management research: A bibliometric study of the *Strategic Management Journal*, 1980-2000. *Strategic Management Journal*, 25(10), 981-1004. doi: 10.1002/smj.397
- Reza, Habibi, M., Davidson, A., & Laroche, M. (2017). *What managers should know about the sharing economy*. *Business Horizons*, 60(1), 113-121. doi: 10.1016/j.bushor.2016.09.007
- Rifkin, J. (2002). *La era del acceso. La revolución de la nueva economía* (tr. J. Francisco Álvarez & David Teira). Barcelona: Paidós. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=YDWy_ScHq-AC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Scaraboto, D. (2015). Selling, sharing, and everything in between: The hybrid economies of collaborative networks. *Journal of Consumer Research*, 42(1), 152-176. doi: 10.1093/jcr/ucv004
- Sharon, T. (2016). The Googlization of health research: From disruptive innovation to disruptive ethics. *Personalized Medicine*, 13(6), 563-574. doi: 10.2217/pme-2016-0057
- Sheth, J. N., Sethia, N. K., & Srinivas, S. (2011). Mindful consumption: A customer-centric approach to sustainability. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 39, 21-39. doi: 10.1007/s11747-010-0216-3
- Sigala, M. (2017). Collaborative commerce in tourism: Implications for research and industry. *Current Issues in Tourism*, 20(4), 346-355. doi: 10.1080/13683500.2014.982522

- Tussyadiah, I. P. (2016). Factors of satisfaction and intention to use peer-to-peer accommodation. *International Journal of Hospitality Management*, 55, 70-80. doi: 10.1016/j.ijhm.2016.03.005
- Tussyadiah, I. P., & Pesonen, J. (2016). Impacts of peer-to-peer accommodation use on travel patterns. *Journal of Travel Research*, 55(8), 1022-1040. doi: 10.1177/0047287515608505
- Van Esler, M. (2016). Not yet the post-TV era: Network and MVPD adaptation to emergent distribution technologies. *Media and Communication*, 4(3), 131-141. doi: 10.17645/mac.v4i3.548
- Zervas, G., Proserpio, D., & Byers, J. W. (2015). A first look at online reputation on Airbnb, where every stay is above average. Recuperado de https://pdfs.semanticscholar.org/d00a/2a6ae98e302e273437c8f4bd7cdac15bef1b.pdf?_ga=2.147255927.1734545101.1584664832-864086542.1584664832
- _____ (2017). The rise of the sharing economy: Estimating the impact of Airbnb on the hotel industry. *Journal of Marketing Research*, 54(5), 687-705. doi: 10.1509/jmr.15.0204

Revisión de métodos de aprendizaje automático para detectar al parásito de la enfermedad de Chagas

Machine learning methods review to detect Chagas disease parasite

Allan Ojeda-Pat^{†*}, Anabel Martín-González*, Víctor Uc-Cetina*

Ojeda-Pat, A., Martín-González, A., & Uc-Cetina, V. (2020). Revisión de métodos de aprendizaje automático para detectar al parásito de la enfermedad de Chagas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 91-98.

RESUMEN

La enfermedad de Chagas, causada por el parásito *Trypanosoma cruzi*, afecta a una gran cantidad de personas en Latinoamérica. Un análisis de sangre resulta el método preferido para generar un diagnóstico de la enfermedad; sin embargo, es un proceso tardado, ya que requiere de mucho esfuerzo de expertos para analizar grandes cantidades de muestras en búsqueda de parásitos. La implementación de sistemas automáticos que faciliten la detección del parásito en imágenes de muestras de sangre capturadas por microscopio es de gran utilidad. Por tanto, en este artículo de revisión se detallan los diferentes trabajos científicos que utilizan técnicas de aprendizaje automático para detectar y segmentar al parásito *Trypanosoma cruzi* en imágenes digitales.

Palabras clave: enfermedad de Chagas; *Trypanosoma cruzi*; detección; segmentación; aprendizaje profundo; red neuronal convolucional.

Keywords: Chagas disease; *Trypanosoma cruzi*; detection; segmentation; deep learning; convolutional neural network.

Recibido: 16 de julio de 2019, aceptado: 20 de febrero de 2020

* Laboratory for Computational Learning and Imaging Research, Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán. Anillo Periférico Norte, Tablaje Cat. 13615, Colonia Chuburná Hidalgo Inn, C. P. 97115, Mérida, Yucatán, México. Correo electrónico: allan.ojedaa@gmail.com; amarting@correo.uady.mx; ucetina@correo.uady.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5982-6144>; <http://orcid.org/0000-0002-6512-1060>; <http://orcid.org/0000-0002-4713-3762>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Chagas disease, caused by the parasite *Trypanosoma cruzi*, affects many people in Latin America. A blood test is the preferred method to generate a diagnosis of the disease; however, it is a time-consuming process, since it requires a lot of effort by experts to analyze large quantities of samples in the search of the presence of parasites. Implementation of automatic systems that facilitate the detection of the parasite in images of blood samples captured by microscope is very useful. Therefore, in this review article, the different scientific papers that use machine learning techniques to detect and segment the parasite *Trypanosoma cruzi* in digital images are described.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), la enfermedad de Chagas es una infección potencialmente mortal causada por el parásito *Trypanosoma cruzi* (figura 1) (WHO, 2020).

La infección se transmite comúnmente a través del contacto con insectos triatomínicos infectados con el parásito *T. cruzi*. Los insectos triatomínicos (figura 2), también conocidos como chinches, habitan principalmente en áreas rurales de Latinoamérica. Otras vías de transmisión son congénita, trasplante de órganos o transfusión de sangre (WHO, 2020).

Se estima que hay de 7 a 8 millones de personas en el mundo con la enfermedad de Chagas, cuya mayoría se encuentran en México, Centroamérica y Sudamérica, con un promedio de más de 10 mil muertes al año (WHO, s. f., 2020). Se calcula

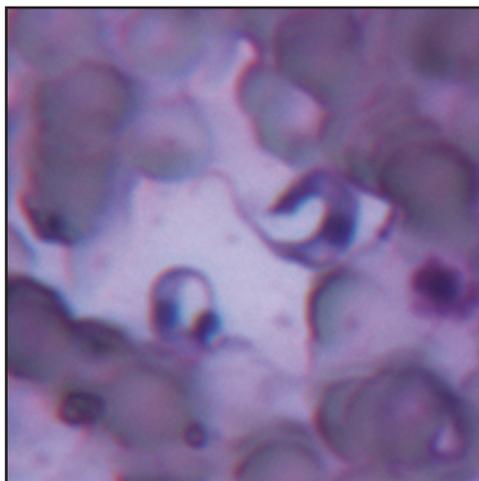


Figura 1. Imagen de muestra sanguínea infectada con el parásito *T. cruzi*. Imagen del equipo de investigación.



Figura 2. Ejemplar de un insecto triatomino. Fotografía tomada de Guhl (marzo de 2008).

que más de 30% de pacientes infectados sufren problemas cardíacos, y más de 10% digestivos, neurológicos o mixtos (WHO, 2020).

Durante la fase inicial de la enfermedad, que ocurre en los primeros dos meses después de la infección, un gran número de parásitos circula por la sangre. Sigue la fase crónica, donde los parásitos se alojan principalmente en el corazón y en el sistema digestivo, lo que dificulta su localización en una muestra de sangre común por medio de microscopio (WHO, 2020). Es de suma importancia realizar los estudios de detección durante la fase inicial para obtener diagnósticos eficaces y un pronto tratamiento de la enfermedad (WHO, 2020). Uno de los

métodos para diagnosticar la enfermedad de Chagas es a través de la prueba de ELISA (Egüez et al., 2017; MedlinePlus, s. f.), la cual trata de una prueba de laboratorio para detectar anticuerpos en la sangre; aunque el método más conveniente para diagnosticarla es mediante el análisis de frotis sanguíneo (Egüez et al., 2017). Un frotis sanguíneo consiste en colocar una gota de sangre sobre un portaobjetos. Posteriormente, la muestra se tiñe para analizarla bajo el microscopio.

La detección de parásitos a través de inspección microscópica de frotis de sangre es una técnica muy común y conveniente, pero en ocasiones requiere de mucho tiempo y esfuerzo, ya que involucra el análisis de muchas muestras de sangre (Górriz et al., 2018; Mehanian et al., 2017; Peñas, Rivera, & Naval, 2017; Poostchi, Silamut, Maude, Jaeger, & Thoma, 2018). Para este tipo de análisis un método de aprendizaje automático puede ayudar a automatizar las actividades de observación bajo microscopio, ya que engloba técnicas y herramientas tecnológicas que permite a las computadoras realizar tareas complejas con alta exactitud (Sidey-Gibbons & Sidey-Gibbons, 2019). En aplicaciones médicas, los métodos basados en aprendizaje automático pueden ayudar a resolver problemáticas relacionadas con el diagnóstico y predicción de enfermedades (Magoulas & Prentza, 2001).

Contar con un sistema automático que identifique al parásito *T. cruzi* podría eliminar o reducir el error humano en la observación de grandes volúmenes de muestras de sangre, especialmente durante la fase crónica de la enfermedad y en zonas altamente endémicas. Por tanto, el propósito de este artículo fue describir los trabajos que implementan algoritmos de aprendizaje automático para la detección del parásito de la enfermedad de Chagas, así como señalar las innovadoras técnicas de aprendizaje profundo, pertenecientes a una subárea de aprendizaje automático, aún no consideradas, que se pueden implementar para detectar la presencia del parásito estudiado.

Detección y segmentación del parásito *T. cruzi*

Un análisis de sangre es esencial para detectar y tratar con oportunidad el padecimiento. Existen otros métodos que requieren pruebas portátiles especializadas para la detección del parásito *T. cruzi* en una muestra de sangre. Uno de ellos es el denominado Chagas Stat-Pak, presentado por Ponce et al. (2005), cuyo método tiene 99.6% de sensibilidad y 99.9% de especificidad; este rendimiento es comparable al que se obtiene con una prueba de ELISA. Otro método

que requiere una prueba portátil es el denominado Chagas Detect Plus (Egüez et al., 2017). Si bien estas pruebas portátiles para diagnosticar la enfermedad de Chagas son rápidas y eficaces, obligatoriamente se requiere algún método manual o serológico para emitir un diagnóstico preciso. En caso de un resultado positivo, el paciente debe iniciar el tratamiento correspondiente (Egüez et al., 2017).

Aunque la enfermedad de Chagas es una infección crónica potencialmente mortal para la población mundial, especialmente en zonas endémicas de Latinoamérica, en el área de aprendizaje automático y de visión por computadora se han reportado un número limitado de trabajos para la detección y segmentación del parásito *T. cruzi* en imágenes de muestras de sangre (Soberanis-Mukul, 2014; Soberanis-Mukul, Uc-Cetina, Brito-Loeza, & Ruiz-Piña, 2013; Uc-Cetina, Brito-Loeza, & Ruiz-Piña, 2013, 2015).

Uc-Cetina et al. (2013) proponen la detección del parásito de Chagas en imágenes de muestras de sangre mediante un algoritmo basado en el análisis del discriminante gaussiano. Su método consiste en analizar la información presente en el canal verde de las imágenes para extraer un vector con 121 características relevantes en zonas de la imagen donde existan posibles núcleos de parásitos. El problema de clasificación consiste en distinguir si el vector de características corresponde a un agente infeccioso de Chagas o no. Para ello, los autores implementaron el análisis de discriminante de Gauss para la construcción de dos modelos: $p(x|y=1)$, que modela la distribución de características de lo que es parecido a un parásito, y $p(x|y=0)$, que modela la distribución de características de lo que no lo parece; donde y indica si un ejemplo es un parásito ($y=1$) o no ($y=0$).

En la clasificación de un nuevo conjunto de píxeles de entrada se calculan las probabilidades del modelo bayesiano, y la mayor probabilidad indicará la clase dominante de la muestra. Como paso final del algoritmo los autores implementaron un algoritmo de búsqueda para encontrar puntos negros en las imágenes, los cuales indican la presencia de posibles núcleos de parásitos. Por cada imagen de entrada, el algoritmo puede clasificar hasta 100 posibles candidatos de núcleos. Su base de datos cuenta con 120 imágenes, de las cuales 60 cuentan con presencia de parásitos.

Los autores propusieron tres distintos modelos de experimentos, pero el que mejor obtuvo resultados fue el Experimento número 2 que aplicó el análisis de componentes principales (PCA) (Duda, Hart, & Stork, 2001) para reducir el tamaño del vector de

características de entrada. Las tasas de rendimiento final que reportaron fueron 0.0167 en falsos negativos, 0.1563 en falsos positivos, 0.8437 en verdaderos negativos y 0.9833 en verdaderos positivos. En la figura 3 se observa un ejemplo de la detección del parásito con el algoritmo de los autores.

En el trabajo presentado por Soberanis-Mukul

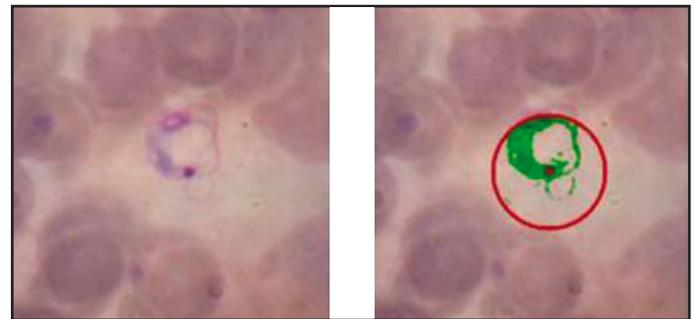


Figura 3. Detección del parásito *T. cruzi*. a) Ejemplo de parásito; b) resultado de detección.

Fotografías tomadas de Uc-Cetina et al. (2013).

et al. (2013) se propone un algoritmo automatizado para detectar el agente infeccioso usando diversas técnicas de segmentación y clasificación en imágenes de muestras de sangre. Su base de datos cuenta con 120 imágenes, de las cuales 60 tienen presencia de parásitos. En una primera etapa de preprocesamiento aplican una máscara con el fin de conservar información presente del cuerpo del parásito. La máscara es el resultado de una umbralización sobre la imagen que contiene la diferencia de los canales azul y verde, previamente calculada. Posteriormente implementan un algoritmo de etiquetado para separar las regiones de píxeles y contabilizar sus áreas, esto con el fin de conservar aquellas regiones cuyas áreas sean similares al de un posible parásito. Como resultado de esta etapa de preprocesamiento se calculan centroides en las imágenes a color en las ubicaciones de las regiones que se mantuvieron.

La etapa de segmentación consiste en separar el objeto de interés (parásito) del fondo. Para ello, un clasificador gaussiano se entrena con ejemplos positivos (lo que representa un objeto de interés) y negativos (lo que no lo representa). Si se calculan las probabilidades que se presentan en el modelo de decisión bayesiano, se obtienen regiones de píxeles de interés que pueden ser un parásito. Posteriormente, los autores realizan una intersección de las imágenes obtenidas en ambas etapas (preprocesamiento y segmentación) para conservar las regiones donde el área obtenida es clasificada como un parásito si

y sólo si también forma parte de la región de interés del resultado del método gaussiano.

En una última etapa las imágenes que se mantuvieron en la intersección pasan por un clasificador de K vecinos más cercanos (Cover & Hart, 1967) previamente entrenado para realizar una clasificación binaria (si es o no es parásito). Después del entrenamiento y pruebas los autores reportaron 98% de sensibilidad y 85% de especificidad. En la figura 4 se muestra un ejemplo de la segmentación del parásito de Chagas con el algoritmo de los autores.

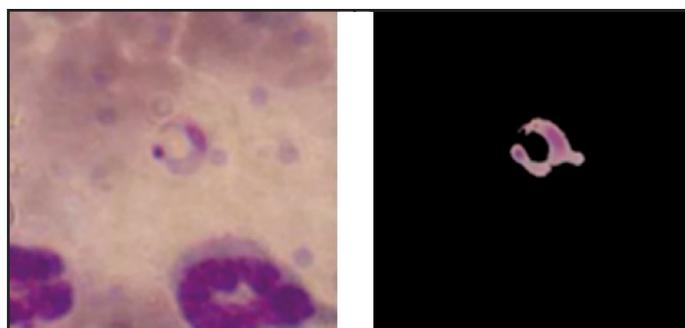


Figura 4. Detección del parásito *T. cruzi*. a) Ejemplo de parásito; b) resultado de segmentación. Fotografías tomadas de Soberanis-Mukul et al. (2013).

En el trabajo de Uc-Cetina et al. (2015) se realiza una comparación de dos algoritmos robustos, AdaBoost y máquinas de soporte vectorial (Support Vector Machine, SVM), para la tarea de detección de *T. cruzi* en imágenes de muestras de sangre. El proceso de detección del agente infeccioso implementando AdaBoost consiste en cuatro etapas: 1) adquisición de las imágenes, 2) preprocesamiento de las imágenes, 3) detección de posibles parásitos entrenando un clasificador binario AdaBoost alimentado con características Haar específicas, y 4) un postprocesamiento usando una técnica enfocada en la acumulación de ADN entrenando una máquina de soporte vectorial para descartar falsos positivos.

Es importante mencionar que las plantillas Haar (Viola & Jones, 2001) propuestas en Uc-Cetina et al. (2015) están diseñadas para representar la morfología común del parásito de *T. cruzi*. Su base de datos cuenta con 120 imágenes, de las cuales 60 tienen presencia de parásitos. Los autores realizaron una comparación del proceso de detección antes mencionado (AdaBoost + SVM) con una implementación para reconocer el parásito de Chagas usando un único clasificador SVM.

El clasificador SVM (Vapnik, 1998) se entrenó con diversas características propuestas en Ross, Pritchard, Rubin y Dusé (2006). Los diversos experimentos que se realizaron fueron con los clasificadores propuestos: 1) AdaBoost, 2) AdaBoost + postprocesamiento, 3) SVM con kernel lineal, 4) SVM con kernel polinomial, y 5) SVM con kernel RBF. La clasificación usando AdaBoost más un postprocesamiento obtuvo los mejores resultados y reportó 100% de sensibilidad y 93.25% de especificidad. En la figura 5 se muestra un ejemplo de la detección de *T. cruzi* con el algoritmo de los autores.

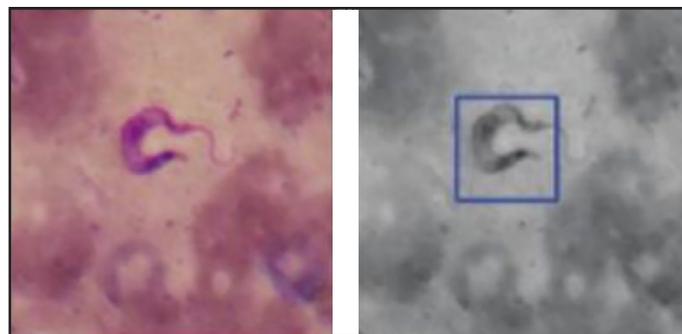


Figura 5. Detección del parásito *T. cruzi*. a) Ejemplo de parásito; b) resultado de detección. Fotografías tomadas de Uc-Cetina et al. (2015).

Soberanis-Mukul (2014) propone una comparación de tres clasificadores (SVM, AdaBoost y redes neuronales artificiales) para detectar y segmentar el parásito *T. cruzi*. Su metodología consiste en tres etapas: 1) cómputo de súper píxeles, 2) extracción de las características óptimas, y 3) entrenamiento de cada clasificador: redes neuronales usando el algoritmo de retro propagación; AdaBoost usando ensamble de perceptrones; y máquinas de soporte vectorial. Los súper píxeles están formados por conjuntos de píxeles que describen regiones continuas delimitadas a lo largo de la imagen.

La propuesta de usar grupos de píxeles permite que se extraigan características considerando el vecindario y la relación de los píxeles dentro de un grupo (Soberanis-Mukul, 2014). Su base de datos empleada consiste en 900 imágenes de ejemplos positivos (con parásitos) y 900 de negativos (sin parásitos). Los vectores de características de entrada para los clasificadores contienen distintos valores con base en espacios de color de los súper píxeles. En una primera etapa de la experimentación se escoge la configuración del vector de características que mejor desempeño obtenga en los tres clasificadores propuestos por el autor. Posteriormente, com-

para el desempeño de sus clasificadores contra tres algoritmos en el estado del arte: clasificador gaussiano, clasificador de Bayes y el algoritmo propuesto en Soberanis-Mukul (2012).

Al finalizar la experimentación el autor reporta que el clasificador gaussiano presentó el menor error cuadrático medio con 0.18568, seguido del clasificador SVM propuesto por el autor (con un tamaño de súper pixel de 100) que obtuvo 0.22635 y, por último, el clasificador usando redes neuronales con un error de 0.361. En la figura 6 se muestra un ejemplo de los resultados de clasificación para una imagen de entrada. El autor concluye que la técnica de súper píxeles permite adaptarse a los contornos del contenido de las imágenes, lo cual aísla de forma parcial o total el objeto de interés del fondo durante la clasificación.

DISCUSIÓN

En la tabla 1 se resumen los trabajos previamente descritos basados en aprendizaje automático para la detección de la enfermedad de Chagas. Dichos estudios implementan algoritmos de aprendizaje automático que se entrenan con características que los autores proponen después de analizar las imágenes. Si bien para los trabajos descritos ha resultado adecuado definir empíricamente las características a utilizar para la detección o segmentación del parásito, existen otras metodologías pertenecientes al área

de aprendizaje profundo que aprenden a extraer automáticamente las características más importantes y las procesan según su requerimiento; de esta forma, se evita tener que proponer manualmente el conjunto de características que alimentarán al algoritmo de detección o segmentación (Deep & Chokkalingam, 2019; Górriz et al., 2018; Poostchi et al., 2018).

Aunque los trabajos existentes no destacan por tener un alto desempeño de detección y reportan un elevado valor de falsos negativos (lo que indicaría que una persona no esté infectada erróneamente), es un buen comienzo para apoyar en el diagnóstico de la enfermedad de Chagas. Algoritmos basados en las redes neuronales convolucionales (CNN) de aprendizaje profundo para el análisis de imágenes biomédicas, se han convertido rápidamente en una metodología de uso debido al alto desempeño que se ha obtenido en los resultados de clasificación, detección y segmentación de objetos (Dong, Jiang, Shen, & Pan, 2017a; Dong et al., 2017b; Gopakumar, Swetha, Sai-Siva, & Sai-Subrahmanyam, 2018; Górriz et al., 2018; Liang et al., 2016; Mehanian et al., 2017; Peñas et al., 2017; Quinn et al., 2016). Sin embargo, estas técnicas no han sido exploradas para la detección de la presencia de *T. cruzi*, donde el reto principal es contar con un gran número de imágenes de entrenamiento (Razzak, Naz, & Zaib, 2018) para que el algoritmo pueda aprender y obtener los resultados de detección y/o segmentación del parásito causante de la enfermedad estudiada.

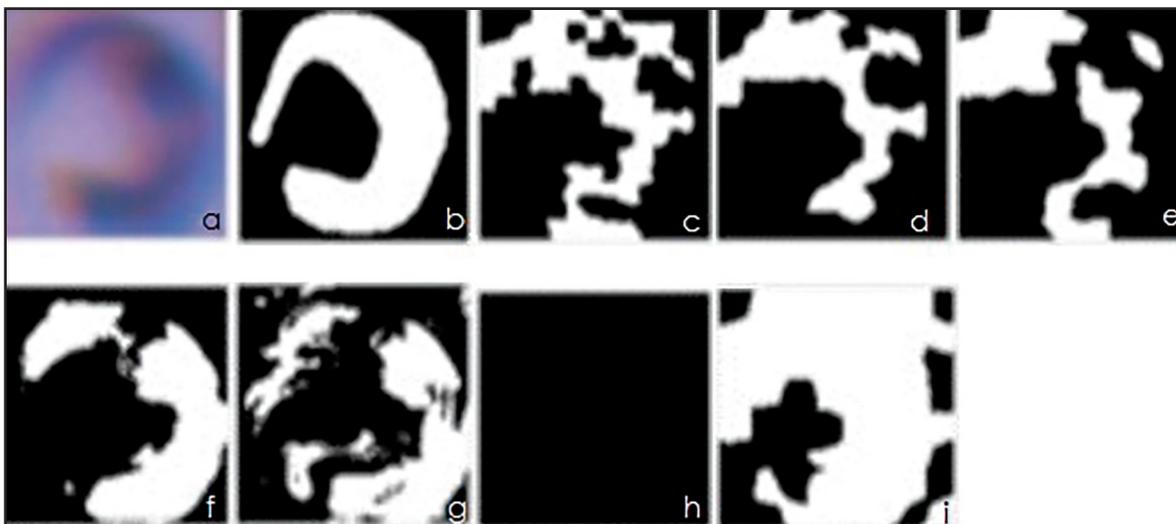


Figura 6. Ejemplo de la segmentación. a) Imagen original; b) segmentación manual; c), d) y e) segmentaciones con SVM y súper píxeles de 50, 100 y 150, respectivamente; f) clasificación gaussiana; g) clasificación bayesiana; h) clasificación con método de Soberanis-Mukul (2012); i) clasificación con redes neuronales. Fotografías tomadas de Soberanis-Mukul (2014).

Tabla 1

Comparación de los trabajos descritos para detectar y segmentar el parásito *T. cruzi*

Trabajo del autor	Extracción de características	de	Algoritmo de clasificación	Métrica de evaluación y valor
Uc-Cetina et al. (2013)	Extracción en regiones de píxeles del canal verde de las imágenes		Clasificador de Gauss	Falsos negativos 0.0167, falsos positivos 0.1563, verdaderos negativos 0.8437 y verdaderos positivos 0.9833
Soberanis-Mukul et al. (2013)	Extracción en regiones de píxeles después de aplicar filtros y umbrales en base a la información de los canales verde y azul de las imágenes		Clasificador de Gauss y K-vecinos más cercanos	98% de sensibilidad y 85% de especificidad.
Soberanis-Mukul (2014)	Extracción aplicando la técnica de súper píxeles		SVM, AdaBoost y redes neuronales artificiales	Error cuadrático medio: del clasificador SVM 0.22635 y red neuronal artificial 0.361.
Uc-Cetina et al. (2015)	Extracción aplicando plantillas Haar diseñadas para la morfología parásito de Chagas y extracción considerando técnicas del estado del arte.		AdaBoost y SVM	100% de sensibilidad y 93.25% de especificidad

Nota: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La enfermedad de Chagas es una infección crónica parasitaria ocasionada por el agente infeccioso *T. cruzi*. De los métodos para realizar un diagnóstico de la enfermedad, el más común es el análisis de frotis de sangre. Sin embargo, este método manual requiere de tiempo y esfuerzo, especialmente para analizar grandes cantidades de muestras de sangre, por ejemplo, pacientes en fase crónica, o en zonas altamente endémicas. Los trabajos reportados hasta ahora son de métodos tradicionales de aprendizaje automático para la detección y segmentación de los parásitos en imágenes de muestras de sangre; estos destacan por la facilidad de corroborar que la muestra que se detectó como infectada sea correc-

ta, lo que reduce el esfuerzo y el tiempo necesarios. Sin embargo, aún no destacan por tener alta eficiencia, pero es buen comienzo para apoyar en el diagnóstico de la infección parasitaria que causa afecciones de consideración en Latinoamérica. Mediante metodologías avanzadas de aprendizaje profundo en tendencia es posible aumentar la eficiencia de los métodos actuales, dados los prometedores resultados que estas innovadoras técnicas han reportado en el análisis de imágenes biomédicas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo parcial para el desarrollo de esta recopilación científica.

REFERENCIAS

- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21-27. doi: 10.1109/TIT.1967.1053964
- Deepa, N., & Chokkalingam, S. P. (2019). Deep convolutional neural networks (CNN) for medical image analysis. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8(3), 607-610. Recuperado de <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i3S/C11290283S19.pdf>
- Dong, Y., Jiang, Z., Shen, H., & Pan, W. D. (2017a). Classification accuracies of malaria infected cells using deep convolutional neural networks based on decompressed images. *SoutheastCon 2017*, Charlotte, NC, US, 1-6. doi: 10.1109/SECON.2017.7925268
- Dong, Y., Jiang, Z., Shen, H., Pan, W. D., Williams, L. A., Reddy, V. V., ... Bryan, A. W. (2017b). Evaluations of deep convolutional neural networks for automatic identification of malaria

- infected cells. *2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)*, Orlando, Florida, US, 101-104. doi: 10.1109/BHI.2017.7897215
- Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2001). *Pattern Classification* (2nd ed.). NY, US: Wiley-Interscience New York.
 - Egüez, K. E., Alonso-Padilla, J., Terán, C., Chipana, Z., García, W., Torrico, F., ... Pinazo, M. J. (2017). Rapid diagnostic tests duo as alternative to conventional serological assays for conclusive Chagas disease diagnosis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 11(4). doi: 10.1371/journal.pntd.0005501
 - Gopakumar, G. P., Swetha, M., Sai-Siva, G., & Sai-Subrahmanyam, G. R. K. (2018). Convolutional neural network-based malaria diagnosis from focus stack of blood smear images acquired using custom-built slide scanner. *Journal of Biophotonics*, 11(3), e201700003. doi: 10.1002/jbio.201700003
 - Górriz, M., Aparicio, A., Raventós, B., Vilaplana, V., Sayrol, E., & López-Codina, D. (2018). Leishmaniasis parasite segmentation and classification using deep learning. In F. Perales & J. Kittler (Eds.), *Articulated motion and deformable objects* (pp. 53-62). Springer. doi: 10.1007/978-3-319-94544-6_6
 - Guhl, F. (marzo de 2008). Photograph showing an adult specimen of *Triatoma dimidiata* from Colombia [Fotografía]. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Triatoma_dimidiata-adult.jpg
 - Liang, Z., Powell, A., Ersoy, I., Poostchi, M., Silamut, K., Palaniappan, K., ... Thoma, G. (2016). CNN-based image analysis for malaria diagnosis. *2016 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 493-496. doi: 10.1109/BIBM.2016.7822567
 - Magoulas, G. D., & Prentza, A. (2001). Machine learning in medical applications. In G. Paliouras, V. Karkaletsis, & C. Spyropoulos (Eds.), *Machine Learning and Its Applications* (pp. 300-307). doi: 10.1007/3-540-44673-7_19
 - MedlinePlus. (s. f.). Examen de sangre ELISA [Especificaciones]. Recuperado de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003332.htm>
 - Mehanian, C., Jaiswal, M., Delahunt, C., Thompson, C., Horning, M., Hu, L., ... Bell, D. (2017). Computer-automated malaria diagnosis and quantitation using convolutional neural networks. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*, 116-125. doi: 10.1109/ICCVW.2017.22
 - Peñas, K. E. D., Rivera, P. T., & Naval, P. C. (2017). Malaria parasite detection and species identification on thin blood smears using a convolutional neural network. *2017 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, 1-6. doi: 10.1109/CHASE.2017.51
 - Ponce, C., Ponce, E., Vinelli, E., Montoya, A., Aguilar, V., Gonzalez, A., ... Silveira, J. (2005). Validation of a rapid and reliable test for diagnosis of Chagas' disease by detection of *Trypanosoma cruzi*-specific antibodies in blood of donors and patients in Central America. *Journal of Clinical Microbiology*, 43(10), 5065-5068. doi: 10.1128/JCM.43.10.5065-5068.2005
 - Poostchi, M., Silamut, K., Maude, R. J., Jaeger, S., & Thoma, G. (2018). Image analysis and machine learning for detecting malaria. *Translational Research*, 194, 36-55. doi: 10.1016/j.trsl.2017.12.004
 - Quinn, J. A., Nakasi, R., Mugagga, P. K. B., Byanyima, P., Lubega, W., & Andama, A. (2016). Deep convolutional neural networks for microscopy-based point of care diagnostics. *Proceedings of International Conference on Machine Learning for Health Care*, 56, 271-281. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1608.02989>
 - Razzak, M. I., Naz, S., & Zaib, A. (2018). Deep learning for medical image processing: Overview, challenges and the future. In N. Dey, A. Ashour, & S. Borra (Eds.), *Classification in BioApps* (pp. 323-350). Springer. doi: 10.1007/978-3-319-65981-7_12
 - Ross, N. E., Pritchard, C. J., Rubin, D. M., & Dusé, A. G. (2006). Automated image processing method for the diagnosis and classification of malaria on thin blood smears. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44(5), 427-436. doi: 10.1007/s11517-006-0044-2
 - Sidey-Gibbons, J. A. M., & Sidey-Gibbons, C. J. (2019). Machine learning in medicine: A practical introduction. *BMC Medical Research Methodology*, 19(64). doi: 10.1186/s12874-019-0681-4
 - Soberanis-Mukul, R. (2012). *Detección de Trypanosoma cruzi en imágenes obtenidas a partir de muestras sanguíneas* (Tesis de pregrado inédita). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán.
 - _____ (2014). *Algoritmos de segmentación de Trypanosoma cruzi en imágenes de muestras sanguíneas* (Tesis de maestría inédita). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán.
 - Soberanis-Mukul, R., Uc-Cetina, V., Brito-Loeza, C., & Ruiz-Piña, H. (2013). An automatic algorithm for the detection of *Trypanosoma cruzi* parasites in blood sample images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 112(3), 633-639. doi: 10.1016/j.cmpb.2013.07.013
 - Uc-Cetina, V., Brito-Loeza, C., & Ruiz-Piña, H. (2013). Chagas parasites detection through gaussian discriminant analysis. *Abstraction and Application*, 8, 6-17. Recuperado de red.uady.mx:8080/bitstream/handle/123456789/770/UcBrito-Ruiz_2013.pdf

- _____ (2015). Chagas parasite detection in blood images using adaboost. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015. doi: 10.1155/2015/139681
- Vapnik, V. N. (1998). *Statistical learning theory*. Wiley.
- Viola, P. & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR 2001*. Kauai, HI, US, 511-518. doi: 10.1109/CVPR.2001.990517
- World Health Organization. (s. f.). Chagas disease (American trypanosomiasis) [Ficha informativa]. Recuperado de <https://www.who.int/chagas/disease/en/>
- _____ (2020). Chagas disease (also known as American trypanosomiasis) [Datos clave]. Recuperado de [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis))

Rory V. O'Connor. In memoriam

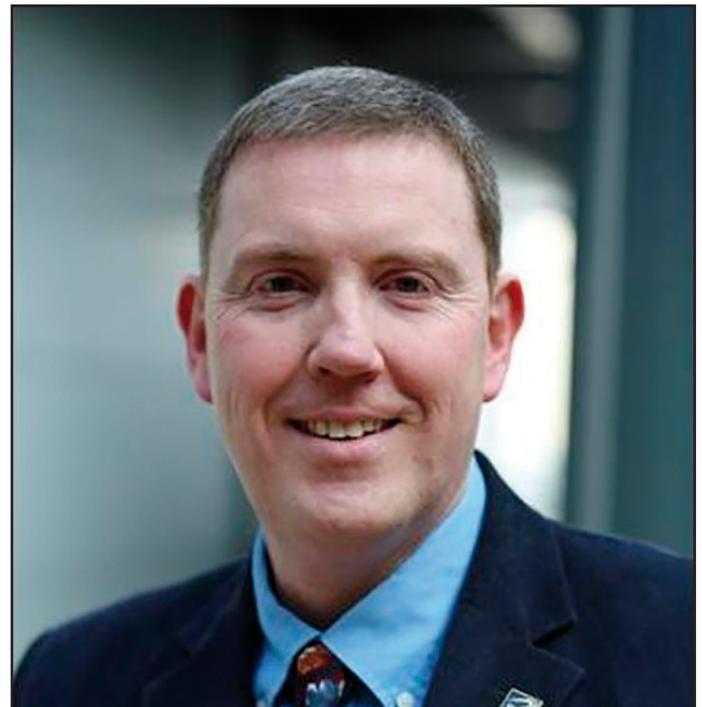
Manuel Mora*✉

Mora, M. (2020). Rory V. O'Connor. In memoriam [Obituario]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 99-101.

El profesor Rory V. O'Connor nació en Dublín, Irlanda, en 1972 y murió en París, Francia, en 2019. Fue un distinguido académico e investigador de nivel internacional en la disciplina de la Ingeniería de Software, enfocándose principalmente a las temáticas de Procesos de Mejoramiento de Software, Estándares de Procesos de Software y Aspectos Conductuales de los Desarrolladores de Software.

Las contribuciones principales del profesor O'Connor se centran principalmente en tres aspectos de la Ingeniería de Software: 1) estudios conceptuales y empíricos sobre diversas acciones conducidas en organizaciones para mejorar procesos de software; 2) co-diseño del nuevo estándar internacional ISO/IEC 29110 para las entidades conformadas entre 1 y 25 personas; 3) estudios innovadores sobre el uso de técnicas de juegos serios para mejorar la enseñanza de la Ingeniería de Software.

En la primera temática destacan sus trabajos publicados en los journals de Ingeniería de Software de alto prestigio (i. e. *Information and Software Technology*, *Journal of Systems and Software*, *IEEE Software*, *Journal of Software Evolution and Practice*, y *Australian Journal of Information Systems*) referentes a: 1) Marco conceptual de factores situacionales que afectan el proceso de desarrollo de software (Clarke & O'Connor, 2012), modelo teórico usando el método de Teoría basada en Evidencias, sobre relaciones causales para el mejoramiento de procesos de software en organizaciones (Coleman & O'Connor, 2007, 2008), y el desarrollo de un instrumento psicométrico para medir el conocimiento tácito en grupos de desarrollo (Ryan & O'Connor, 2009, 2013). En la temática 2 destacan sus trabajos sobre la necesidad y desarrollo de un estándar ISO para las entidades de 1 a 25 personas (Laporte & O'Connor, 2017; Lapor-



El profesor Rory V. O'Connor.
Imagen tomada de gconway (17 de septiembre de 2019).

te, O'Connor, & Fanmuy, 2013; Larrucea, O'Connor, Colomo-Palacios, & Laporte, 2016), publicados en relevantes *journals* internacionales. Finalmente, en la temática 3 destacan sus trabajos referentes a una revisión sistemática de juegos serios aplicados a la educación de estándares de procesos de software (Calderón, Ruiz, & O'Connor, 2018), el desarrollo de juegos serios para la enseñanza del estándar ISO/IEC 12207 (Aydan, Yilmaz, Clarke, & O'Connor, 2017), y la edición de un número especial en juegos serios para entender los procesos sociales en el desarrollo de software (Yilmaz, O'Connor, & Mora, 2016).

Se distinguió por ser un investigador altamente reconocido con un h-índice de 25 y más de 2,000 citas reportadas en Mendeley (2019), y un académico formador de recursos humanos de alto desempe-

* Departamento de Sistemas de Información, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, Cd. Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, México. Correo electrónico: jose.mora@edu.uaa.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1631-5931>

✉ Autor para correspondencia

ño a nivel doctoral, así como investigador principal y cofundador en uno de los Centros de Investigación más importantes de Europa y a nivel mundial en la disciplina de Ingeniería de Software (LERO en Irlanda) (LERO, 2019), así como impulsor y organizador de la relevante EuroSPI Conferencia, la cual a partir de 2019 ha creado el Premio Internacional Rory O'Connor para la Excelencia en Investigación. Asimismo, fue Editor en Jefe de un prestigiado JCR, Computers Standards & Interfaces, fungió como el representante nacional en Irlanda del Comité de Estándares ISO/IEC JTC1 SC7, y fue director de la Escuela y Facultad de Computación, en la Universidad de la Ciudad de Dublín, Irlanda (gconway, 2019).

En resumen, la productividad del profesor O'Connor consta de 74 artículos en journals, 174 artículos en conferencias internacionales, 20 capítulos de libros internacionales, 28 libros coeditados, múltiples invitaciones a ser conferencista magistral y ser reconocido en los 10 mejores investigadores en su área a nivel mundial.

Tuvo estudios formales de Computación (1993), Maestría en Computación (1995), ambos de la Universidad de la Ciudad de Dublín, y el Doctorado de la Universidad de la Ciudad de Londres (2000).

En el aspecto humano fue reconocido ampliamente por sus estudiantes, colegas académicos y superiores de la Universidad de la Ciudad de Dublín,

el Centro de Investigación LERO en Irlanda, así como por la vasta comunidad científica que tuvimos la fortuna de conocerlo y establecer algunas colaboraciones. Como una muestra del apoyo y sencillez en su trato en 2008 apoyó a la fundación de un journal indexado internacional (no JCR) y colaboró inicialmente como revisor y posteriormente como editor asociado en el área de Ingeniería de Software y, a pesar de sus múltiples compromisos, nunca declinó este rol. Por el contrario, siempre tuvo la sencillez de oportunamente colaborar en tiempo y forma con las revisiones solicitadas. Asimismo, apoyó esfuerzos doctorales en la Universidad Autónoma de Aguascalientes y recibió durante un mes de estancia académica a un doctorante durante el año 2016 (ahora Dr. Sergio Galván Cruz).

En resumen, el profesor O'Connor siempre tuvo tiempo y alta disposición para ayudar, enseñar, corregir, impulsar y valorar los esfuerzos académicos y de investigación en sus áreas de interés en la Ingeniería de Software.

Las personas que tuvimos la oportunidad de conocerlo, tratarlo y colaborar académicamente con él, fuimos afortunados de recibir su apoyo en nuestro desarrollo y crecimiento personal académico y humano.

¡Gracias profesor O'Connor! Descanse en Paz.

REFERENCIAS

- Aydan, U., Yilmaz, M., Clarke, P. M., & O'Connor, R. V. (2017). Teaching ISO/IEC 12207 software lifecycle processes: A serious game approach. *Computer Standards & Interfaces*, 54, 129-138.
- Calderón, A., Ruiz, M., & O'Connor, R. V. (2018). A serious game to support the ISO 21500 standard education in the context of software project management. *Computer Standards & Interfaces*, 60, 80-92.
- Clarke, P., & O'Connor, R. V. (2012). The situational factors that affect the software development process: Towards a comprehensive reference framework. *Information and Software Technology*, 54(5), 433-447.
- Coleman, G., & O'Connor, R. (2007). Using grounded theory to understand software process improvement: A study of Irish software product companies. *Information and Software Technology*, 49(6), 654-667.
- _____ (2008). Investigating software process in practice: A grounded theory perspective. *Journal of Systems and Software*, 81(5), 772-784.
- gconway (17 de septiembre de 2019). Prof. Rory O'Connor (R.I.P.) - Head of school 2014-2019 [Documento en línea con fotografía ilustrativa en DCU School of Computing]. Recuperado de <https://www.computing.dcu.ie/news/prof-rory-oconnor-rip-head-school-2014-2019>
- Laporte, C. Y., & O'Connor, R. V. (2017). An overview of eight implementations. *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, May-June, 23-27.
- Laporte, C. Y., O'Connor, R. V., & Fanmuy, G. (2013). International systems and software engineering standards for very small entities. *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, May-June, 28-33.
- Larrucea, X., O'Connor, R. V., Colomo-Palacios, R., & Laporte, C. Y. (2016). Software process improvement in very small organizations. *IEEE Software*, 33(2), 85-89.
- LERO. The Irish Software Research Centre. (2019). Tribute to Professor Rory O'Connor [Documento en línea]. Recuperado de <https://www.lero.ie/news-and-events/news/tribute-professor-rory-oconnor>
- Mendeley (2019). Rory O'Connor (Perfil de usuario). Recuperado de <https://www.mendeley.com/profiles/rory-oconnor5/>
- Ryan, S., & O'Connor, R. V. (2009). Development of a team measure for tacit knowledge in software development teams. *Journal of Systems and Software*, 82(2), 229-240.
- _____ (2013). Acquiring and sharing tacit knowledge in software development teams: An empirical study. *Information and Software Technology*, 55(9), 1614-1624.
- Yilmaz, M., O'Connor, R. V., & Mora, M. (2016). Improving social aspects of the software development process: Games, gamification and related approaches. *Journal of Universal Computer Science*, 22(12), 1487-1488.

Destellos arquitectónicos en Aguascalientes

López-García, J.J. (2018). *Destellos arquitectónicos en Aguascalientes* (334 pp., ISBN 978-607-8523-63-4). México: UAA.

Rocío Ramírez-Villalpando*✉

Ramírez-Villalpando, R. (2020). *Destellos arquitectónicos en Aguascalientes* [Reseña de libro]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 102-103.

El Dr. J. Jesús López-García en este trabajo editorial colabora en gran medida a la salvaguarda en la memoria colectiva de constructores y profesionales, así como edificaciones arquitectónicas y urbanas de diversos géneros y, en muchos casos, parteaguas arquitectónicos de la ciudad acaliteña; libros como este, proporcionan la posibilidad de que la arquitectura, sea para quien la recorre más que una grata experiencia, un paisaje enriquecido de piedra, concreto, acero o vidrio; que embellece un territorio no solamente con su plástica, sino con el valor que brinda el conocimiento integral de la misma. En esta publicación incluye un panorama que complementa al libro del mismo autor, *Sobre... arquitectura*; de esta manera nutre a la población de conocimiento sobre la materia.

La obra, conformada por cuatro partes y dividida en seis capítulos, expone el panorama arquitectónico de la ciudad de Aguascalientes a través de su historia. Permite conocer etapas de cantera y adobe; realizar recorridos por los sitios de antaño -tradición y añoranza- además refleja la empatía de la obra construida con los habitantes de aquella época. Deja sentado el crecimiento de la entidad con diversas aportaciones que, aunque en ocasiones sutiles, permitieron afianzar el carácter de una arquitectura con tendencia moderna adaptada a las necesidades específicas de la entidad.

López-García aborda la segunda mitad del siglo XX haciendo una particular mención a la participación de los arquitectos, quienes dejarían huella tanto en la ciudad como en la enseñanza



Portada del libro *Destellos arquitectónicos en Aguascalientes*.

de la arquitectura a través de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Igualmente plasma la diversidad constructiva que alberga el desarrollo de los profesionistas en la ciudad capital y, por último, reflexiona sobre el futuro de la arquitectura en Aguascalientes, la que, a través de nuevas expresiones edilicias, ha cuestionado indirectamente la permanencia de la obra en el tiempo; esto ante la importante presencia de arquitectura efímera, que parece entrelazarse con las manifestaciones sociales, políticas y económicas prevalecientes en el siglo XXI.

* Departamento de Arquitectura, Centro de Ciencias de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Cd. Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, México. Correo electrónico: rramirezvi@correo.uaa.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7964-7058>

✉ Autor para correspondencia

La de López-García es una obra que permite a los interesados en el desarrollo arquitectónico de la ciudad de Aguascalientes conocer y dimensionar la importancia de las edificaciones, así como de su traza urbana. Con su lectura resulta posible visualizar las transformaciones y cómo paulatinamente se ha dado una adaptación frente a la nueva visión de ciudad, conservando su esencia provincial.

Este trabajo editorial brinda de manera constante basto conocimiento sobre civilizaciones históricas de suma importancia, su comportamiento y forma de hacer ciudad; lleva al lector de manera entrelazada a diversas épocas, permitiendo con ello, de manera general, comprender la conformación, historia y contemporaneidad de la ciudad de Aguascalientes.

La visión amplia que esta investigación alberga hace posible conocer aquello que ha dejado un desarrollo positivo para la ciudad; deja ver las áreas de oportunidad que en la materia se tienen. Al mismo tiempo establece que, con un enfoque académico y profesional adecuado, resulta posible salvaguardar la identidad y el patrimonio; con ello, la memoria colectiva que impacta tanto arquitectónica como urbanamente a la entidad. Este texto es un valioso documento, no solamente para la arquitectura de un estado, sino para la historia del mismo; lo que constituye una oportunidad de valorar la ciudad y a quienes la han conformado.

Agradecimiento a Félix Camacho Roque (1964-2020)

Equipo editorial revista *Investigación y Ciencia de la Universidad
Autónoma de Aguascalientes*



Félix Camacho Roque (1964-2020).
Imagen proporcionada por Ana Kristina Camacho Rosales.

No es sencillo hablar de una persona cuando se va, más cuando compartimos momentos tan especiales con él.

Félix Camacho fue una persona muy especial, un compañero y amigo que siempre nos regaló una sonrisa y su tranquilidad y paciencia. En la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* dedicamos estas líneas como un homenaje a su trayectoria, dedicación y trabajo entregado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Como anécdota laboral, son incontables las veces que ante un número de revista aparentemente ya terminado y para autorizar fuimos o hablamos al Departamento de Procesos Gráficos, le pedimos modificar algún detalle y ante

ello siempre nos demostró su carácter paciente y amable. A nivel personal, fue muy lindo compartir su alegría y satisfacción cuando supimos acerca de la graduación de su hija de la carrera de Arquitectura de esta casa de estudios.

Será triste hacer el camino y llegar al Departamento de Procesos Gráficos y no saludarlo, trabajando acompañado por el discreto sonido de una estación de radio y algún comentario bromista de compañeros de trabajo.

A quienes lo conocimos nos quedan sus palabras y sonrisa, que estarán con nosotros para acompañar nuestro camino.

Muchas gracias y hasta siempre, Félix.

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 e Informe Académico.

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.xxxxxxxxx

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) **Mensajería o entrega personal** en la Dirección General de Investigación y Posgrado, en un sobre cerrado dirigido a Alicia Edith Hermosillo de la Torre, editora de la revista, el cual deberá contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.
- b) **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.

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
investigacion.uaa.mx/RevistalyC

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.