



**Protocolos
experimentales
¿símil real de la
diabetes humana?** ▶ **51**

**Desarrollo de la
noción de número
en preescolar** ▶ **72**

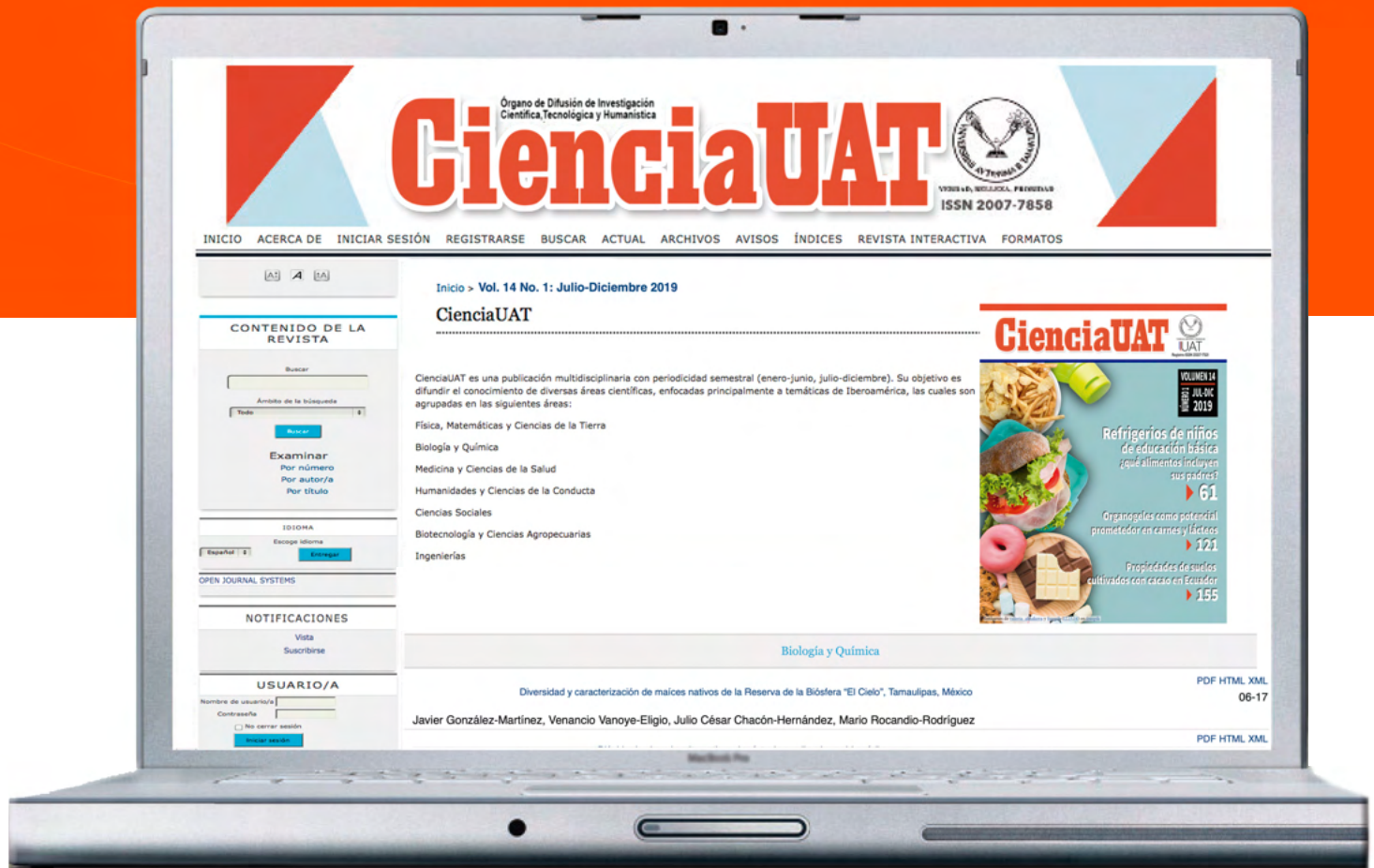


**Uso y apropiación de
plataformas digitales
de los jóvenes** ▶ **87**

VOLUMEN 14

NÚMERO 2
ENE-JUN
2020

INFORMACIÓN PARA EL MUNDO DESDE TU UNIVERSIDAD



www.revistaciencia.uat.edu.mx

Tel. 01(834) 318 17 29
e-mail: cienciauat@uat.edu.mx

Directorio

Ing. M. C. José Andrés Suárez Fernández

Rector

**Universidad Autónoma de
Tamaulipas**

Dr. Eduardo Arvizu Sánchez

Secretario General

Dra. Rosa Issel Acosta González

Secretaria Académica

Dr. Julio Martínez Burnes

Secretario de Investigación y Posgrado

Dr. Héctor Manuel Cappello García

**Secretario Técnico del Consejo de
Publicaciones**

CienciaUAT, Año 14, Número 2, enero-junio, es una publicación semestral multidisciplinaria, publicada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, con domicilio en Matamoros s/n, Centro, Juan B. Tijerina y C. Colón, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87000. Tels. 01(834) 318 18 00 y 318 17 00, sitios web: www.uat.edu.mx, www.revistacienciauat.uat.edu.mx. Editor responsable: José Alberto Ramírez de León. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo N° 04-2016-060213163700-102, ISSN2007-7521, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Número de Certificado de Licitud de Título: 14 077. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11 650, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal Cartas CA 28-0053 autorizado por Servicio Postal Mexicano. Impresa por el Departamento de Fomento Editorial, Edificio Administrativo, Planta Baja, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149. Tel. 01(834) 318 17 46. Este número se terminó de imprimir el 31 de enero de 2020, con un tiraje de 500 ejemplares. Distribuida por Revista CienciaUAT, Edificio Centro de Excelencia, Primer Piso, Centro Universitario Victoria "Lic. Adolfo López Mateos", Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149. Tels. 01(834) 318 18 00 y 01(834) 318 17 00, exts. 2894, 2896 y 2897. Tel. directo: 01(834) 318 17 29.

Se permite la reproducción del contenido para actividades no comerciales dando los créditos correspondientes a la revista CienciaUAT. Los artículos e investigaciones son responsabilidad de los autores.

Prólogo

Estimados lectores:

CienciaUAT presenta artículos pertenecientes a cinco áreas del conocimiento que compartimos con investigadores, docentes, académicos y la comunidad en general.

En el área de Biología y Química se inscriben tres artículos. El primero trata sobre el tipo de vegetación presente en los márgenes urbanos del río Santa Catarina, en Monterrey, Nuevo León. El segundo aborda las propiedades curativas de la planta *Buddleja* para tratar la inflamación intestinal. En el tercero se resalta la importancia en la conservación del arrecife Palo Seco y su comunidad ictiológica, en el sur de Veracruz.

En el espacio dedicado a Medicina y Ciencias de la Salud, se presenta un análisis de los protocolos farmacológicos utilizados en la emulación de la diabetes experimental. Además, se evaluaron los métodos utilizados para el diagnóstico de vaginosis bacteriana, en el ISSSTE Hospital Regional Puebla.

En el área de las Ciencias Sociales, los autores identificaron tres principios de enseñanza para favorecer el desarrollo de la noción de número y del conocimiento lógico matemático en los niños de preescolar, utilizando las tecnologías de la información. En el sur de Tamaulipas se realizó un estudio en jóvenes, que tuvo como objetivo diagnosticar el uso de las plataformas digitales. En otro tema, de la misma área, se muestra que el uso de paquetes tecnológicos, para la producción de frijol en zonas de temporal, permite mejorar el ingreso neto de los productores.

En el campo de la Biotecnología y Ciencias agropecuarias, se ofrece una alternativa para prolongar la vida útil del jugo de naranja, por medio de encapsulado de gel iónico. En la parte agropecuaria los autores evaluaron los efectos del probiótico de *Candida norvegensis* en la degradación ruminal del rastrojo de maíz, presentando mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia en corderos.

En la disciplina de las ingenierías, se cuenta con un artículo sobre las pérdidas de presión para flujo bifásico a través de lechos porosos, y otro artículo que analiza los cambios en el uso de la tierra en el municipio de San Fernando, Tamaulipas, en la década pasada.

Espero que disfruten la lectura de estos artículos donde participan investigadores y docentes de diversas comunidades académicas, reunidos por nuestra invitación permanente y cordial, para contribuir, de manera generosa, a mantener la calidad de CienciaUAT.

Yo creo en la UAT



Ing. M. C. José Andrés Suárez Fernández
Rector
**Universidad Autónoma de
Tamaulipas**

COMITÉ EDITORIAL

CienciaUAT

EDITOR RESPONSABLE

Dr. José Alberto Ramírez de León (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
E-mail: ramirez@uat.edu.mx

EDITORES DE INGLÉS

Dr. Alberto Mora Vázquez (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

Dr. Nelly Paulina Trejo Guzmán (Candidato SNI)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México



FÍSICA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Dra. Evelia Reséndiz Balderas, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. José Alberto Batista Rodríguez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila (UAC), México



BIOLOGÍA Y QUÍMICA

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez, (SNI II)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR), México
Dra. Elisa Serviere Zaragoza, (SNI II)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC (CIBNOR), México
Dr. Arturo Mora Olivo, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Enrique Ruíz Cancino, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Juana María Coronado Blanco, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Javier Jiménez Pérez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dr. Enrique Jurado Ybarra, (SNI III)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dr. Gildardo Rivera Sánchez, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, (SNI II)
Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México
Dr. Manuel León Camacho, Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC), España
Dr. Enrique Richard
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador



MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD

Dr. Amaury de Jesús Pozos Guillén, (SNI II)
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
Dr. Carlos Javier Pineda Villaseñor, (SNI III)
Instituto Nacional de Rehabilitación, México
Dr. Aldo Fidel Izaguirre Hernández
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Montserrat Bacardi Gascón, (SNI III)
Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México
Dr. Guillermo Manuel Ceballos Reyes, (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. Sandro Fernandes Da Silva
Universidad Federal de Lavras, Brasil
Dr. Juan Miguel Jiménez Andrade, (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Octelina Castillo Ruiz, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Francisco Vázquez Nava, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Virgilio Bocanegra García, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. Ramiro Iglesias Leal
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México



HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA CONDUCTA

Dra. María Elena Rivera Heredia, (SNI I)
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dr. Octavio Herrera Pérez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. José Luis Ybarra Sagarduy, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Coahuila (UAC), México
Dra. María Elena Teresa Medina-Mora Icaza, (SNI III)
Secretaría de Salud, México



CIENCIAS SOCIALES

Dra. Laila Alicia Peralta Escobar, (SNI C)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Karla Lorena Andrade Rubio, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Julieta María Ana Quilodrán Salgado, (SNI II)
El Colegio de México, México
Dra. Lucila Hinojosa Córdova, (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dr. Rodolfo Casillas Ramírez
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México
Dr. Arturo Zárate Ruiz
El Colegio de la Frontera Norte, México
Dra. Guadalupe Correa Cabrera
George Mason University, Estados Unidos
Dr. Antonio Hidalgo Nuchera
Universidad Politécnica de Madrid, España
Dr. Ernesto Aguayo Téllez, (SNI II)
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México
Dr. Oscar Misael Hernández Hernández, (SNI I)
Colegio de la Frontera Norte de Tamaulipas, México
Dr. Guillermina Natera Rey, (SNI III)
Secretaría de Salud, México
Dr. Francisco García Fernández, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Simón Pedro Izcarra Palacios, (SNI III)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. María Isabel de la Garza Ramos, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Ruth Roux Rodríguez, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Cirila Quintero Ramírez, (SNI III)
Colegio de la Frontera Norte de Tamaulipas, México
Dra. Mónica Regina De Arceche
Universidad de San Andrés, Argentina
Dr. José Antonio Aparisi Caudeli
Universidad de Valencia, España
Dr. Miguel Díaz Barriga
University of Texas Rio Grande Valley, Estados Unidos



BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
Dr. Enrique Márquez Ríos, (SNI II)
Universidad de Sonora, México
Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa, (SNI II)
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
Dra. Montserrat Calderón Santoyo, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Tepic, México
Dr. Alejandro Espinosa Calderón, (SNI III)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México
Dr. Juan Carlos Martínez González, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Francisco Infante Martínez, (SNI III)
El Colegio de la Frontera Sur, México
Dr. Julio Martínez Burnes, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. Rocío Margarita Uresti Marín, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dra. María Jesús Alcalde Aldea
Universidad de Sevilla, España
Dr. Jaime Salinas Chavira, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Juan L Silva
Mississippi State University, Estados Unidos
Dr. Jesús Genaro Sánchez Martínez, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Roberto Pérez Castañeda, (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México
Dr. Manuel Vázquez Vázquez
Universidad de Santiago de Compostela, España
Dr. Luis Ángel Rodríguez del Bosque, (SNI III)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), México
Dr. Netzahualcoyotl Mayek Pérez, (SNI III)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. Gonzalo Velazquez de la Cruz, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. José Alberto Gallegos Infante, (SNI III)
Instituto Tecnológico de Durango, México
Dr. José Manuel Cruz Freire
Universidad de Vigo, España
Dra. Ana Belén Moldes Menduñía
Universidad de Vigo, España



INGENIERÍAS

Dr. Marco Antonio Panduro Mendoza, (SNI II)
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) México
Dr. Rodolfo Abraham Pazos Rangel, (SNI II)
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
Dr. Eduardo Morales Sánchez, (SNI II)
Instituto Politécnico Nacional (IPN), México
Dr. Rumen Ivanov Tsonchev, (SNI II)
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) México
Dr. Daniel Alberto May Arriola, (SNI III)
Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), México
Dr. Ramón Roque Ventura Hernández, (SNI I)
Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México

ÍNDICE / TABLE OF CONTENTS

VOL. 14 No. 2: ENERO-JUNIO 2020

CienciaUAT



BIOLOGÍA Y QUÍMICA

06 Riqueza, composición y abundancia de especies en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León

Richness, composition and abundance of species in a riparian plant community in the Santa Catarina river, Monterrey, Nuevo León

José Manuel Mata-Balderas
Silvino Eduardo Hernández-Cárdenas
Eduardo Alanís-Rodríguez
Arturo Mora-Olivo

21 Infusión de la planta medicinal *Buddleja scordioides* Kunth utilizada para tratar la inflamación intestinal

Infusion of the *Buddleja scordioides* Kunth medicinal plant used to treat intestinal inflammation

Cecilia Villegas-Novoa
Martha Rocío Moreno-Jiménez
Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán

34 La comunidad de peces del arrecife Palo Seco, Veracruz, golfo de México y su relación con los grupos morfofuncionales

The fish community of Palo Seco Reef, Veracruz, gulf of Mexico and its relationship with the morpho functional groups

Carlos González-Gándara

MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD

51 ¿Los protocolos experimentales son un símil real de la diabetes humana?

Are experimental protocols an authentic simile of human diabetes?

María Luisa Moreno-Cortés
Ana G. Gutiérrez-García
Carlos M. Contreras

62 Evaluación de los métodos utilizados para el diagnóstico de vaginosis bacteriana en el Hospital Regional ISSSTE Puebla

Evaluation of methods used for the diagnosis of bacterial vaginosis in the Hospital Regional ISSSTE Puebla

Guadalupe Jiménez-Flores
Jesús Flores-Tlalpa
Alejandro César Ruiz-Tagle
Claudia Lorena Villagrán-Padilla

CIENCIAS SOCIALES

72 Análisis del discurso y desarrollo de la noción de número en preescolar y el uso de las TIC

Discourse analysis, development of number sense in preschool education and ICT use

Evelia Reséndiz-Balderas

87 Jóvenes y tecnologías digitales. Diagnóstico del uso y apropiación de plataformas digitales en la zona conurbada del sur de Tamaulipas

Youth and digital technologies. Diagnosis of the use and appropriation of digital platforms in the conurbation area of southern Tamaulipas

María Consuelo Lemus-Pool
César Bárcenas-Curtis
José Alberto Gómez-Issasi

104 Impacto económico de la adopción de tecnología para la producción de frijol en condiciones de temporal en el norte centro de México

Economic impact of technology adoption on bean production under rainfed conditions in northern central Mexico

Mercedes Borja-Bravo
Venancio Cuevas-Reyes
Alejandra Velez-Izquierdo

BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

117 Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica

Evaluation of the stability of orange juice capsules obtained by ionic gelation

Juan Francisco Castañón-Rodríguez
Maricela Guadalupe Soto-Gómez
Rocío Margarita Uresti-Marín

133 Efecto de *Candida norvegensis* sobre la degradabilidad ruminal de rastrojo de maíz y el crecimiento de corderos

Effect of *Candida norvegensis* on ruminal degradation of corn stover and on growth performance of lambs

Oscar Ruiz-Barrera
Jesús López-Morones
Jaime Salinas-Chavira
Yamicela Castillo-Castillo

INGENIERÍAS

146 Efecto del patrón de flujo sobre las pérdidas de presión para flujo bifásico a través de lechos porosos bajo perspectiva fractal

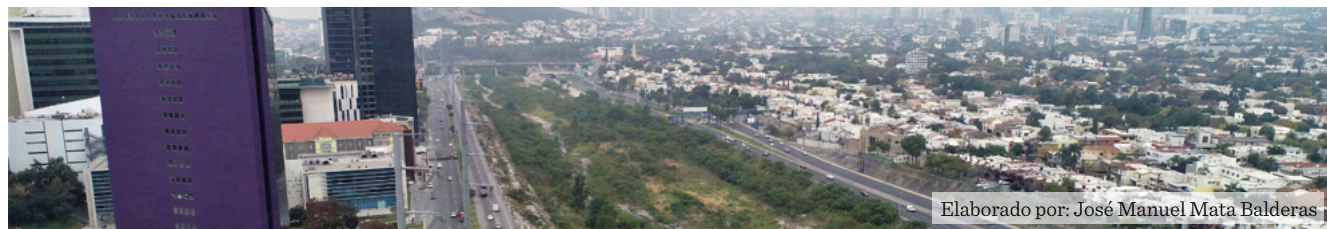
Flow pattern effect on the pressure drop of biphasic flow through porous media from a fractal dimension perspective

Edgardo Jonathan Suárez-Domínguez
Arturo Palacio-Pérez
Josué Francisco Pérez-Sánchez
Elena Izquierdo-Kulich

160 Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017

Multitemporal land use change analysis in San Fernando, Tamaulipas for the Period 1987 to 2017

Wilver Enrique Salinas-Castillo
Marijose Terrazas-Ruiz
Arturo Mora-Olivo
Cuthberto Uriel Paredes-Hernandez



Elaborado por: José Manuel Mata Balderas

Riqueza, composición y abundancia de especies en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León

Richness, composition and abundance of species in a riparian plant community in the Santa Catarina river, Monterrey, Nuevo León

José Manuel Mata-Balderas^{1,2}, Silvino Eduardo Hernández-Cárdenas¹, Eduardo Alanís-Rodríguez^{2*}, Arturo Mora-Olivo³

RESUMEN

La vegetación ribereña constituye un elemento clave para el mantenimiento de los ecosistemas fluviales, en especial, en aquellos que se encuentran circundados por zonas urbanas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variación espacial de la riqueza, la composición y la estructura de la vegetación ribereña en un tramo del río Santa Catarina sobre dos municipios de la Zona Metropolitana de Monterrey. Para el análisis de la vegetación, se establecieron transectos de muestreo, en un tramo de 15.65 km. El estrato alto (plantas arbustivas y arbóreas), se analizó mediante un modelo de ordenación Bray-Curtis y una gráfica de dominancia-diversidad. Para el estrato bajo (plantas herbáceas), se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard. En el estrato alto, se registraron 16 familias pertenecientes a 25 géneros y 28 especies. Las especies con mayor número de individuos fueron *Salix nigra*, *Leucaena leucocephala*, *Ricinus communis* y *Parinsonia aculeata*. La composición de la vegetación tiene una similitud de intermedia a alta, ya que los grupos variaron con valores de 60 % a 71.53 %. En el estrato bajo, se registraron 25 familias, 53 géneros y 60 especies, con una similitud de baja a intermedia, debido a que los primeros tres grupos variaron entre 23 % a 47 %. Las especies que se reportaron con mayor distribución en el estrato bajo, fueron *Cyperus involucratus* y *Phragmites australis* en 7 sitios cada una, *Eragrostis mexicana*, *Heliantus annuus*, *Melinis repens*, *Polygonum pennsylvanicum* y *Typha domingensis*, en 6 sitios cada una. La composición de la vegetación se encuentra en un estado sucesional secundario, debido a que las especies con mayor presencia son introducidas, como *Leucaena leucocephala* y *Ricinus communis* para el estrato alto, y *Cyperus involucratus* y *Melinis repens*, para el estrato bajo.

PALABRAS CLAVE: ecosistemas fluviales, especies invasoras, estratos vegetales.

ABSTRACT

Riparian vegetation constitutes a key element for the maintenance of fluvial ecosystems, especially for those that are surrounded by urban zones. The aim of this study was to evaluate the composition and variation of riparian vegetation in a stretch of the Santa Catarina river, over two cities of the Monterrey Metropolitan Area. For the analysis of the vegetation, sampling transects were established in a section of 15.65 km. The high stratum (shrub and tree plants) was analyzed using a Bray-Curtis ordering model and a dominance-diversity plot. The Jaccard similarity coefficient was used for the low stratum (herbaceous plants). In the high stratum, 16 families belonging to 25 genera and 28 species were recorded. The species with the highest number of individuals were *Salix nigra*, *Leucaena leucocephala*, *Ricinus communis* and *Parinsonia aculeata*. The composition of the vegetation has a similarity level of intermediate to high, because the groups vary between 60 % to 71.53 %. In the low stratum, 25 families, 53 genera and 60 species were recorded with a similarity level of low to intermediate, because the groups vary between 23 % to 47 %. The species that were mostly registered in the low stratum were *Cyperus involucratus* in 7 sites, and *Eragrostis mexicana*, *Heliantus annuus*, *Melinis repens*, *Polygonum pennsylvanicum* and *Typha domingensis* in six sites each one. The composition of the vegetation is in a secondary successional state, because the species with greater presence are exotic or invasive, such as *Leucaena leucocephala* and *Ricinus communis* for the high stratum and *Cyperus involucratus*, *Typha domingensis* and *Melinis repens* for the low stratum.

KEYWORDS: river ecosystems, invasive species, plant strata.

*Correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx/ Fecha de recepción: 7 de agosto de 2018/ Fecha de aceptación: 6 de septiembre de 2019
Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S. C., carretera San Miguel-Huinalá núm. 935, segundo piso, local 31, plaza comercial Acanto, Apodaca, Nuevo León, México, C. P. 66647. ²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

La vegetación ribereña se desarrolla a lo largo de cursos de agua naturales, y constituye un elemento clave para el mantenimiento de los ecosistemas fluviales (Rzedowski, 2006). Estas comunidades vegetales representan un hábitat natural, y a su vez, corredores biológicos para la fauna silvestre que se desarrolla en ellas (Paolino y col., 2018). Así mismo, cumplen con una función de protección de grandes avenidas fluviales, evitando con ello el desbordamiento de ríos e inundaciones (Croke y col., 2017).

Estas comunidades vegetales tienen una estructura y composición florística muy rica, como resultado de una serie de sucesiones a lo largo del tiempo, que han propiciado un balance de especies que dominan 2 o más estratos; sin embargo, este equilibrio puede cambiar drásticamente para los que se encuentran dentro o cercanos a las áreas urbanas (Bozóki y col., 2018; Dahmer y col., 2018). Usualmente, las actividades antropogénicas, como la canalización, obras hidráulicas, desazolve, entre otros, contribuyen a que estas zonas riparias sean invadidas por especies introducidas y ruderales, potencialmente invasoras (Aronson y col., 2017; Grella y col., 2018), lo cual modifica la composición y variación de la vegetación nativa.

Lamentablemente, la modificación de los cursos de agua en zonas urbanas, es un fenómeno muy común en la actualidad (Aronson y col., 2017). Quizá las zonas rurales no presenten problemas tan drásticos en este sentido, pero en ciudades con altas densidades demográficas es evidente que existen graves complicaciones ecológicas y sociales (Guida-Johnson y col., 2017). Un ejemplo de lo anterior es la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), en el estado de Nuevo León, México, la cual es atravesada por el río Santa Catarina de poniente a oriente.

El río Santa Catarina nace en el cañón La Purísima de la sierra de San José (límites con Coahuila) y atraviesa parte de los municipios

de Santiago, Santa Catarina, San Pedro, Monterrey, Guadalupe, Juárez y Cadereyta, con una cuenca aproximada de 1 200 km², y una longitud de 160 km, hasta su confluencia con el río San Juan, uno de los más importantes de la región noreste del país (Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Nuevo León, 2008).

En el año 2008, un trayecto del cauce del río Santa Catarina en la ZMM fue decretado como Área Natural Protegida Estatal, en categoría de Parque Urbano, bajo la denominación de “Parque Lineal”. Esta categoría obedece al hecho de que es un reducto de vegetación riparia, que ofrece múltiples servicios ambientales (Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Nuevo León, 2008).

A pesar de que el río normalmente lleva un gasto de poca consideración y sin turbulencia, con lluvias importantes en verano, se suele convertir en un temible torrente, no solamente por la cantidad de agua recibida del cañón La Purísima, sino también de los flujos torrenciales de la ZMM, cuya red fluvial se ve sobrepasada por las fuertes lluvias, como ha sucedido en años pasados, con los huracanes Gilberto, Emily y Alex (en los años 1988, 2005 y 2010, respectivamente), de acuerdo al Plan de desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey (PDUMM, 2012).

Los estudios florístico-ecológicos de los ríos generan conocimiento para la determinación de estrategias adecuadas para el manejo eficiente de estos ecosistemas. Actualmente, los antecedentes sobre estos temas, en la región, son el de Villarreal y col. (2006), quienes estudiaron la flora riparia de los ríos Sabinas y San Rodrigo en Coahuila; los de Treviño y col. (2001) y Canizales y col. (2010), que trabajaron con comunidades vegetales ribereñas de los ríos Ramos y Cabezones en Nuevo León. Sin embargo, ninguno de estos cuatro ríos fueron estudiados en una zona urbana afectada por el cambio de uso de suelo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variación espacial de la riqueza, la composición y la estructura (únicamente en el estrato alto), de especies de la vegetación ribereña del río Santa Catarina, en una porción con alta densidad urbana.

MATERIALES Y MÉTODOS

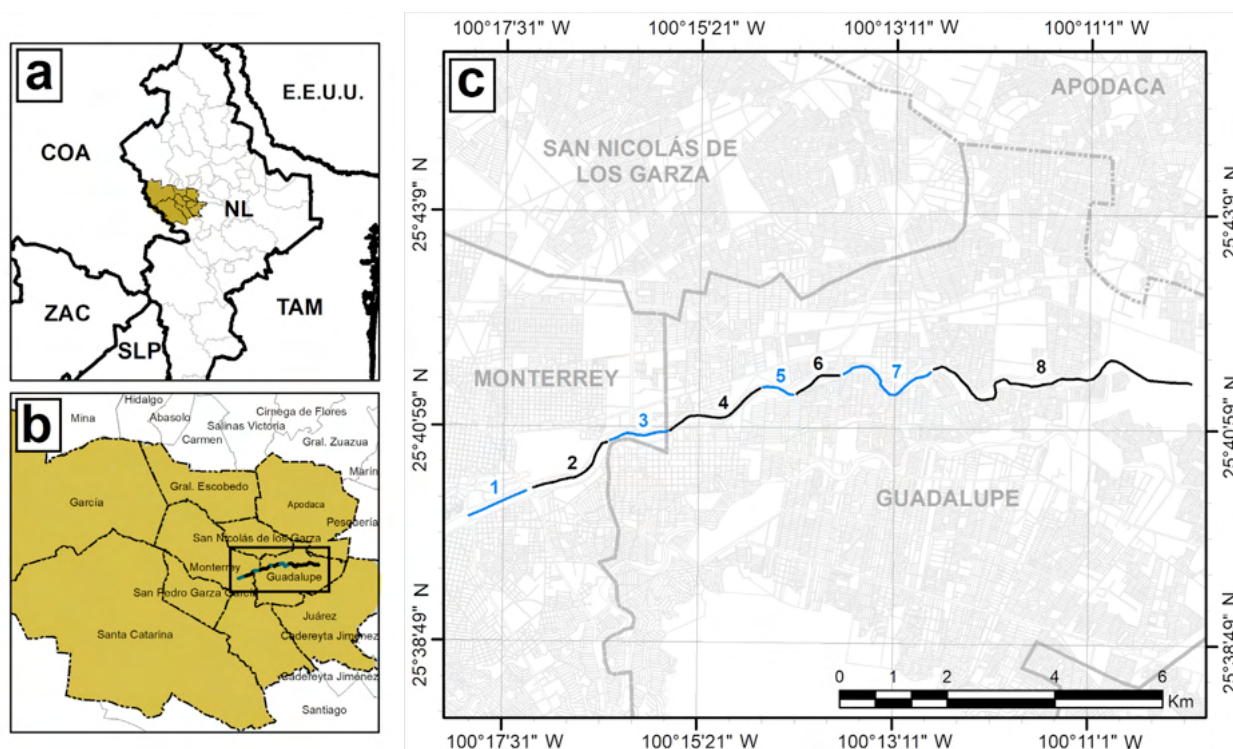
Área de estudio

El estudio se desarrolló en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, en el noreste de México, específicamente en los municipios de Monterrey y Guadalupe, Nuevo León (Figura 1). Las coordenadas de ubicación del sitio de inicio, al oeste son 25°40'04" N y 100°17'50" W, y las del sitio donde concluye el análisis, ubicado más al este, son 25°41'25" N y 100°09'53" W, con una altitud que varía de 428 msnm a 517 msnm.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1964), para la república mexicana, el clima es estepario, semicálido, subhúmedo ((A)Cx'), con lluvias de verano. El porcentaje de precipitación invernal es entre 5 % y 10.2 % anual, con una temperatura media anual de 18 °C a 22 °C. El suelo del área donde se realizó el estudio está constituido por feozem, un tipo caracterizado por su humedad, color oscuro, producto de la alta cantidad de materia orgánica y por su saturación de bases, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) (FAO, 2015).

Análisis de la vegetación

El análisis de la comunidad vegetal se realizó en septiembre y octubre (meses de mayor



■ Figura 1. Localización del área de estudio. En la imagen “a”, se aprecia el noreste de México y sureste de Estados Unidos; en la imagen “b”, el Área Metropolitana de Monterrey; y en la “c”, el trayecto del río Santa Catarina evaluado. La línea negra y azul muestran los 8 tramos evaluados. Figure 1. Location of the survey area. Image “a”: The state of Nuevo Leon. Image “b”: Metropolitan Area of Monterrey. Image “c”: Survey area. The black and blue line shows the 8 sections evaluated.

precipitación) mediante un inventario de la cubierta vegetal en un tramo de 15.65 km lineales y un ancho aproximado de 80 m (40 m en ambas riberas del río), sobre ambos lados del cauce del río Santa Catarina, conformando un área de estudio de 125.20 ha de superficie. La evaluación se realizó en 8 secciones (identificadas en forma numerada en la Figura 1) que variaron de 1.20 km hasta 3 km, a lo largo de la zona de estudio. El total del área muestreada fue de 9.6 ha de superficie, lo que representa el 7.66 % del área total. La longitud de cada una de las secciones obedeció a la accesibilidad del sitio y la abundancia de vegetación. En estas secciones se contabilizó el número total de individuos de estrato alto y la presencia de especies del estrato bajo. La clasificación de la cubierta vegetal se dividió en 2 clases y/o grupos. En el estrato alto, se consideró la vegetación de porte arbustivo y arbóreo que presentaron alturas que van de los 2 m hasta los 8 m de altura; y el estrato bajo, como las especies del grupo de las herbáceas, con alturas estimadas que van de los 0.30 m hasta los 1.99 m de altura. Las especies se identificaron utilizando claves taxonómicas de Correll y Johnston (1970) y el libro de Molina-Guerra y col. (2019). Para definir las especies introducidas se siguió principalmente a Villaseñor y Espinosa-García (2004).

Análisis de la información

Para evaluar la diversidad beta, que es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico, a través de condiciones ambientales (Whittaker, 1972), en el estrato alto, se utilizó un algoritmo que analiza la similitud de las muestras mediante el cálculo del porcentaje de similitud (0 % a 100 %) entre cada una de ellas y que es representada en una gráfica de similitud de Bray-Curtis (Brower y col., 1998). Valores cercanos a 0 indican que existe una escasa similitud florística, valores cercanos al 50 % indican intermedia, y cercanos al 100 alta. El análisis se desarrolló mediante el programa BioDiversity Pro 2.0 (McAleece y col., 1997).

Para el estrato bajo, únicamente se registró la presencia de las especies en los sitios de muestreo, por lo tanto, se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard para determinar el grado de semejanza entre los sitios (Magurran, 1988), mediante la siguiente ecuación:

$$(1) \quad Ij = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

Ij es el coeficiente de similitud de Jaccard, a es el número de especies presentes en el sitio A, b número de especies presentes en el sitio B, y c son las especies presentes en ambos sitios A y B. El análisis se realizó en el programa PAST 3.20 (Hammer y col., 2001).

Para describir la estructura de la comunidad, se generó una gráfica de dominancia-diversidad (Brower y col., 1998), la cual, describe la relación del número de individuos de las especies en función de un arreglo secuencial de especies, y esta se presenta del mayor al menor valor (Martella y col., 2012). De igual manera, los valores cercanos a 0 de este índice, indican que existe una escasa similitud florística, valores cercanos al 50 % indican intermedia, y cercanos al 100 alta.

RESULTADOS

Variación de la riqueza

En general, se registraron 87 especies, 77 géneros y 37 familias de plantas, incluyendo a una alga macroscópica. De estas, 18 especies son introducidas y el resto nativas. Algunos autores ya han reportado la presencia de especies introducidas en comunidades vegetales ribereñas e indican que existe una relación positiva entre el nivel de urbanización y el porcentaje de especies introducidas (Burton y col., 2005; Pennington y col., 2010).

Estrato alto

Derivado del muestreo, en el estrato alto se registraron 16 familias pertenecientes a 25 géneros y 28 especies, incluyendo 9 especies introducidas (Tabla 1). Las especies

■ Tabla 1. Lista de especies del estrato alto (árboles y arbustos) presentes en cada uno de los sitios de muestreo.

Table 1. List of species in the high stratum (trees and shrubs) present in each of the sampling sites.

Familia/Nombre científico	Número de individuos								
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Total
ARECACEAE									
<i>Washingtonia filifera</i> *	10	20	7	12					49
ASPARAGACEAE									
<i>Agave americana</i>								6	6
<i>Agave lechuguilla</i>								36	36
<i>Yucca filifera</i>								5	5
BIGNONIACEAE									
<i>Tecoma stans</i>				4			3	10	17
BORAGINACEAE									
<i>Ehretia anacua</i>		9	2					19	30
CACTACEAE									
<i>Acanthocereus tetragonus</i>								2	2
<i>Opuntia engelmannii</i>								13	13
CANNABACEAE									
<i>Celtis laevigata</i>								49	49
<i>Celtis pallida</i>								39	39
CASUARINACEAE									
<i>Casuarina equisetifolia</i> *	3								3
EUPHORBIACEAE									
<i>Ricinus communis</i> *	124	59	88	498	140	31	36	732	1 708
FABACEAE									
<i>Caesalpinia mexicana</i>		7	1						8
<i>Delonix regia</i> *				1					1
<i>Leucaena leucocephala</i> *	503	210	172	390	35	248	192	86	1 836
<i>Parkinsonia aculeata</i>	114	124	79	269	80	5	37	437	1 145
<i>Pithecellobium dulce</i>		11					2		13
<i>Prosopis glandulosa</i>	27	2	6	35	11	7		204	292
<i>Vachellia farnesiana</i>	107	65	12	10	15	1	7	114	331
<i>Vachellia rigidula</i>								58	58
MELIACEAE									
<i>Melia azedarach</i> *	4	3	8					20	35
MORACEAE									
<i>Morus nigra</i> *	1								1
OLACEAE									
<i>Fraxinus americana</i> *	18	49	87	50	22			91	317
PLATANACEAE									
<i>Platanus occidentalis</i>		4	3	1					8
SALICACEAE									
<i>Populus mexicana</i>	70	28	22	49	27			66	262
<i>Salix nigra</i>	107	222	137	711	123	214	15	677	2 206
SAPINDACEAE									
<i>Sapindus saponaria</i>		5						3	8
SOLANACEAE									
<i>Nicotiana glauca</i> *	10	6	39	9	6	1	30	8	109
Total	1 098	824	2 702	2 039	459	507	322	2 675	8 587

*Especies introducidas

con mayor número de individuos fueron *Salix nigra* Marshall 1785, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit 1961, *Ricinus communis* L. 1753 y *Parkinsonia aculeata* L. 1753. Dichas especies, además de *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. 1834 y *Nicotiana glauca* Graham 1828, tuvieron presencia en todos los sitios de muestreo. Las especies *Vachellia rigidula* (Benth.) Seigler & Ebinger 2005, *Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck 1938, *Agave americana* L. 1753, *Agave lechuguilla* Torr. 1859, *Casuarina equisetifolia* L. 1759, *Celtis laevigata* Willd. 1814, *Celtis pallida* Torr. 1859, *Delonix regia*, *Morus nigra* L. 1753, *Opuntia engelmanni* Salm-Dyck 1849 y *Yucca filifera* Chabaud 1876, sólo se presentaron en un sitio de muestreo.

Estrato bajo

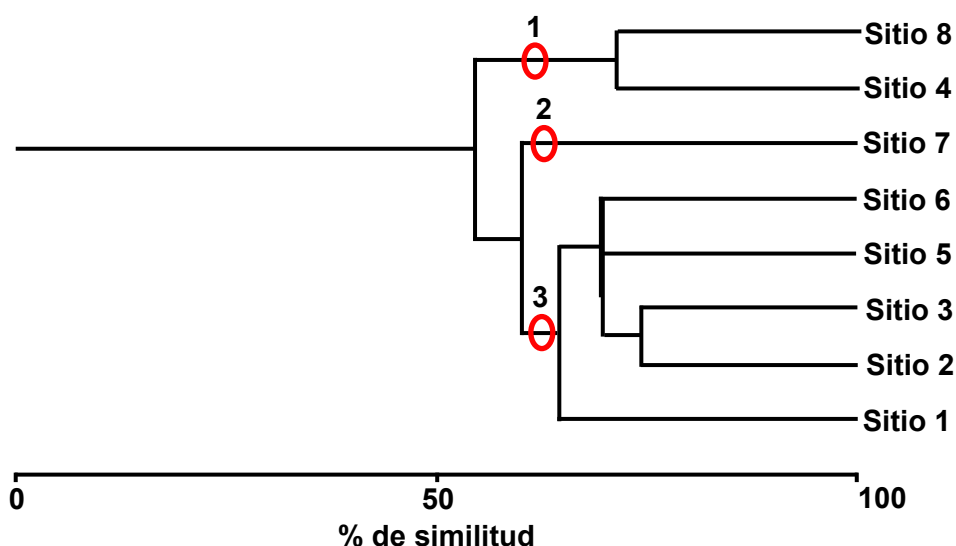
Se registraron 25 familias pertenecientes a 53 géneros y 60 especies (Tabla 2). Las especies que se reportaron con mayor distribución, fueron *Cyperus involucratus* Rottb. 1806 y *Phragmites australis* Cav. (Trin.) ex Steud 1840 en 7 sitios cada una, *Eragrostis mexicana* (Hornem.) Link 1827, *Helianthus annuus* L. 1753, *Melinis repens* (Willd.) Zizka 1988, *Po-*

lygonum pensylvanicum L. 1753 y *Typha domingensis* Pers. 1807 en 6 sitios cada una. Mientras que 26 de las especies registradas solo se presentaron en un sitio. Del total de las especies reportadas 10 son introducidas, entre las cuales, *Cyperus involucratus* y *Melinis repens* cuentan con presencia en la mayoría de los sitios de muestreo.

Variación de la composición

Estrato alto

El dendrograma de similitud Bray-Curtis (Figura 2) muestra que el primer grupo que se forma es el que diferencia a los sitios 4 y 8 del resto de la comunidad, esto debido al gran número de individuos de las especies *Salix nigra* con 711 N/ha y 677 N/ha, *Ricinus communis* con 498 N/ha y 732 N/ha y *Parkinsonia aculeata* con 269 N/ha y 437 N/ha, respectivamente, así como de otras cantidades similares, pero con menor abundancia. El segundo grupo está conformado únicamente por el sitio 7, debido a la baja presencia de *Salix nigra* (15 N/ha). El tercer grupo (conformado por los sitios 1, 2, 3, 5 y 6) presenta intermedia presencia de *Salix nigra* (≥ 107 N/ha y ≤ 214 N/ha). Es importante



■ Figura 2. Representación gráfica de la similitud Bray-Curtis (número de individuos) del estrato alto (árboles y arbustos) en 8 sitios de muestreo, en una porción de la subcuenca del río de Santa Catarina. Los grupos formados se presentan en rojo.

Figure 2. Graphic representation of the high stratum Bray-Curtis similarity found for 8 sampling sites in a portion of the Santa Catarina river sub-basin. The groups formed are presented in red.

■ Tabla 2. Lista de especies del estrato bajo (herbáceas) presentes en cada uno de los sitios de muestreo.
Table 2. List of species in the low stratum (herbaceous) present in each of the sampling sites.

Familia/Nombre científico	Número de individuos							
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
AMARANTHACEAE								
<i>Amaranthus blitoides</i>	x							x
<i>Amaranthus palmeri</i>		x	x	x				x
<i>Salsola kali</i> *	x			x	x	x		
ANACARDIACEAE								
<i>Toxicodendron radicans</i>								x
APOCYNACEAE								
<i>Asclepias oenotheroides</i>								x
ASTERACEAE								
<i>Bidens odorata</i>	x		x	x		x		x
<i>Calyptracarpus vialis</i>			x		x			x
<i>Helianthus annuus</i>	x	x	x	x	x			x
<i>Parthenium hysterophorus</i>	x		x					x
<i>Pectis papposa</i>								x
<i>Porophyllum</i> sp.	x							
<i>Sanvitalia procumbens</i>								x
<i>Taraxacum officinale</i> *			x					
BORAGINACEAE								
<i>Heliotropium angiospermum</i>								x
<i>Tiquilia canescens</i>			x	x				
BRASSICACEAE								
<i>Lepidium virginicum</i>			x					
CHARACEAE								
<i>Chara vulgaris</i>	x		x					
COMMELINACEAE								
<i>Commelina diffusa</i>	x		x					x
CONVOLVULACEAE								
<i>Ipomoea</i> sp.			x					x
<i>Merremia dissecta</i>	x	x	x	x				x
<i>Merremia quinquefolia</i>					x			x
CRASSULACEAE								
<i>Kalanchoe</i> sp.*				x				
CUCURBITACEAE								
<i>Luffa aegyptiaca</i> *		x	x					x
CYPERACEAE								
<i>Cyperus esculentus</i> *								x
<i>Cyperus involucratus</i> *	x	x	x	x	x	x		x
EUPHORBIACEAE								
<i>Acalypha radians</i>								x
<i>Croton incanus</i>								x
<i>Euphorbia maculata</i>								x
<i>Euphorbia prostrata</i>			x					x
FABACEAE								
<i>Pitecellobium dulce</i>	x							

Continúa...

LOASACEAE								
<i>Cevallia sinuata</i>			x					x
LYTHRACEAE								
<i>Heimia salicifolia</i>			x					
MALVACEAE								
<i>Abutilon dugesii</i>			x	x	x			x
<i>Gossypium hirsutum</i>	x							
<i>Herissantia crispa</i>								x
<i>Waltheria indica</i>				x	x			
PASSIFLORACEAE								
<i>Passiflora foetida</i>		x						
<i>Passiflora tenuiloba</i>								x
POACEAE								
<i>Aristida pansa</i>				x				x
<i>Cenchrus ciliaris</i> *			x	x	x		x	x
<i>Cenchrus incertus</i>	x							x
<i>Chloris virgata</i>								x
<i>Cynodon dactylon</i> *	x		x		x			x
<i>Eragrostis mexicana</i>	x		x	x		x	x	x
<i>Melinis repens</i> *	x		x	x	x	x		x
<i>Paspalum virgatum</i>								x
<i>Pennisetum clandestinum</i> *		x		x				
<i>Phragmites australis</i>		x	x	x	x	x	x	x
<i>Zea mays</i>								x
POLYGONACEAE								
<i>Polygonum pensylvanicum</i>	x	x	x	x	x			x
PORTULACACEAE								
<i>Portulaca pilosa</i>			x					x
RANUNCULACEAE								
<i>Clematis drummondii</i>								x
SOLANACEAE								
<i>Chamaesaracha sordida</i>								x
<i>Datura stramonium</i>	x		x					
<i>Solanum elaeagnifolium</i>		x						x
<i>Solanum nigrescens</i>		x						x
TYPHACEAE								
<i>Typha domingensis</i>	x	x	x	x	x	x		
VERBENACEAE								
<i>Aloysia macrostachya</i>								x
<i>Lantana velutina</i>								x
<i>Lippia graveolens</i>			x					x

*Especies introducidas

mencionar que los 3 grupos presentan una similitud de intermedia a alta, debido a que la similitud entre el grupo 2 y 3 es del 60 % y del 1 con el resto es de 71.53 %.

Estrato bajo

Con base en el dendrograma de similitud de Jaccard (Figura 3), el sitio 7 se separa en cuanto a similitud de los demás, debido a que fue el sitio que menor número de especies presentó. El siguiente grupo está conformado por 4 sitios (2, 4, 5 y 6), los cuales comparten 3 especies en común (*Cyperus involucratus* y *Typha domingensis*), siendo una de estas introducida (*Cyperus involucratus*). Los sitios 1, 3 y 8 conforman otro grupo, en el cual destacan 9 especies compartidas (*Bidens odorata* Cav. 1791, *Helianthus annuus*, *Commelina diffusa* Burm. 1768, *Merrremia dissecta* (Jacq.) Hallier f. 1893, *Cyperus involucratus*, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805, *Eragrostis mexicana*, *Melinis repens* y *Polygonum pensylvanicum*) siendo 3 introducidas (*Cyperus involucratus*, *Cynodon dactylon* y *Melinis repens*). En general, la composición

de la vegetación presenta una similitud de baja a intermedia, debido a que en los sitios del grupo 3, es de un 23 % a 40 %, y en los sitios de los grupos 1 y 2, es de 18 % a 47 %.

Variación de la abundancia

Estrato alto

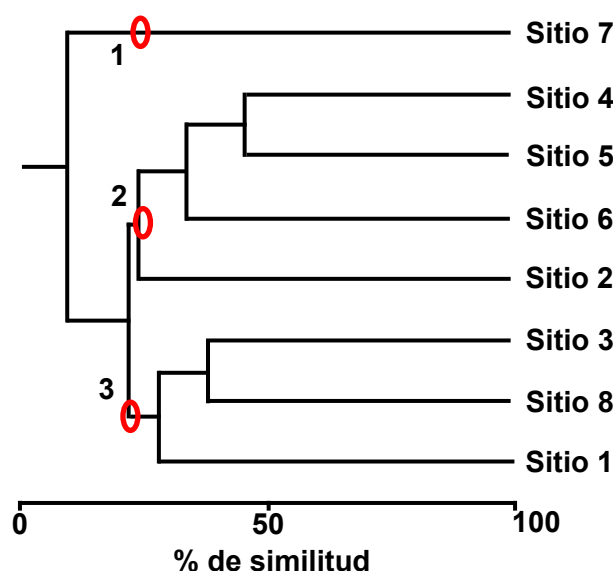
El gráfico de dominancia-diversidad (Figura 4), muestra una distribución de modelo geométrico de tipo discreta, en donde la comunidad vegetal ribereña está conformada por escasas especies muy abundantes, y el resto de las especies son prácticamente raras.

DISCUSIÓN

Variación de la riqueza

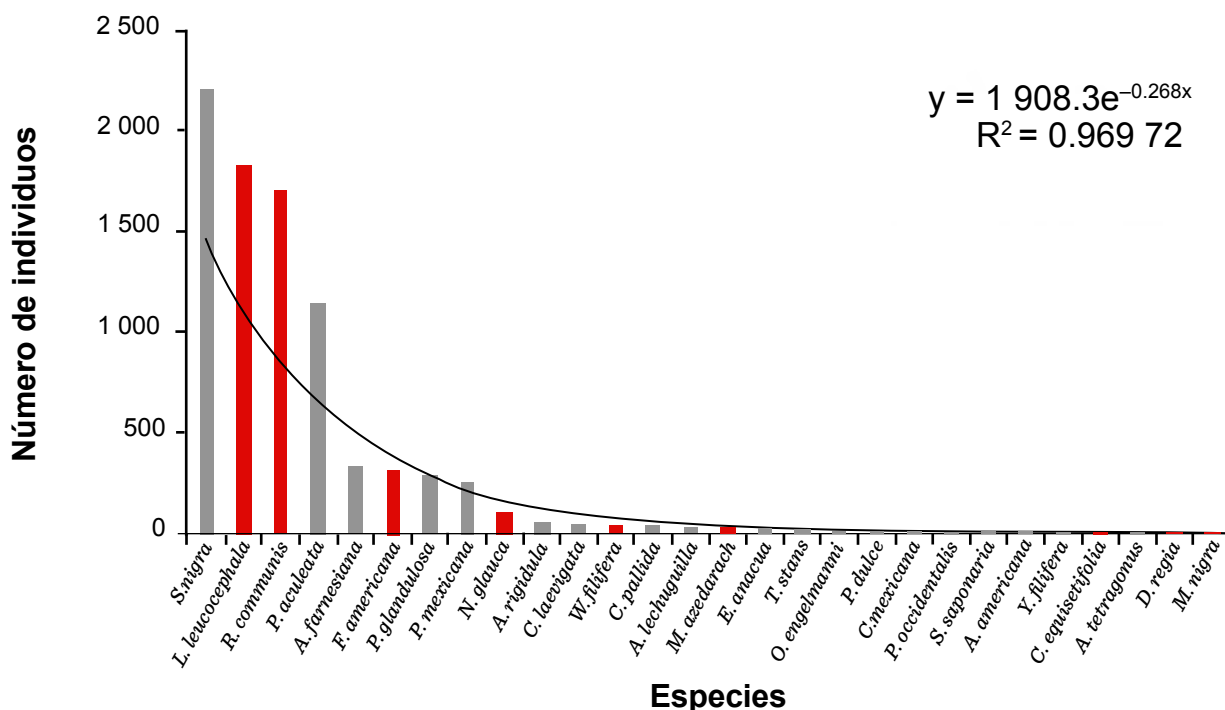
Estrato alto

La riqueza florística presente en el área de estudio del río Santa Catarina (15 km lineales) se considera media, a pesar de la influencia antropogénica, ya que se registró la presencia de 28 especies en total, en diferentes estadios sucesionales. En el estrato alto, se encontraron tanto especies nativas (19)



■ Figura 3. Representación gráfica del coeficiente de similitud de Jaccard (número de especies) para el estrato bajo (herbáceas) en los 8 sitios de muestreo. Los grupos formados se presentan en rojo.

Figure 3. Graphic representation of the low stratum (herbaceous) Jaccard similarity coefficient found for 8 sampling sites in a portion of the Santa Catarina river sub-basin. The groups formed are presented in red.



■ Figura 4. Gráfico de dominancia-diversidad del estrato alto (árboles y arbustos) en 8 sitios de muestreo, en una porción de la subcuenca del río de Santa Catarina. Las barras grises indican especies nativas y las rojas introducidas.

Figure 4. Dominance-diversity graphic of the high stratum (trees-shrubs) found for 8 sampling sites in a portion of the Santa Catarina river sub-basin. The gray bars indicate native species and the red ones introduced.

(por mencionar algunas, *Celtis laevigata*, *Celtis pallida*, *Populus mexicana* Wesm. ex DC. 1868) como introducidas (9) (por citar algunas, *Washingtonia filifera* (Linden ex André) H. Wendl. 1879, *Leucaena leucocephala*, *Morus nigra* y *Fraxinus americana* L. 1753). En otras comunidades vegetales ribereñas mejor conservadas, como Sabinas y San Rodrigo, en Coahuila, el estrato arbóreo tuvo una diversidad similar (17 especies), aunque la mayoría de esas especies fueron nativas (Villareal y col., 2006). Sin embargo, en ríos también afectados por cambios de uso de suelo, como el Ramos y Cabezones, en Nuevo León, la riqueza de árboles fue variable, con 7 y 19 especies, respectivamente (Treviño y col., 2001). Una posible explicación del por qué se registró un mayor número de especies en el presente estudio en comparación a otros desarrollados en el noreste de Méxi-

co, es debido a que en esta investigación se evaluó una comunidad vegetal en proceso de regeneración natural, y al haber mayor espacio disponible después del disturbio (Huracán Alex), existe la posibilidad de que se establezca un mayor número de especies (Alanís y col., 2011; Graciano-Ávila y col., 2018).

La alta presencia de individuos de *Salix nigra*, en el estrato alto, para la comunidad vegetal ribereña del río Santa Catarina coincide con lo registrado por Treviño y col. (2001), quienes la registraron como una de las más conspicuas en un estudio realizado en el río Cabezones, Nuevo León, México. Por su parte, Íñiguez-Ayón y col. (2015), reportaron esta especie en una evaluación del río Tamaquila, en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México. Dicha especie ha sido ampliamente evaluada, se asocia a vegetación de galería, se

reproduce sexual y asexualmente, y se establece preferentemente en elevaciones intermedia y altas al cause del agua, donde los eventos de inundación son menos frecuentes (Stover y col. 2018), como en el caso de esta investigación.

La segunda especie con mayor abundancia fue la introducida e invasora *Leucaena leucocephala*, la cual, se encuentra en la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe y col. 2004). Si bien, México es considerado el centro de máxima diversidad del género *Leucaena* (Zárate, 1994), la especie *L. leucocephala* se distribuye de manera natural en el sur de México (Peralta- Juárez y col., 2017), pero debido a su uso en actividades pecuarias (Ledesma, 2002), se ha distribuido en todo el mundo, incluyendo el noreste de México. Esta especie no ha sido documentada en comunidades ribereñas del noreste de México (Treviño y col., 2001 y Canizales y col., 2010), pero sí se tiene registro de su uso en plantaciones experimentales (Jurado y col., 1998) y áreas urbanas (Leal y col., 2018b). Es importante mencionar que la especie ha sido reportada en ecosistemas ribereños por algunos autores, como Moreno-Jiménez y col. (2017), que la registraron en un afluente del río Tacotalpa, en Tabasco, México; y Peguero (2010) ha reportado su presencia en vegetación riparia de la República Dominicana.

Otra especie de interés en este estudio, por su abundancia, fue *Ricinus communis*, una especie introducida que, comúnmente, se presenta en zonas ribereñas y que muestra adaptación en canales permanentes de riego (Revels y col., 2010). Lo registrado en esta investigación coincide con Cornejo-Denman y col. (2018), quienes reportaron a *Parkinsonia aculeata* como una de las especies dominantes en un estudio de la vegetación riparia presente en la sección baja del río Bravo, entre México y Estados Unidos. De hecho, en otros países, como Australia, *Parkinsonia aculeata* forma poblaciones tan densas

a lo largo de ríos, que causa serios problemas para el uso del agua (Cochard y Jacques, 2005).

De las cuatro especies con mayor presencia en el estrato alto, Garcillán y Rebman (2016), registraron a *Ricinus communis* como una especie exótica de origen africano que se ha adaptado a las condiciones de los ecosistemas de México, y mencionaron que esta especie suele estar presente en zonas con disturbio antrópico o natural, como bordes de caminos, asentamientos humanos y zonas riparias. Muller (1947) y Rzedowski, y Calderón-de-Rzedowski (1997), reportaron a *Parkinsonia aculeata* como una especie que se distribuye de forma nativa en el matorral espinoso tamaulipeco.

Treviño y col. (2001); Canizales y col. (2010), realizaron estudios de diversidad y estructura de comunidades ribereñas maduras en el noreste de México, donde registraron a *Taxodium mucronatum* Ten. 1853 como una de las especies mayormente presentes, con altos valores de abundancia y dominancia, lo cual difiere con lo reportado en la presente investigación, ya que en el área de estudio no fue observada esta especie. Otra especie que presenta altos valores de abundancia (470 N/ha) en comunidades maduras es *Platanus occidentalis* L. 1753 (Canizales y col., 2010), mientras en este estudio, fue escasamente registrada, con 8 N/ha. Las especies antes mencionadas son esciófilas, ya que necesitan condiciones de sombra para germinar y desarrollarse en las primeras fases, y después de cierto tiempo, necesitan mayor intensidad de luz (Enríquez-Peña y col., 2004), por lo tanto, podrían considerarse indicadoras de que la comunidad vegetal observada no presenta un grado de madurez avanzado y se encuentra en las primeras fases de estado sucesional.

Estrato bajo

La presente investigación, a diferencia de Treviño y col. (2001); Rzedowski (2006), de Canizales y col. (2010) y de Santiago-Pérez y col.

(2014), incluyó el estrato bajo, el cual está conformado por 60 especies. Se consideró importante evaluar este estrato, debido a que se ha reportado que presenta alta riqueza de especies comparado con la comunidad arbórea y arbustiva (Pérez-Calix, 1996; Villarreal y col., 2006). Como se mencionó en la metodología, la vegetación del estrato bajo consistió en evaluar las herbáceas que van de los 0.30 m hasta los 1.99 m de altura, las cuales no han sido consideradas en los estudios desarrollados en México.

Rzedowski (2006) mencionó en su clasificación de la vegetación acuática y subacuática, que existen comunidades de tular y carrizal, las cuales presentan una distribución cosmopolita, y cuyas asociaciones principales están dominadas por *Typha* spp. y *Cyperus* spp. En el área de estudio se registraron en la mayoría de los sitios de muestreo *Cyperus involucratus* y *Typha domingensis*.

Las especies *Cyperus involucratus* y *Melinis repens* se encuentran reportadas como especies introducidas en México (Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; SAGARPA, 2016). En diversos estudios, como los de McCoy-Sulentic y col. (2017) y Wassens y col. (2017), se ha demostrado los efectos que las especies introducidas provocan al ambiente en el que se desarrollan, uno de los principales, es que son responsables de gran número de extinciones. March-Mifsut y Martínez (2007), registraron en su estudio que *M. repens* es una especie que desplaza a la vegetación nativa y promueve regímenes anómalos de fuego, por lo que es importante realizar más estudios en el noreste de México para conocer la situación de estas especies en el área, y tomar las medidas que sean pertinentes para el control de las mismas.

Variación de la composición

Estrato alto

La diversidad beta presente en el estrato alto es de intermedia a alta, lo cual coincide con los resultados presentados por Canizales y col. (2010), quienes registraron una di-

versidad media alta en las áreas estudiadas en una comunidad ribereña en el noreste de México. La alta abundancia de las especies *Salix nigra* y *Leucaena leucocephala* es el factor principal de la agrupación de los sitios. La especie *Salix nigra* ha sido registrada con alta presencia en vegetación ribereña del noreste de México (Treviño y col., 2001), caso contrario a la introducida e invasora *Leucaena leucocephala*, que no ha sido reportada en el noreste de México, pero sí con escasa abundancia en vegetación ribereña del sureste de México (Moreno-Jiménez y col., 2017).

Estrato bajo

La diversidad beta es de baja a intermedia. Gärtner y col. (2015), registraron valores similares en su estudio de patrones compositivos para herbáceas. Del total de las especies reportadas, 10 son introducidas, entre las cuales, *Cyperus involucratus* y *Melinis repens* cuentan con presencia en la mayoría de los sitios de muestreo. Espinosa-García y col. (2004), mencionaron que existe una relación positiva entre el tamaño de la población o el disturbio causado por la actividad humana con el número de especies exóticas presentes. Dado que el río Santa Catarina se encuentra inmerso en la mancha urbana, se esperaría que se presenten especies introducidas, como ya ha sido documentado en otras áreas urbanas (Aronson y col., 2017; Grella y col., 2018). El porcentaje de especies exóticas o introducida fue de 16.66 %, valor menor a lo reportado por Aronson y col. (2017), quienes registraron 55 % y 41 % en 2 ríos urbanos de Nueva Jersey, Estados Unidos.

Variación de la estructura

Estrato alto

Los resultados mostraron una distribución de modelo geométrico de tipo discreta, en donde la comunidad vegetal ribereña está conformada por escasas especies muy abundantes, el resto de las especies son prácticamente raras. El modelo supone que las especies difieren marcadamente en su domi-

nancia competitiva, de manera que las especies más abundantes ocupan una fracción grande del nicho y las demás especies se distribuyen en los espacios restantes. Este patrón suele observarse en estadios tempranos de una sucesión o en ambientes desfavorables (Martella y col., 2012). Dicho patrón ha sido documentado en comunidades vegetales regeneradas después de actividades pecuarias (Leal y col., 2018a) y mineras (Marroquín-Castillo y col., 2016). En el caso de esta investigación, la comunidad vegetal ribereña se encuentra en una fase de regeneración natural, donde no se han realizado prácticas de restauración ecológica y aún no llega a ser una comunidad vegetal madura.

CONCLUSIONES

Se concluye que la variación de la vegetación del estrato alto, presenta similitud de intermedia a alta, debido a la alta abundancia de individuos de las especies *Salix nigra* y *Leucaena leucocephala*. La vegetación del estrato bajo, presenta una similitud de baja a intermedia, toda vez que existen escasas especies en común en el trayecto evaluado. La composición de la vegetación se encuentra en un estado sucesional secundario, debido a que algunas de las especies con mayor presencia son introducidas, como *Leucaena leucocephala* y *Ricinus communis* para el estrato alto, y *Cyperus involutus* y *Melinis repens* para el estrato bajo.

REFERENCIAS

- Alanís, E., Jiménez, J., Valdecantos, A., Pando, M., Aguirre, O. y Treviño, E. J. (2011). Caracterización de regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del Parque Ecológico Chipinque, México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(1): 31-39.
- Aronson, M. F., Patel, M. V., O'Neill, K. M., and Ehrenfeld, J. G. (2017). Urban riparian systems function as corridors for both native and invasive plant species. *Biological Invasions*. 19(12): 3645-3657.
- Burton, M. L., Samuelson, L. J., and Pan, S. (2005). Riparian woody plant diversity and forest structure along an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems*. 8(1): 93-106.
- Brower, J. E., Zar, J. H., and Von-Ende, C. N. (1998). *General Ecology*. Boston, MA. Estados Unidos: McGraw-Hill. 273 Pp.
- Bozóki, T., Krasznai-Kun, E. A., Csercsa, A., Várbiro, G., and Boda, P. (2018). Temporal and spatial dynamics in aquatic macroinvertebrate communities along a small urban stream. *Environmental Earth Sciences*. 77(559): 1-10.
- Canizales, P. A., Alanís, G. J., Lara, S., Torres, M., Alanís, E., Jiménez, J. y Padilla, H. (2010). Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL*. 13(1): 55-63.
- Cochard, R. and Jackes, B. R. (2005). Seed ecology of the invasive tropical tree *Parkinsonia aculeata*. *Plant Ecology*. 180(1): 13-31.
- Correll, D. S. and M. C. Johnston. (1970). *Manual of the Vascular Plants of Texas*. College Station, TX. Estados Unidos: Texas Research Foundation. 1881 Pp.
- Croke, J., Thompson, C., and Fryirs, K. (2017). Prioritising the placement of riparian vegetation to reduce flood risk and end-of-catchment sediment yields: Important considerations in hydrologically-variable regions. *Journal of Environmental Management*. 190: 9-19.
- Dahmer, S. C., Matos, L., and Morley, A. (2018). Preface—Restoring Toronto's waters: Progress toward delisting the Toronto and Region Area of Concern. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 21(3): 223-229.
- Enríquez-Peña, E. G., Suzán-Azpiri, H. y Malda-Barrera, G. (2004). Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. *Agrociencia*. 38(3): 375-381.
- Espinosa-García, F. J., Villaseñor, J. L., and Vibrans, H. (2004). The rich generally get richer, but there are exceptions: Correlations between species richness of native plant species and alien weeds in Mexico. *Diversity and Distributions*. 10(5-6): 399-407.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma: IUSS Working Group WRB. 205 Pp.
- García, E. (1964). *Clasificación Climática Köppen, Modificada por Enriqueta García*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 90 Pp.
- Garcillán, P. P. y Rebman, J. P. (2016). Nota sobre

los primeros registros históricos de dos plantas invasoras en la península de Baja California: crónica del misionero jesuita Miguel del Barco. *Acta Botánica Mexicana*. (115): 43-49.

Gärtner, E., Rojas, G., and Castro, S. (2015). Compositional patterns of ruderal herbs in Santiago, Chile. *Gayana Botanica*. 72(2): 192-202.

Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., Rubio-Camacho, E. A. y González-Tagle, M. A. (2018). Estructura y diversidad postincendio en un área del matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*. 45: 89-100.

Grella, C., Renshaw, A., and Wright, I. A. (2018). Invasive weeds in urban riparian zones: the influence of catchment imperviousness and soil chemistry across an urbanization gradient. *Urban Ecosystems*. 21(3): 505-517.

Guida-Johnson, B., Faggi, A. M., and Zuleta, G. A. (2017). Effects of Urban Sprawl on Riparian Vegetation: Is Compact or Dispersed Urbanization Better -for Biodiversity? *River Research and Applications*. 33(6): 959-969.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1): 9.

Íñiguez-Ayón, Y. P., Peña-Salmón, C. Á. y Sicairos-Avitia, S. E. (2015). Ecosistema fluvial urbano: evaluación ecológica y visual del río Tamazula en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. *Quivera*. 17(1): 75-97.

Jurado, E., Flores, J., Navar, J., and Jiménez, J. (1998). Seedling establishment under native tamaulipan thornscrub and *Leucaena leucocephala* plantation. *Forest Ecology and Management*. 105(1-3): 151-157.

Leal, N. A., Alanís, E., Mata, J. M., Treviño, E. J. y Yerena, J. I. (2018a). Composición y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco regenerado post-ganadería en el noreste de México. *Polibotánica*. 45: 75-88.

Leal, C. E., Leal, N., Alanís, E., Pequeño, M. A., Mora-Olivo, A. y Buendía, E. (2018b). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(48): 252-270.

Ledesma, L. M. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15(2): 226-231.

Lonard, R. I. and Judd, F. W. (2002). Riparian vegetation of the lower Rio Grande. *The Southwestern Naturalist*. 47(3): 420-432.

Lowe, S., Browne M., Boudjelas S. y De-Poorter M. (2004). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más*

dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Publicado por el Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), un grupo especialista de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) Nueva Zelanda, 12 Pp.

Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press. 179 Pp.

March-Mifsut, I. J. and Martínez, J. R. (2007). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad, prioridades en México*. México: IMTA, Conabio, GECI, AridAmérica. The Nature Conservancy. 72 Pp.

Marroquín-Castillo, J. J., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Mata-Balderas, J. M. y Chávez-Costa, A. C. (2016). Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*. 42: 1-17.

Martella, M., Trumper, E., Bellis, L., Renison, D., Giordano, P., Bazzano, G. y Gleiser, R. (2012). Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología)*. Serie Ecología. 5(1): 71-115.

McAleece, N., Lamshead, P. J. D., Paterson, G. L. J., and Gage, J. D. (1997). Natural History Museum and Scottish Association for Marine Science, in *Biodiversity Professional (V.2.0)*. [En línea]. Disponible en: <http://biodiversity-pro.software.informer.com>. Fecha de consulta: 25 de mayo de 2018.

McCoy-Sulentic, M. E., Kolb, T. E., Merritt, D. M., Palmquist, E., and Ralston, B. E. (2017). Changes in Community-Level Riparian Plant Traits over Inundation Gradients, Colorado River, Grand Canyon. *Wetlands*. 37(4): 635-646.

McLeod, K. W. and McPherson, J. K. (1973). Factors limiting the distribution of *Salix nigra*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102-110.

Molina-Guerra, V. M., Mora-Olivo, A., Alanís-Rodríguez, E., Soto-Mata, B., Patiño-Flores, A. M. 2019. Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 114 Pp.

Mora-Olivo, A. and Villaseñor, J. L. (2007). Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 1(1): 511-527.

Moreno-Jiménez, V., Castillo-Acosta, O., Gama-Campillo, L., Zavala-Cruz, J. y Ortiz-Pérez, M. A. (2017). Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Madera y Bosques*. 23(1): 91-109.

- Muller, C. (1947). Vegetation and climate in Coahuila, México. *Madroño*. 9: 33-57.
- Paolino, R. M., Royle, J. A., Versiani, N. F., Rodrigues T. F., Pasqualotto, N., Krepschi, V. G., and Chiarello, A. G. (2018) Importance of riparian forest corridors for the ocelot in agricultural landscapes. *Journal of Mammalogy*. 99(4): 874-884.
- Pedroche, S. Z. (1994). Revisión del género *Leucaena* en México (parte C). *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*. 65(2): 83-162.
- Peguero, B. (2010). *Composición y Estructura de la Vegetación en la Franja de la Línea de Transmisión Sub-estación Pizarrete Los Montones*. Santo Domingo, D. N., República Dominicana. [En línea]. Disponible en: https://www.eib.org/attachments/pipeline/20070230_eia8_es.pdf. Fecha de consulta: 24 de junio de 2018.
- Pennington, D. N., Hansel, J. R., and Gorchov, D. L. (2010). Urbanization and riparian forest woody communities: diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. *Biological Conservation*. 143(1): 182-194.
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., and Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé ex. Dc.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña, México. *Polibotánica*. (43): 349-364.
- Pérez-Calix, E. (1996). *Flora y vegetación de la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XIII. Pátzcuaro, Michoacán: Instituto de Ecología. 73 Pp.
- Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Nuevo León (2008). Decreto por el cual se declara como "Área Natural Protegida Estatal, en categoría de "Parque Urbano", bajo la denominación de "Parque Lineal" el cauce del río Santa Catarina, localizado en los municipios de Monterrey, San Pedro Garza García, Guadalupe, Juárez y Santa Catarina, Nuevo León, supeditada la vigencia a los términos de su Artículo Cuarto, y 2 Anexos (primera publicación). [En línea]. Disponible en: http://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_plineal.pdf. Fecha de consulta: 13 de abril de 2018.
- PDUMM, Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey 2013-2025 (2012). Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey. [En línea]. Disponible en: http://portal.monterrey.gob.mx/pdf/2013_2025.pdf. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2018.
- Revels, F. O., Rosales, R., Nava, C. A., Delgado, E., Cuéllar, E. I., Carrete, F. Ó. y Ríos, J. C. (2010). Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(1): 45-54.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. Primera edición digital. [En línea]. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf. Fecha de consulta: 13 de abril de 2018.
- Rzedowski, J. y Calderón-de-Rzedowski, G. (1997). *Flora del Bajío y zonas adyacentes. Fascículo 51. Familia Leguminosae. Sub-familia Caesalpinioideae*. Pátzcuaro, Michoacán. México: Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío. 57 Pp.
- SAGARPA, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México*. Diario Oficial. Tercera Sección. México, D.F. [En línea]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464456&fecha=07/12/2016. Fecha de consulta: 6 de junio de 2018.
- Santiago-Pérez, A. L., Ayón, A., Rosas, V. C., Rodríguez, F. A. y Toledo, S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(24): 144-159.
- Stover, J., Keller, E., Dudley, T., and Langendoen, E. (2018). Fluvial geomorphology, root distribution, and tensile strength of the invasive giant reed, *Arundo donax* and its role on stream bank stability in the Santa Clara River, Southern California. *Geosciences*. 8(8): 304.
- Treviño, E. J., Cavazos, C. y Aguirre, O. A. (2001). Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques*. 7(1): 13-25.
- Villarreal, J. A., Carranza, M. A., Estrada, E. y Rodríguez, A. (2006). Flora riparia de los Ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Botanica Mexicana*. 75: 1-20.
- Villaseñor, J. L. and Espinosa-García, F. J. (2004). The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*. 10(2): 113-123.
- Wassens, S., Ning, N., Hardwick, L., Bino, G., and Maguire, J. (2017). Long-term changes in freshwater aquatic plant communities following extreme drought. *Hydrobiologia*. 779(1): 233-247.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*. 21(2-3): 213-251.
- Zárate, S. (1994). Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*. 65(2): 83-162.



Imagen de: Pexels en Pixabay

Infusión de la planta medicinal *Buddleja scordioides* Kunth utilizada para tratar la inflamación intestinal

Infusion of the *Buddleja scordioides* Kunth medicinal plant used to treat intestinal inflammation

Cecilia Villegas-Novoa, Martha Rocío Moreno-Jiménez, Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán*

RESUMEN

La medicina tradicional es un recurso alternativo para el tratamiento de múltiples síntomas asociados a patologías gastrointestinales como la inflamación. Las infusiones herbales, a diferencia de los medicamentos farmacológicos, contienen múltiples compuestos químicos de diversa naturaleza, que actúan sinérgicamente para dar una respuesta antiinflamatoria. La planta *Buddleja scordioides* Kunth Scrophulariaceae es conocida por sus efectos antiinflamatorios, y se utiliza comúnmente para combatir síntomas relacionados a desórdenes gastrointestinales como diarrea, dolor e inflamación. Es una planta de consumo popular y fácil de adquirir, por lo que es investigada en torno a su uso en la salud intestinal. El objetivo de esta investigación fue recopilar información de los componentes fitoquímicos presentes en *Buddleja scordioides*, resumir la información relacionada con la absorción, digestión y transporte de los compuestos herbales a lo largo del tracto gastrointestinal, y definir su efecto antioxidante y antiinflamatorio. Se encontró que *Buddleja scordioides* es una especie utilizada como planta medicinal para tratar síntomas asociados con procesos de inflamación gastrointestinal. El uso etnofarmacológico de la planta *B. scordioides* se encuentra respaldada por investigaciones científicas que atribuyen su actividad antioxidante y antiinflamatoria al contenido fitoquímico de la planta.

PALABRAS CLAVE: infusión, planta medicinal, salud intestinal.

ABSTRACT

Traditional medicine is an alternative resource for the treatment of multiple symptoms associated with gastrointestinal diseases such as inflammation. Herbal infusions, unlike pharmacological medicines, contain multiple chemical compounds of diverse nature, which act synergistically to give an anti-inflammatory response. The *Buddleja scordioides* Kunth Scrophulariaceae plant is known for its anti-inflammatory effects and is commonly used to combat symptoms related to gastrointestinal disorders such as diarrhea, pain and inflammation. The easy acquisition and popular consumption of *Buddleja scordioides*, make this plant an important research objective for the area of intestinal health. The aim of this research was to gather information on the phytochemical components present in *Buddleja scordioides*, summarize information related to the absorption, digestion and transport of herbal compounds along the gastrointestinal tract and define its antioxidant and anti-inflammatory effect. We found that *Buddleja scordioides* is a species used as a medicinal plant to treat symptoms associated with gastrointestinal inflammation process. The ethnopharmacology use of the *B. scordioides* plant is supported by scientific research that attributes its antioxidant and anti-inflammatory activity to the plant's phytochemical content.

KEYWORDS: infusion, medicinal plant, intestinal health.

*Correspondencia: nrocha@itdurango.edu.mx/ Fecha de recepción: 12 de abril de 2019/ Fecha de aceptación: 23 de septiembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica, Felipe Pescador núm. 1830 Ote., Durango, Durango, México, C. P. 34080.

INTRODUCCIÓN

La inflamación gastrointestinal está relacionada con el estilo de vida, la dieta, el estrés y las condiciones ambientales a las cuales está expuesto un individuo. Por lo tanto, el curso de la vida de cada paciente es un factor crítico para la etiología de la enfermedad inflamatoria intestinal, lo que causa que un medicamento farmacológico sea efectivo para una persona y no para otra (Fine y col., 2019). Como alternativa para el tratamiento de desórdenes gastrointestinales, es común el consumo de infusiones herbales, principalmente por la asociación generalizada entre los compuestos naturales y la salud. Además, los tratamientos farmacológicos para la inflamación, como los aminosalicilatos y corticoides están estrechamente relacionados con efectos secundarios, haciendo que las infusiones herbales sean aún más preferidas como tratamiento medicinal alternativo (Cao y col., 2019).

En México y en el mundo, existe una cultura ancestral de consumir infusiones de plantas para el tratamiento de trastornos de salud. Esto se realiza con frecuencia sin el conocimiento científico de su efectividad médica o sus riesgos tóxicos, lo que lo vuelven un problema de salud pública, el cual se agrava porque muchas especies son de fácil acceso y no se tienen recomendaciones o regulaciones para su consumo (Ekor, 2014).

El término de “planta medicinal” fue definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1978) como —cualquier vegetal que en uno o más de sus órganos contengan sustancias que pueden ser utilizadas con fines terapéuticos *per se* o como precursores para la síntesis de otros productos de importancia químico-farmacéutica—. En referencia a dicho concepto, la ciencia contemporánea reconoce la acción de los metabolitos secundarios de las plantas medicinales empleadas como tratamientos terapéuticos, aun siendo escasas las evidencias científicas documentadas de los efectos benéficos que se les atribuye. Por lo tanto, la preservación

y el conocimiento sobre plantas medicinales se han incluido en las farmacopeas de diferentes países.

En la actualidad, las principales patologías que son tratadas por medio de la herbolaria medicinal son las enfermedades del sistema respiratorio y las del sistema gastrointestinal, principalmente aquellas asociadas a problemas digestivos o infecciosos (Jacobo-Herrera y col., 2016). Entre la población mexicana son populares los remedios herbales para el tratamiento de diarrea, dolor abdominal, estreñimiento o inflamación (Alonso-Castro y col., 2016). Uno de los remedios herbales, comúnmente recomendados para el tratamiento de síntomas asociados a la enfermedad inflamatoria intestinal, es la infusión con hojas de la planta *Buddleja scordioides* Kunth Scrophulariaceae, popularmente conocida como *salvilla*. La planta *Buddleja scordioides* crece como arbusto ramificado y aromático (Figura 1).

Recientemente, *Buddleja scordioides* es objeto de estudio científico, debido al interés e importancia que la planta tiene entre la población mexicana. La bioactividad de las infusiones de salvilla ha sido asociada, al menos en parte, a la abundancia y diversidad de metabolitos secundarios no nutrientes -fitoquímicos- de la planta (Cortés y col., 2006; Díaz-Rivas y col., 2015). Estos metabolitos tienen una baja eficacia como componentes bioactivos cuando son comparados con fármacos, pero si son ingeridos regularmente y en cantidades significativas, como parte de la dieta, pueden presentar un efecto fisiológico relevante a largo plazo, por tanto, son considerados una alternativa como consecuencia del incremento de su bioaccesibilidad por acción de la microbiota intestinal, con potencial terapéutico más efectivo y menos tóxico (Possemiers y col., 2011).

Ante la escasez de trabajos etnobotánicos, relativos a esta especie, y la necesidad de documentar el conocimiento transmitido de generación en generación, se plantea este escrito



■ **Figura 1.** Planta silvestre de *Buddleja scordioides* Kunth.

Figure 1. Wild plant of *Buddleja scordioides* Kunth.

como antecedente del consumo de infusiones de *Buddleja scordioides* como planta medicinal empleada tradicionalmente.

El objetivo de esta investigación fue recopilar información de los componentes fitoquímicos presentes en *Buddleja scordioides*, resumir la información relacionada con la absorción, digestión y transporte de los compuestos herbales a lo largo del tracto gastrointestinal y definir su efecto antioxidante y antiinflamatorio.

Composición química de *Buddleja scordioides* Kunth

Las especies del género *Buddleja* spp son plantas tropicales y subtropicales, aunque varias especies se han naturalizado en zonas templadas. Alrededor de 50 especies son nativas del continente americano, encontrándose desde el sur de Estados Unidos, hasta Argentina y Chile (Houghton, 1984). La mayoría de las especies de *Buddleja* son silvestres, por lo que existe poca información sobre estas plantas. La especie *scordioides* de este género se emplea utilizando las hojas, y en algunos estados, como Guanajuato y San Luis Potosí, se usan además de las hojas, sus tallos (Zamudio-Ruiz, 2012; García-Regalado, 2015; Villaseñor, 2016). La planta de *Buddleja scordioides* es conocida con diferentes nombres, entre los más comunes se encuentran: salvilla, escobilla, salvia, hierba del perro, tepo-

zán, golondrilla, palo de salvia y hierba de las escobas (Martínez, 1994; Ramírez y col., 2010; González-Elizondo y col., 2017).

Como previamente se ha mencionado, popularmente la planta de salvilla se consume como una infusión de sus partes aéreas. Asimismo, diversos estudios han documentado la identificación de diferentes compuestos químicos presentes en *Buddleja* spp (Tabla 1), a partir de extractos crudos obtenidos con solventes e infusiones. En particular, estudios realizados sobre infusiones de *Buddleja scordioides* por Herrera-Carrera y col. (2015) indicaron la presencia de ácido cafeico, ácido vanílico, vanillina y ácido coumárico. Por otra parte, Díaz-Rivas y col. (2015) ampliaron el perfil fenólico identificando a los ácidos clorogénico, sinápico y rosmarínico. También, Rocha-Guzmán y col. (2018) identificaron la presencia adicional de los ácidos de las subclases de hidroxibenzoicos (gálico, gentísico, 4-hidroxibenzoico, salicílico y el trihidroxibenzaldehído) e hidroxicinámicos (quínico, 4-O-cafeoilquínico, 4,5 dicafeoilquínico y ferúlico), así como la presencia de flavonoides de la subclases de flavonoles (quercetina, isoquercitrina, rutina, quercetina 3-O- β -glucurónido), flavanonas (naringenina y eriodictiol) y flavonas (luteolina, acacetina y apigenina). Además, Díaz-Rivas y col. (2018b), reportaron en infusiones de salvilla concentradas en un eva-

■ Tabla 1. Compuestos identificados en *Buddleja* spp.Table 1. Compounds identified in *Buddleja* spp.

Planta	Solvente de extracción	Compuestos identificados	Efecto	Fuente
<i>Buddleja polystachya</i>	Acetato de etilo, n-butanol y fracciones acuosas	Verbascósidos, linarina, luteolina-7-O- β -D-glucósido y luteolina	Antiinflamatorio Actividad hipoglicemiante	(Al Ati y col., 2015)
<i>Buddleja globosa</i>	Extracto acuoso	Ácido gálico y equivalentes	Antioxidante, antihemolítico	(Suwalsky y col., 2017)
<i>Buddleja cordata</i>	Metanol	Verbascósidos	Antiinflamatorio en artritis, antioxidante, antiedematoso	(Gutiérrez-Rebolledo y col., 2019)
<i>Buddleja davidii</i> y <i>Buddleja officinalis</i>	-	Linarina (acacetina-7-O- β -D-rutinósido)	Potencial inhibidor de la actividad de la acetilcolinesterasa	(Feng y col., 2015)
<i>Buddleja scordioides</i>	Hexano, metanol, etilacetato, acetona	Flavonoides, iridoides, fenilpropanoides, sesquiterpenos y saponinas	Investigación dirigida al aislamiento e identificación de compuestos	(Ávila y Romo-de-Vivar, 2002; Díaz-Rivas y col., 2018a)
<i>Buddleja scordioides</i>	Infusiones	Ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles, flavanonas y flavonas	Antiinflamatoria y gastroprotectora	(Herrera-Carrera y col., 2015; Díaz-Rivas y col., 2015; Rocha-Guzmán y col., 2018)
<i>Buddleja scordioides</i>	Infusiones concentradas	Flavonoles, flavanonas y flavonas	Antioxidante	(Díaz-Rivas y col., 2018b)

porador de película descendente agitada, la presencia de los ácidos shikímico y benzoico, y el perfil de flavonoides reportado por Rocha-Guzmán y col. (2018).

Otros estudios realizados para la obtención de extractos crudos a partir de diversas especies del género *Buddleja*, emplean mezclas binarias de solventes polares, principalmente etanol-agua y acetona agua. Este tipo de mezclas permiten extraer fitoconstituyentes bioactivos de diferente polaridad, por ejemplo, ácidos fenólicos, flavonoides, verbascósidos, quinonas, coumarinas, terpenoides y alcaloides,

entre otros grupos químicos. Especialmente en las plantas del género *Buddleja* se ha documentado la presencia de iridoides y saponinas (Ávila y Romo-de-Vivar, 2002), ligninas, lignanos y neolignanos, (Hallac y col., 2009), feniletanoides y fenilpropanoides (Yamamoto y col., 1993), terpenoides (Joshi y col., 2012), ésteres aromáticos (Al Ati y col., 2015), ácidos fenólicos y flavonoides (Díaz-Rivas y col., 2018a) y verbascósidos (Gutiérrez-Rebolledo y col., 2019).

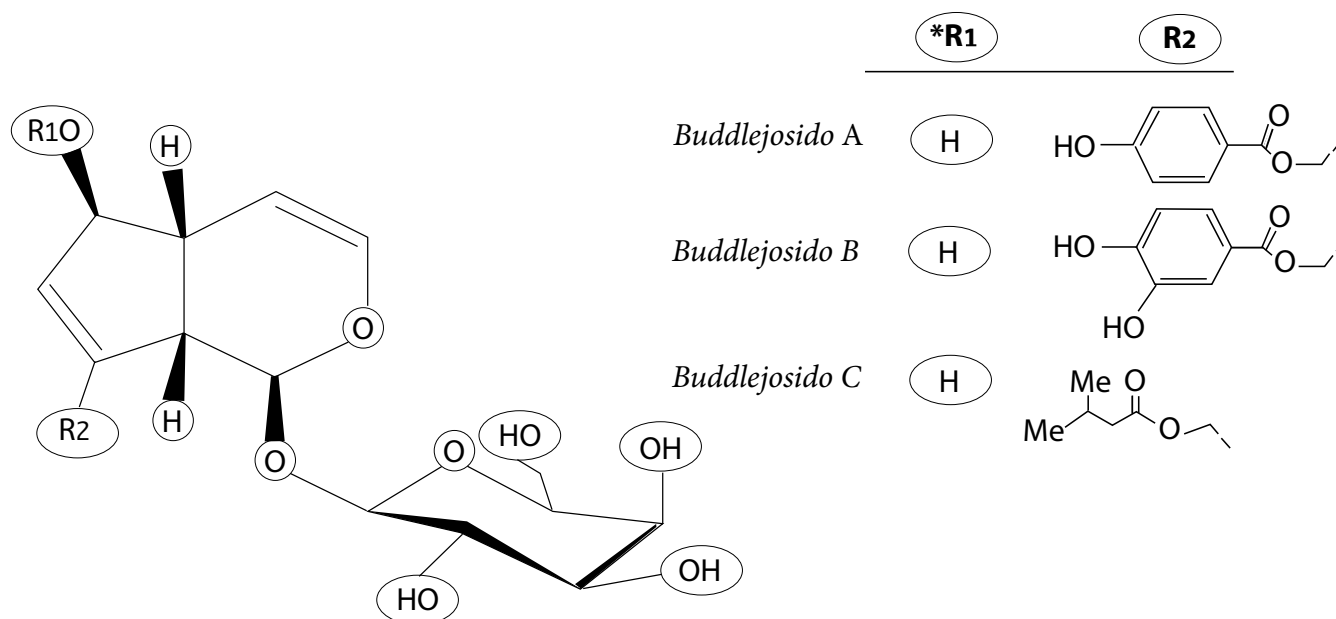
Absorción de compuestos químicos herbales

Las infusiones de *Buddleja scordioides* se con-

sumen popularmente sin considerar su composición, actividad antioxidante y contenido de polifenoles, solo con el antecedente de que muestran efectos benéficos en el tracto gastrointestinal. En reportes previos, el efecto benéfico de la infusión de *Buddleja scordioides*, se relaciona con la presencia de compuestos bioactivos con efecto antioxidante, antiinflamatorio (Herrera-Carrera y col., 2015) y antiespasmódico (Cortés y col., 2006). En las infusiones de *Buddleja scordioides*, los polifenoles extraíbles se encuentran como monómeros y están principalmente glicosidados, lo que afecta el grado de absorción de estos fitoquímicos. Estos polifenoles glicosidos tienen una pobre biodisponibilidad oral, que les impide alcanzar una concentración mínima efectiva necesaria para su acción terapéutica, en órganos distintos a los que conforman el sistema gastrointestinal (Brglez y col., 2016).

En general, en diferentes especies del género *Buddleja* es común encontrar flavonoides en

su forma conjugada, unidas covalentemente a los azúcares por enlaces O-glicosídicos o menos comúnmente por enlaces C-glicosídicos. El número de azúcares es comúnmente uno, pero pueden tener en su estructura dos o tres azúcares en diferentes posiciones posibles de sustitución en la estructura fenólica. El azúcar unido a la estructura fenólica es a menudo glucosa o ramnosa (Figura 2), pero también puede ser ácido glucurónico, galactosa, xilosa, arabinosa u otros sacáridos (Gutiérrez-Grijalva y col., 2016). Como ya se ha establecido, debido a su hidrofiliicidad, los flavonoides glicosidados no son absorbidos fácilmente, lo que ocasiona que no haya una acumulación significativa de estos metabolitos activos en los tejidos blanco u objetivo (del inglés: *Target tissue*). Estos tejidos son aquellos en donde los compuestos químicos de las plantas tienen efecto, debido a que son capaces de absorber, metabolizar y/o transportar dichos compuestos (Meena y col., 2019). La presencia de ligandos selectivos (transportadores de membrana, canales de iones y, re-



*R1 puede ser diferente a H en los derivados *Buddlejoso A*2 a *A*16 (Khan y col., 2019).

Figura 2. Estructura química de compuestos encontrados en el género *Buddleja*. Algunos de los componentes de plantas medicinales como *Buddleja scordioides*, se encuentran unidos a un azúcar como glucosa o ramnosa.

Figure 2. Chemical structure of compounds found in the *Buddleja* genus. Some of the components of medicinal plants such as *Buddleja scordioides*, are linked to a sugar such as glucose or rhamnose.

ceptores nucleares y de membrana) a ciertos compuestos químicos, hacen un órgano blanco para absorber metabolitos activos (Landry y Gies, 2008). Sin embargo, si la absorción de los flavonoides glicosidados no se lleva a cabo, como consecuencia, los flavonoides deberán ser desconjugados a sus respectivas agliconas antes de que puedan metabolizarse y llegar a estar sistémicamente disponibles (Beekmann, 2012). Así mismo, durante la digestión de productos derivados de plantas medicinales, como las infusiones de *Buddleja*, no todos los compuestos químicos son bioaccesibles para ejercer una función biológica contra algún síntoma patológico (Gawlik-Dziki y col., 2017). Por lo tanto, aunque estos fitoconstituyentes suelen ser abundantes en productos herbales, su biodisponibilidad se ve afectada a menudo por su polaridad, su grado de polimerización y sus formas glicosidadas. Además, la absorción de los polifenoles también puede verse afectada por la interacción directa con componentes de los alimentos, como las proteínas y los carbohidratos, esto puede deberse a que en algunos casos los polifenoles y los alimentos presentan un mecanismo de absorción similar (Kardum y Glibetic, 2018).

Digestión y metabolismo de los compuestos fenólicos presentes en infusiones herbales

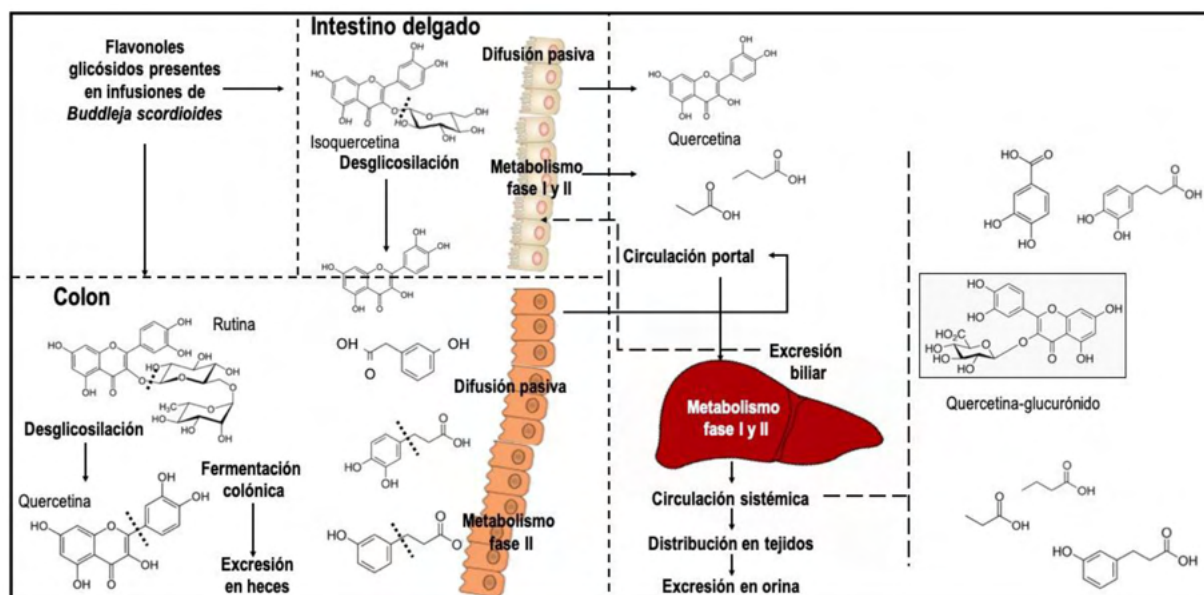
Los reportes previos indican que, los polifenoles obtenidos de especies del género *Buddleja*, utilizando mezclas binarias de solventes (como metanol y acetato de etilo), y no como infusión, se encuentran en forma de ésteres, glucósidos o polímeros, que no pueden ser metabolizados en su forma nativa (Ávila y Romo-de-Vivar, 2002). Hay poca información de la presencia de polímeros en infusiones de *Buddleja scordiodes*, por lo que es necesario profundizar en la caracterización química de su infusión. Hasta ahora, los perfiles químicos reportados en infusiones de *Buddleja scordiodes* se refieren a monómeros de flavonoides glicosidados, como las moléculas de mayor grado de polimerización. Además, la mayoría de los glucósidos resisten la hidrólisis ácida del estómago, llegando intactos al

intestino, en donde las enzimas de las células epiteliales intestinales pueden hidrolizarlos (García-Villalba y col., 2017).

Es importante considerar que el tipo de glicosilación de los polifenoles determina en que sitio del tracto gastrointestinal serán desconjugados. De modo tal, que, los flavonoides conjugados con glucosa sufrirán desglicosilación en el intestino delgado, por la acción ya sea de la lactasa-floridzín hidrolasa (LFH), o bien por la β -glucosidasa citosólica (β GC). Las formas agliconas resultantes se difunden pasivamente en las células del intestino en donde se conjugan, formándose metabolitos que se transportan a la vena porta, hasta llegar al hígado, en donde sufren procesos de metilación, sulfatación y/o glucuronidación (Zhang y col., 2016). Al respecto, la glucuronidación de flavonoides ocurre en los diferentes grupos hidroxilo dentro de la estructura del anillo bencénico en relación al grupo carboxílico, donde sus sitios comunes de conjugación suelen estar en las posiciones 7 del anillo A, 3 del anillo C, y 3' o 4' del anillo B (Felgines y col., 2003).

El tiempo de tránsito de moléculas, cuya polaridad o tamaño no permite su absorción en el intestino delgado, se cita casi invariablemente de 2 h a 4 h (Ahmed y Ayres, 2011), tiempo suficiente para permitir la biotransformación de los compuestos químicos complejos en compuestos más simples por acción enzimática (Yuen, 2010). El ambiente anaeróbico en el intestino conduce a reacciones de reducción, permitiendo que los compuestos nitro, carbonilo y azo de los polifenoles pueden reducirse fácilmente. Por su parte, flavonoides glicosidados con azúcares diferentes a la glucosa, llegarán al colon, donde serán fermentados por la microbiota colónica para producir las formas agliconas y metabolitos de masa molecular menor, los cuales pueden ser posteriormente absorbidos (Williamson y Clifford, 2017).

Estas vías de captación de compuestos polifenólicos o sus metabolitos producto de la fer-



■ Figura 3. Procesos de biotransformación de flavonoides glicosidados. Los metabolitos de los compuestos químicos de *Buddleja scordioides* son absorbidos, digeridos y transportados por órganos como el intestino, colon, hígado, estómago, riñones, y por la sangre.

Figure 3. Biotransformation processes of glycoside flavonoids. The metabolites of the *Buddleja scordioides* chemical compounds are absorbed, digested and transported by organs such as the intestine, colon, liver, stomach, kidneys, and blood.

mentación colónica, favorecen la acumulación en circulación sistémica de compuestos bioactivos (Figura 3), y pueden actuar como moduladores de las cascadas de señalización que rigen los procesos biológicos, y así modular los síntomas como dolor o inflamación (Kawabata y col., 2013).

La metabolización de los compuestos químicos herbales depende de múltiples factores relacionados con el huésped, por ejemplo, género y edad, microbiota colónica, trastornos y/o patologías, genética, condiciones fisiológicas, tiempo del tránsito intestinal, actividad enzimática, entre otros (Rothwell y col., 2016). En general, el tracto gastrointestinal tiene una longitud aproximada de 6.5 m y contiene hasta 100 billones de microorganismos. La microbiota presente en colon difiere de la que habita el intestino delgado, el estómago y el esófago. Por lo que, no se pueden inferir respuestas biológicas sin considerar las interacciones polifenol-microbiota. Sin embargo, estas interacciones son complejas y suje-

tas a la variabilidad interindividual que conduce a diferentes fenotipos de microorganismos metabolizadores de polifenoles (metabotipos) (Tomás-Barberán y col., 2016). Los estudios con metabotipos son recientemente considerados, y por lo tanto, hay escasez de información que aborde las interacciones de polifenoles del género *Buddleja* con la microbiota. En relación a esto, mediciones precisas de la ingesta, la exposición y el efecto de compuestos bioactivos, podrían evaluar la relevancia fisiológica de los polifenoles presentes en productos herbales para cada metabotipo (Bolca y col., 2013). Los principales microorganismos detectados en el tracto gastrointestinal pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Eubacterium*, *Peptococcaceae*, *Veillonella*, *Megasphaera*, *Gemmiger*, *Clostridium*, *Enterobacteriaceae* y *Bacteroidaceae* (Blum, 2017). Debido a que la cantidad y las especies de bacterias intestinales son diferentes entre los individuos, las actividades enzimáticas para

metabolizar y absorber los compuestos fitoquímicos también son diversas (Sousa y col., 2008). La acción de las enzimas β -glucosidasas de la microbiota intestinal permiten la eliminación del azúcar presente en compuestos glicosidados, y las agliconas resultantes se absorben a través del intestino, donde son conjugadas para favorecer su circulación por todo el organismo (Kuntz y col., 2015).

El metabolismo de los glucósidos involucra principalmente enzimas hidrolíticas, como la β -glucosidasa, la α -ramnosidasa, la β -glucuronidasa y la α -galactosidasa, que liberan las agliconas de los glucósidos y glucurónidos. Particularmente, las bifidobacterias son productoras de β -glucosidasas, además de ser capaces de metabolizar la quercetina aglicona en ácidos fenólicos y dos metabolitos, el ácido 3, 4-dihidroxifenilacético y el ácido 3, 4 dihidro-xifenilpropiónico, que tienen actividad antiinflamatoria (Kawabata y col., 2013). Adicionalmente, las transformaciones microbianas del núcleo polifenólico generan metabolitos con bioactividades a menudo alteradas. La mayoría de estos metabolitos microbianos experimentan metabolismo de la fase I/II durante y después de la absorción a través del epitelio intestinal (Bolca y col., 2013).

En resumen, durante y después de la absorción intestinal, los compuestos químicos se metabolizan rápidamente en las células intestinales y hepáticas, después se localizan como metabolitos biotransformados en el torrente sanguíneo y en la orina. El hígado metaboliza los compuestos, almacena algunos de ellos, filtra la sangre y secreta la bilis. El intestino recibe secreciones del páncreas y el hígado completa la biotransformación de los metabolitos, absorbe los productos de la digestión y transporta las moléculas que continúan siendo complejas al intestino grueso. Los metabolitos biotransformados de las plantas medicinales se distribuyen a los tejidos y pueden actuar biológicamente para mantener el equilibrio en el microambiente celular y tisular (D'Archivio y col., 2010).

Actividad antioxidante

Las propiedades antioxidantes de los polifenoles están asociadas a la presencia de grupos *orto*-fenólicos; la naturaleza y la posición de estas sustituciones afectan actividades biológicas subsecuentes, posiblemente, la reducción o la supresión de las actividades detectadas en las formas agliconas (Marvalín y Azerad, 2011). De manera que, la actividad antioxidante asociada al consumo de productos ricos en flavonoides es relevante en el área de la salud (Wood-dos-Santos y col., 2018), debido a que disminuye el estrés oxidativo a través de las siguientes vías: 1) atrapamiento directo de radicales libres (Tavsán y Kayalı, 2019), 2) interacción con metales (Li y col., 2017) y 3) la inhibición de enzimas productoras de especies reactivas de oxígeno (ERO), en particular xantina oxidasa, NADHP oxidasa y lipooxigenasas (Xie y col., 2012).

La generación de ERO, es un proceso natural de vida aeróbica; las ERO son necesarias en ciertos niveles en el organismo para participar en las funciones celulares, incluidas las vías de transducción de señales, la expresión de genes para promover el crecimiento o la muerte celular (Hamanaka y Chandel, 2010). En condiciones fisiológicas normales, un sistema eficaz de defensa antioxidante modula constantemente la acción oxidativa de las ERO y las especies reactivas de nitrógeno (ERN), minimizando así el daño oxidativo/nitrosativo. Un desequilibrio entre los sistemas prooxidante y antioxidante, que causa una condición fisiopatológica conocida como estrés oxidativo, conduce a la alteración de la homeostasis redox celular, altera las cascadas de señalización celular y provoca daño molecular, y por consecuencia desencadena un estado de inflamación (Jiang y col., 2015).

Los compuestos naturales contenidos en *Buddleja scordiodoides*, como ácidos fenólicos, flavonoles, flavonas y otros, confieren características antioxidantes. Estas propiedades se deben a los hidrógenos de los grupos fenoxilo que son sensibles a ser donados a un radical, y a la estructura resultante que se estabili-

za químicamente por resonancia y deslocalización de electrones. En este sentido, las partes aéreas de *Buddleja scordioides* contienen verbascósido y linarina, y el verbascósido se caracteriza estructuralmente por el ácido cafeico y el 4, 5-hidroxifeniletanol unidos a un β -(D)-glucopiranosido; este se encuentra en muchas plantas medicinales y ha demostrado actividad biológica generalizada como antioxidante, al modular las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (Korkina, 2007). Las infusiones de *Buddleja scordioides* además contienen quercetina, que es uno de los polifenoles antioxidantes más reconocidos de la subclase de los flavonoles (Díaz-Rivas y col., 2018b).

Actividad antiinflamatoria

La inflamación es una respuesta inmune defensiva a los estímulos que potencialmente dañan al organismo, como infecciones bacterianas o estrés oxidativo. Durante la inflamación actúan principalmente los monocitos, neutrófilos y linfocitos, que desempeñan un papel fundamental en los mecanismos de defensa del huésped (Wang y col., 2019), mediante la síntesis y liberación de citoquinas, para dar respuesta a una amplia gama de tensiones celulares, incluido el estrés oxidativo, las infecciones y el daño tisular causado por la inflamación (Morrow y col., 2019). En estas situaciones, las citoquinas, cuya función en el organismo es coordinar las respuestas del sistema inmunológico, minimizan el daño celular, activando o inhibiendo genes de otras citoquinas. Así, las células inmunes mononucleares secretan altos niveles de IL-1 α e IL-1 β que junto con TNF- α , se definen como “citoquinas de alarma” que inician los procesos de inflamación (Apte y Voronov, 2002). Las proteínas NF- κ B, son un grupo de factores de transcripción nuclear, principalmente diméricos, que regulan la expresión de más de 300 genes involucrados en procesos biológicos, incluida la inflamación. En condiciones normales, el NF- κ B existe en un complejo citoplásmico, con una proteína inhibidora I κ B α . La degradación de I κ B α libera el activador principal NF- κ B, que luego se traslada al núcleo y desencadena la

transcripción de numerosos genes proinflamatorios (Yue y col., 2006).

En la inflamación, el sistema enzimático tiene participación con la presencia y actividad de las isoformas de ciclooxigenasas (COX) que conducen a la formación de prostaglandinas (PG), las cuales desempeñan funciones protectoras en la mucosa gástrica (Hoshino y col., 2003). Así, la COX-1 se expresa de forma constitutiva y está presente en la mayoría de los tejidos, mientras que la COX-2 es inducida por varios estímulos que incluyen lipopolisacáridos y citoquinas proinflamatorias como IL-1 β y TNF- α (Li y Wang, 2011). Esta ciclooxigenasa cataliza la producción de PGE-2, que a su vez induce la síntesis de IL-8, que es una citoquina del tipo de las quimiocinas, producida por varios tipos celulares, como los monocitos, linfocitos T, neutrófilos, macrófagos, células endoteliales vasculares, células de cáncer gástrico, entre otros (Strieter y col., 1989; Yasumoto y col., 1992).

Flavonoides constituyentes de infusiones de *Buddleja scordioides* muestran propiedades antiinflamatorias. En particular, aquellos que están estrechamente relacionados con diversas actividades biológicas, destacando las subclases de flavonoles, flavanonas y flavonas. Como ejemplo, la quercetina, considerada como el antioxidante más activo de la subclase de flavonoles, ha mostrado la capacidad de inhibir la síntesis de TNF- α en macrófagos activados por lipopolisacáridos de bacterias (Choy y col., 2016). Por su parte, las flavanonas naringina y eriodictiol han mostrado la capacidad de reducir la expresión de CRP e inhibir la actividad de las quinasas JNK2 y p38 en células RAW264.7 (Mao y col., 2017).

La apigenina es una de las flavonas más reportadas por su capacidad antiinflamatoria con respuestas dosis dependiente sobre modelos de colitis (Mascaraque y col., 2015). Además, esta flavona inhibe las síntesis de PG inducida por IL-1 β y la producción de IL-6 e IL-8, inducida por TNF- α , lo que sugiere que las hidroxiflavonas pueden actuar como inhibidor de

la expresión génica inducida por citoquinas (Zhang y col., 2014). La luteolina que es una dihidroxiflavona ampliamente reconocida por su capacidad antioxidante, causa efectos antiinflamatorios por inhibición de la vía NF- κ B; suprime la expresión de la proteína-1 quimioatrayente de monocitos (MCP-1) y las moléculas de adhesión ICAM y VCAM, que son mediadores clave implicados en la mejora de la interacción de los monocitos y las células endoteliales (Jia y col., 2015). Finalmente, la linarina es una flavona glicósido que afecta la producción de la citoquina TNF- α , e inhibe la expresión de iNOS (Kim y col., 2007).

CONCLUSIONES

El consumo de infusiones de plantas medicinales es parte de la cultura de la población, y está basado en experiencia empírica que asocia su consumo con la observación de efectos benéficos contra síntomas de enfermedades diversas, en ocasiones sin considerar el riesgo a la salud al desconocer su composición química. Debido a esto, el conocimiento científico sobre plantas de uso medicinal como *Buddleja scordioiodes* adquiere relevancia por su impacto en la salud pública. El consumo de infusiones de la planta *B. scordioiodes* ha sido asociada al efecto antiinflamatorio, debido principalmente a su com-

posición química y a las propiedades antioxidantes de sus componentes mayoritarios como la quercetina y luteolina. Durante la digestión, los componentes herbales de *Buddleja scordioiodes* sufren procesos de biotransformación por la microbiota intestinal, las células epiteliales y las células hepáticas, que modifican los compuestos químicos de la planta, proceso que influye en el efecto final de los fitoquímicos sobre las respuestas antioxidantes y antiinflamatorias. Además, durante la absorción de metabolitos derivados de plantas medicinales, como en las infusiones de *Buddleja*, no todos los compuestos químicos son bioaccesibles para ejercer una función biológica contra algún síntoma, y al igual que los tratamientos farmacológicos, las biotransformaciones de los fitoquímicos varían de un organismo a otro. Por lo tanto, el estudio de las infusiones herbales, su composición y biotransformación química, así como sus efectos en el organismo, sigue siendo un objetivo importante de investigación en el área de la salud intestinal.

AGRADECIMIENTO

Autor Cecilia Villegas Novoa agradece la beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la realización de sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Ahmed, I. S. and Ayres, J. W. (2011). Comparison of *in vitro* and *in vivo* performance of a colonic delivery system. *International Journal of Pharmaceutics*. 409(1-2):169-77.
- Al Ati, H. Y., Fawzy, G. A., El-Gamal, A. A., Khalil, A. T., El-Din-El Tahir, K., ..., and Gilani, A. H. (2015). Phytochemical and biological evaluation of *Buddleja polystachya* growing in Saudi Arabia. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 28(4):1533-1540.
- Alonso-Castro, A. J., Domínguez, F., Mandonado-Miranda, J. J., Castillo-Pérez, L. J., Carranza-Álvarez, C., Solano, E., and Ruiz-Padilla, A. J. (2016). Use of medicinal plants by health professionals in Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*. 198: 81-86.
- Apte, R. N. and Voronov, E. (2002). Interleukin-1-a major pleiotropic cytokine in tumor-host interactions. *Seminars in Cancer Biology*. 12(4): 277-290.
- Ávila, J. G. and Romo-de-Vivar, A. (2002). Triterpenoid saponins and other glycosides from *Buddleja scordioiodes*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 10(30):1003-1005.
- Beekmann, K., Actis-Goretti, L., van-Bladeren, P. J., Dioni-si, Destailats, F., and Rietjens, I. M. (2012). A state-of-the-art overview of the effect of metabolic conjugation on the biological activity of flavonoids. *Food & function*. 3(10): 1008-1018.
- Blum, H. E. (2017). The human microbiome. *Advances in Medical Sciences*. 62(2): 414-420.
- Bolca, S., van-de-Wiele, T., and Possemiers, S. (2013). Gut metabolites govern health effects of dietary polyphenols. *Current Opinion in Biotechnology*. 24(2): 220-225.
- Brglez, E., Knez Hrncić, M., Škerget, M., Knez, Ž., and Bren, U. (2016). Polyphenols: extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*. 21(7): 901.

- Cao, F., Liu, J., Sha, B. X., and Pan, H. F. (2019). Natural products: Experimental efficient agents for inflammatory bowel disease therapy. *Current Pharmaceutical Desing*. 25(1): 31840596.
- Cho, Y. H., Kim, N. H., Khan, I., Yu, J. M., Jung, H. G., Kim, H. H., ..., and An, B. J. (2016). Anti-inflammatory potential of Quercetin-3-O- β -D-(“2”-galloyl)-glucopyrano-side and quercetin isolated from *Diospyros kaki* calyx via suppression of MAP signaling molecules in LPS-induced RAW 264.7 Macrophages. *Journal of Food Sciences*. 81(10): C2447-C2456.
- Cortés, A. R., Delgadillo, A. J., Hurtado, M., Domínguez-Ramírez, A. M., Medina, J. R., and Aoki, K. (2006). The antispasmodic activity of *Buddleja scordioides* and *Buddleja perfoliata* on isolated intestinal preparations. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 29(6): 1186-1190.
- D'Archivio, M., Filesi, C., Vari, R., Scazzocchio, B., and Masella, R. (2010). Bioavailability of the polyphenols: status and controversies. *International Journal of Molecular Sciences*. 11(4): 1321-1342.
- Díaz-Rivas, J. O., González-Laredo, R. F., Chávez-Simental, J. A., Montoya-Ayón, J. B., Moreno-Jiménez, M. R., Gallegos-Infante, J. A., and Rocha-Guzmán, N. E. (2018a). Comprehensive characterization of extractable phenolic compounds by UPLC-PDA-ESI-QqQ of *Buddleja scordioides* plants elicited with salicylic acid. *Journal of Chemistry*. 1-10.
- Díaz-Rivas, J. O., Gallegos-Infante, J., Valdez-Fragoso, A., Rocha-Guzmán, N., González-Laredo, R., Rodríguez-Ramírez, A., ..., and Moreno-Jiménez, M. (2018b). Comparative study of phenolic and content in infusions and concentrated infusions of *Buddleja scordioides* treated by high-intensity pulsed electric fields (HiPEF). *Beverages*. 4(4): 8.
- Díaz-Rivas, J. O., Herrera-Carrera, E., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., and González-Laredo, R. F. (2015). Gastroprotective potential of *Buddleja scordioides* Kunth Scrophulariaceae infusions; effects into the modulation of antioxidant enzymes and inflammation markers in an *in vivo* model. *Journal of ethnopharmacology*. 169: 280-286.
- Ekor, M. (2014). The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*. 4: 177.
- Felgines, C., Talavéra, S., Gonthier, M. P., Texier, O., Scalbert, A., Lamaison, J. L., and Rémésy, C. (2003). Strawberry anthocyanins are recovered in urine as glucuroand sulfo-conjugates in humans. *The Journal of Nutrition*. 133(5): 1296-1301.
- Feng, X., Wang, X., Liu, Y., and Di, X. (2015). Linarin inhibits the acetylcholinesterase activity *in vitro* and *ex vivo*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*. 14(3): 949-954.
- Fine, S., Papamichael, K., and Cheifetz, A. S. (2019). Etiology and Management of lack or loss of response to anti-tumor necrosis factor therapy in patients with inflammatory bowel disease. *Gastroenterology & Hepatology (N Y)*. 15(12): 656-665.
- García-Regalado, G. (2015). Universidad Autónoma de Aguascalientes. Dirección General de Difusión y Vinculación. [En línea]. Disponible en: <http://www.uaa.mx/direcciones/dgdv/editorial/>. Fecha de consulta: 11 de septiembre de 2019.
- García-Villalba, R., Vissenaekens, H., Pitart, J., Romo-Vaquero, M., Espín, J. C., and Grootaert, C. (2017). Gastrointestinal simulation model TWIN-SHIME shows differences between human urolithin-metabotypes in gut microbiota composition, pomegranate polyphenol metabolism, and transport along the intestinal tract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65(27): 5480-5493.
- Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Świeca, M., and Nowak, R. (2017). Mechanism of action and interactions between xanthine oxidase inhibitors derived from natural sources of chlorogenic and ferulic acids. *Food Chemistry*. 225: 138-145.
- González-Elizondo, M. S., López-Enriquez, I. L. y Herrera-Arrieta, Y. (2017). *Importancia económica y usos tradicionales de la flora*. México: La Biodiversidad en Durango. Estudio de Estado. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Durango (SRNYMA). 528 Pp.
- Gutiérrez-Grijalva, E. P., Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Castillo-López, I., and Heredia, J. B. (2016). Review: dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility, in Archivos Latinoamericanos de Nutrición. [En línea]. Disponible en: <http://www.alanrevista.org/ediciones/2016/2/art-1/>. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2019.
- Gutiérrez-Rebolledo, G. A., Estrada-Zúñiga, M. E., Garduño-Siliciano, L., García-Gutiérrez, G. E., Reséndiz-Mora, C. A., Calderón-Amador, J., and Cruz-Sosa, F. (2019). *In vivo* anti-arthritic effect and repeated dose toxicity of standardized methanolic extracts of *Buddleja cordata* Kunth (Scrophulariaceae) wild plant leaves and cell culture. *Journal of Ethnopharmacology*. 240: 111875.
- Hallac, B. B., Sannigrahi, P., Pu, Y., Ray, M., Murphy, R. J., and Ragauskas, A. J. (2009). Biomass characterization of *Buddleja davidii*: a potential feedstock for biofuel production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(4): 1275-1278.
- Hamanaka, R. B. and Chandel, N. S. (2010). Mitochondrial reactive oxygen species regulate cellular signaling and dictate biological outcomes. *Trends in Biochemical Sciences*. 35(9): 505-513.

- Herrera-Carrera, E., Moreno-Jiménez, M. R., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Díaz-Rivas, J. O., Gamboa-Gómez, C. I., and González-Laredo, R. F. (2015). Phenolic composition of selected herbal infusions and their anti-inflammatory effect on a colonic *in vitro* in HT-29 cells. *Cogent Food & Agriculture*. 1(1):1059033.
- Hoshino, T., Tsutsumi, S., Tomisato, W., Hwang, H. J., Tsuchiya, T., and Mizushima, T. (2003). Prostaglandin E2 protects gastric mucosal cells from apoptosis via EP2 and EP4 receptor activation. *Journal of Biological Chemistry*. 278(15): 12752-12758.
- Houghton, P. J. (1984). Ethnopharmacology of some *Buddleja* species. *Journal of Ethnopharmacology*. 11(3): 293-308.
- Jacobo-Herrera, N. J., Jacobo-Herrera, F. E., Zentella-Dehesa, A., Andrade-Cetto, A., Heinrich M., and Pérez-Plasencia, C. (2016). Medicinal plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of colorectal cancer. *Journal of Ethnopharmacology*. 179: 391-402.
- Jia, Z., Nallasamy, P., Liu, D., Shah, H., Li, J. Z., Chitrakar, R., ..., and Li, Y. (2015). Luteolin protects against vascular inflammation in mice and TNF- α -induced monocyte adhesion to endothelial cells via suppressing I κ B α /NF- κ B signaling pathway. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 26(3): 293-302.
- Jiang, W., Luo, F., Lu, Q., Liu, J., Li, P., Wang, X., and Ding, X. (2015). The protective effect of Trillin LPS-induced acute lung injury by the regulations of inflammation and oxidative state. *Chemico-biological interactions*. 243: 127-134.
- Joshi, S., Mishra, D., Bisht, G., and Khetwal, K. S. (2012). Comparative study of essential oil composition of *Buddleja asiatica* and *Buddleja davidii* aerial parts. *International Journal of Green Pharmacy*. 6: 23-25.
- Kardum, N. and Glibetic, M. (2018). Polyphenols and their Interactions with other dietary compounds: Implications for human health. *Advances in Food and Nutrition Research*. 84: 103-144.
- Kawabata, K., Sugiyama, Y., Sakano, T., and Ohigashi, H. (2013). Flavonols enhanced production of antiinflammatory substance(s) by *Bifidobacterium adolescentis*: prebiotic actions of galangin, quercetin, and fisetin. *BioFactors*. 39(4): 422-429.
- Khan, S., Ullah, H., and Zhang, L. (2019) Bioactive constituents form *Buddleja* species. *Pak. J. Pharm. Sci*. 32(2): 721-741.
- Kim, J. B., Han, A. R., Park, E. Y., Kim, J. Y., Cho, W., Lee, J., and Lee, K. T. (2007). Inhibition of LPS-induced iNOS, COX-2 and cytokines expression by poncirin through the NF-kappaB inactivation in RAW 264.7 macrophage cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 30(12): 2345-2351.
- Korkina, L. G. (2007). Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants: from plant defense to human health. *Cellular and Molecular Biology*. 53(1): 15-25.
- Kuntz, S., Rudloff, S., Asseburg, H., Borsch, C., Fröhling, B., Unger, F., and Kuntz, C. (2015). Uptake and bioavailability of anthocyanins and phenolic acids from grape/blueberry juice and smoothie *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Nutrition*. 113(7): 1044-1055.
- Landry, Y. and Gies J. P. (2008). Drugs and their molecular targets: an updated overview. *Fundamental and Clinical Pharmacology*. 22(1): 1-18.
- Li, X., Jiang, X., Sun, J., Zhu, C., Li, X., Tian, L., ..., and Bai, W. (2017). Cytoprotective effects of dietary flavonoids against cadmium-induced toxicity. *Annals of New York Academy Sciences*. 1398(1): 5-19.
- Li, C. and Wang, M. H. (2011). Anti-inflammatory effect of the water fraction from hawthorn fruit on LPS-stimulated RAW 264.7 cells. *Nutrition research and practice*. 5(2): 101-106.
- Mao, Z., Gan, C., Zhu, J., Ma, N., and Wu, N. (2017). Anti-atherosclerotic activities of flavonoids from the flowers of *Helichrysum arenarium* L. Moench through the pathway of anti-inflammation. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 27(12): 2812-2817.
- Martínez, M. (1994). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de las plantas mexicanas* (segunda edición). México: Ed. Compañía Editorial Continental. 20 Pp.
- Marvalín, C. and Azerad, R. (2011). Microbial glucuronidation of polyphenols. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 73: 43-72.
- Mascaraque, C., González, R., Suárez, M. D., Zarzuelo, A., Sánchez-de-Medina, F., and Martínez-Augustin, O. (2015). Intestinal anti-inflammatory activity of apigenin K in two rat colitis models induced by trinitrobenzenesulfonic acid and dextran sulphate sodium. *British Journal of Nutrition*. 113(4): 618-626.
- Meena, K., Sakharkar, K., Rajamanickam, C., Babu, S., Jitender M., Ramesh, C., and Jian, Y. (2019). Preclinical: drug target identification and validation in human. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. 2(2019): 1093-1098.
- Morrow, K. N., Coopersmith, C. M., and Ford, M. L. (2019). IL-17, IL-27, and IL-33: A Novel axis linked to immunological dysfunction during sepsis. *Frontiers in Immunology*. 10: 1982.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (1978). The promotion and development of traditional medicine, Ed. WHO, Technical reports series, Ginebra. [En línea]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40995>. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2019.

- Possemiers, S., Bolca, S., Verstraete, W., and Heyerick, A. (2011). The intestinal microbiome: a separate organ inside the body with the metabolic potential to influence the bioactivity of botanicals. *Fitoterapia*. 82(1): 53-66.
- Ramírez, R., Vargas, P. O., Arreola, H., Cedano, M., González-Villarreal, L. M., Harker, M., ... y Pérez-de-la-Rosa, J. (2010). *Catálogo de plantas vasculares de Jalisco*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 143 Pp.
- Rocha-Guzmán, N. E., Simental-Mendía, L. E., Barragán-Zúñiga, L. J., Ramírez-España, J. C., Gallegos-Infante, J. A., Luján-Mendoza, C. I., and Gamboa-Gómez, C. I. (2018). Effect of *Buddleja scordioides* K. leaves infusion on lipid peroxidation in mice with ultraviolet light-induced oxidative stress. *Medicinal Chemistry Research*. 27(10): 2379-2385.
- Rothwell, J. A., Urpi-Sarda, M., Boto-Ordoñez, M., Llorach, R., Farran-Codina, A., and Scalbert, A. (2016). Systemic analysis of the polyphenol metabolome using the phenol-explorer database. *Molecular nutrition & food research*. 60(1): 203-211.
- Sousa, T., Paterson, R., Moore, V., Carlsson, A., Abrahamsson, B., and Basit, A. W. (2008). The gastrointestinal microbiota as a site for the biotransformation of drugs. *International Journal of Pharmaceutics*. 363(1-2): 1-25.
- Strieter, R. M., Kunkel, S. L., Showell, H. J., Remick, D. G., Phan, S. H., Ward, V. A., and Marks, R. M. (1989). Endothelial cell gene expression of a neutrophil chemotactic factor by TNF alpha, LPS, and IL-1 beta. *Science*. 243(4897): 1467-1469.
- Suwalsky, M., Duguet, J., and Speisky, H. (2017). An *in vitro* study of the antioxidant and antihemolytic properties of *Buddleja globosa* (Matico). *The Journal of Membrane Biology* 250(3): 239-248.
- Tavsan, Z. and Kayali, H. A. (2019). Flavonoids showed anticancer effects on the ovarian cancer cells: Involvement of reactive oxygen species, apoptosis, cell cycle and invasion. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 116: 109004.
- Tomás-Barberán, F. A., Selma, M. V., and Espín, J. C. (2016). Interactions of gut microbiota with dietary polyphenols and consequences to human health. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 19(6): 471-476.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87: 559-902.
- Wang, C., Petriello, M. C., Zhu, B., and Hennig, B. (2019). PCB 126 induces monocyte/macrophage polarization and inflammation through AhR and NF-κB pathways. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 367: 71-81.
- Williamson, G. and Clifford, M. N. (2017). Role of the small intestine, colon and microbiota in determining the metabolic fate of polyphenols. *Biochemical Pharmacological*. 139: 24-39.
- Wood-dos-Santos, T., Cristina, P. Q., Teixeira, L., Gambero, A., Villena, J., and Lima-Ribeiro, M. (2018). Effects of polyphenols on thermogenesis and mitochondrial biogenesis. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(9): 2757.
- Xie, Y., Xu, D., Cui, W., and Shen, W. (2012). Mutation of Arabidopsis HY1 causes UV-Chypersensitivity by impairing carotenoid and flavonoid biosynthesis and the down-regulation of antioxidant defence. *Journal of Experimental Botany*. 63(10): 3869-3883.
- Yamamoto, A., Nitta, S., Miyase, T., Ueno, A., and Wu, L. J. (1993). Phenylethanoid and lignan-iridoid complex glycosides from roots of *Buddleja davidii*. *Phytochemistry*. 32(2): 421-425.
- Yasumoto, K., Okamoto, S., Mukaida, N., Murakami, S., Mai, M., and Matsushima, K. (1992). Tumor necrosis factor alpha and interferon gamma synergistically induce interleukin 8 production in a human gastric cancer cell line through acting concurrently on AP-1 and NF-κB-like binding sites of the interleukin 8 gene. *Journal of Biological Chemistry*. 267(31): 22506-22511.
- Yue, H., Brown, M., Knowles, J., Wang, H., Broomhead, D. S., and Kell, D. B. (2006). Insights into the behavior of systems biology models from dynamic sensitivity and identifiability analysis: a case study of an NF-κB signaling pathway. *Molecular BioSystems*. 2(12): 640-649.
- Yuen, K. H. (2010). The transit of dosage forms through the small intestine. *International Journal of Pharmaceutics*. 395(1-2): 9-16.
- Zamudio-Ruiz, S. (2012). *La diversidad vegetal. En CONABIO (Ed). La biodiversidad en Guanajuato*. Estudio de estado. Vol. II. México: Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO)/Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE). 97-108 Pp.
- Zhang, Q., Cao, Y. F., Ran, R. X., Li, R. S., Wu, X., Dong, P. P., ..., and Wang, W. M. (2016). Strong specific inhibition of UDP-glucuronosyltransferase 2B7 by atracylenolide I and III. *Phytotherapy Research*. 30(1): 25-30.
- Zhang, X., Wang, G., Gurley, E. C., and Zhou, H. (2014). Flavonoid apigenin inhibits lipopolysaccharide-induced inflammatory response through multiple mechanisms in Macrophages. *PLoS ONE*. 9(9): e107072.



Elaborada por: Carlos González Gándara

La comunidad de peces del arrecife Palo Seco, Veracruz, golfo de México y su relación con los grupos morfofuncionales

The fish community of Palo Seco Reef, Veracruz, gulf of Mexico and its relationship with the morpho functional groups

Carlos González-Gándara

RESUMEN

Los bancos arrecifales sumergidos funcionan como áreas de reserva de germoplasma, debido a su riqueza y abundancia de especies, lo que favorece el desarrollo de biomasa en arrecifes emergentes vecinos. El objetivo de la presente investigación fue establecer la comunidad de peces del arrecife Palo Seco, Veracruz, México, y su relación con los grupos morfofuncionales que caracterizan al sustrato. Se efectuaron 117 censos visuales con equipo de buceo SCUBA (63 censos aleatorios y 54 transectos en banda) durante los veranos de 2013 y 2016, para determinar la estructura de la comunidad de peces (composición, riqueza, abundancia, biomasa y gremios tróficos) y caracterizar el sustrato, usando los grupos morfofuncionales (GMF) a partir de fototransectos. Las relaciones entre los peces y el sustrato se determinaron mediante un análisis de correspondencia canónica (ACC). La ictiofauna de Palo Seco estuvo compuesta por 109 especies, incluyendo 2 invasoras (*Pterois volitans* y *Neopomacentrus cyanomos*), y 3 endémicas de Veracruz (*Elacatinus jarocho*, *Hypoplectrus atlahua* e *Hypoplectrus castroaguirrei*). *Halichoeres burekai*, *Coryphopterus hyalinus* y los juveniles de *Haemulon aurolineatum* fueron las especies más abundantes, mientras que, *Sphyrna barracuda*, *Anisotremus virginicus* y *Megalops atlanticus* dominaron en biomasa. El gremio de los zooplanctívoros fue el más abundante (83.35 %) contrastando con la proporción de herbívoros (1.24 %). Los piscívoros presentaron la mayor biomasa (28.89 %), seguidos de los carnívoros generalistas (28.22 %). El sustrato del arrecife se caracterizó por nueve grupos morfofuncionales. En el ACC se observó un gradiente de los GMF y de la profundidad que se relacionaron con algunas especies de peces y con algunos gremios tróficos. La comunidad ictiológica del arrecife Palo Seco en general, se parece a las comunidades de peces de otros arrecifes veracruzanos, pero su riqueza y abundancia responde a las condiciones locales. El parecido sugiere una posible conectividad regional y resalta su importancia para la conservación.

PALABRAS CLAVE: bancos sumergidos, ictiofauna, suroeste del golfo de México.

ABSTRACT

The submerged reef banks may play the part of germoplasm reserve, due to their richness and species abundance that contribute to the biomass development in adjacent emergent reefs. The goal of this research was to establish the fish community of Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico, and its relationship with morpho functional groups of the substrate. One hundred and seventeen visual censuses (63 random and 54 belt-transects) using SCUBA dive equipment were carried out during the Summers of 2013 and 2016 in order to determine the fish community structure (components, richness, abundance, biomass and trophic guilds) and characterize the substrate based on the morpho functional groups (MFG). The relationships between the fish and the substrate were determined by a canonical correspondence analysis (CCA). The ichthyofauna was represented by 109 species, including 2 invasive species (*Pterois volitans* and *Neopomacentrus cyanomos*), and 3 endemic species of Veracruz (*Elacatinus jarocho*, *Hypoplectrus atlahua* and *Hypoplectrus castroaguirrei*). *Halichoeres burekai*, *Coryphopterus hyalinus* and juvenile of *Haemulon aurolineatum* were the most abundant species, whereas *Sphyrna barracuda*, *Anisotremus virginicus* and *Megalops atlanticus* dominated in biomass. The zooplanktivore guild was the most abundant (83.35 %), in contrast with the herbivorous (1.24 %). The piscivorous fish were the most abundant in biomass (28.89 %), followed by the generalized carnivorous fish (28.22 %). Nine MFG characterized the substrate of Palo Seco Reef. The CCA showed a gradient of MFG and depth which were related to some fish species and to some trophic guilds. The ichthyological community of Palo Seco Reef is similar to the fish communities of other reefs in Veracruz, but its richness and abundance respond to the local environment. The similarity suggests a possible regional connectivity and underlines its importance for conservation.

KEYWORDS: submerged banks, ichthyofauna, southwest gulf of Mexico.

*Correspondencia: cggandara@hotmail.com/ Fecha de recepción: 22 de agosto de 2019/ Fecha de aceptación: 17 de enero de 2020/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Laboratorio de Arrecifes Corales, carretera Tuxpan-Tampico km 7.5 col. Universitaria, Tuxpan, Veracruz, México, C. P. 92860.

INTRODUCCIÓN

Los bancos sumergidos se desarrollan desde el fondo del mar, pero no alcanzan a llegar a la superficie, probablemente porque no mantuvieron su ritmo de crecimiento para compensar la tasa de ascenso del nivel del mar durante la trasgresión holocénica o bien porque no llegaron a ese nivel, cuando la tasa de ascenso se redujo (Neumann y Macintyre, 1985; Abbey y Webster, 2011). Recientemente se ha reconocido su importancia ecológica porque son un hábitat disponible para los organismos marinos y pueden contribuir de manera significativa a la producción de larvas (Thomas y col., 2015). Además conectan las comunidades arrecifales y sirven como áreas de reserva de germoplasma (Ortiz-Lozano y col., 2013; Thomas y col., 2015; Salas-Monreal y col., 2018).

En las costas de Veracruz se tienen documentados más de 30 bancos sumergidos (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008; Ortiz-Lozano y col., 2013; Cortés-Useche y col., 2015; González-Gándara, 2015; Ortiz-Lozano y col., 2018). Uno de ellos es el arrecife Palo Seco, ubicado en el sur del estado, muy cerca de la desembocadura del río Coatzacoalcos, lo cual le confiere una alta turbidez debido a las descargas fluviales (Salas-Pérez y col., 2015), que reducen la calidad del agua tanto para la comunidad de corales escleractinios (Loya, 1976) como para la de peces (Wenger y col., 2015a). Esto es, porque los corales se desarrollan mejor en aguas transparentes, oligotróficas (Zlatarsky y Martínez-Estalella, 2018), y se vinculan estrechamente con la comunidad de peces (Ricart y col., 2016).

La estructura de las comunidades de peces se ha relacionado con la profundidad (Hernández-Landa y col., 2014), la cobertura coralina (Jones y Sims, 1998), la complejidad del ambiente (Aguilar-Medrano y Arias-González, 2018) y la turbidez (Wenger y col., 2015a; 2015b), entre otros. Los ensambles de peces asociados a los arrecifes de coral veracruzanos, en general, se conocen bien, tanto en

el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (Del-Moral-Flores y col., 2013 y Robertson y col., 2019) como en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) (González-Gándara y col., 2012; 2013). Sin embargo, se sabe muy poco de la ictiofauna ligada a los bancos sumergidos de Veracruz, ya que únicamente existen 3 trabajos publicados, que aportan información sobre los componentes ictiológicos de los arrecifes: Blake, Pantepec y Oro Verde, ubicados en el norte del estado (Cortés-Useche y col., 2015; González-Gándara, 2015), y el registro de *Neopomacentrus cyanomos* procedente del Indo Pacífico, en Palo Seco, Veracruz (González-Gándara y De-la-Cruz-Francisco, 2014).

El conocimiento de la estructura de las comunidades de peces ligadas a los arrecifes veracruzanos, es necesario para documentar la conectividad ecológica planteada por Ortiz-Lozano y col. (2013), que es soportada parcialmente por los patrones de corrientes del suroeste del golfo de México (Salas-Monreal y col., 2018). Por otra parte, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) propuso el Área de Protección de Flora y Fauna Arrecifes de los Tuxtlas, en el sur de Veracruz (CONANP, 2018), pero no incluyó al arrecife Palo Seco.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la estructura de la comunidad de peces en el arrecife Palo Seco, Veracruz, y su relación con los grupos morfofuncionales que caracterizan el sustrato, para enfatizar su importancia ecológica y documentar su incorporación a la propuesta de áreas naturales protegidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Palo Seco se ubica a los 18°10'30" N y 94°31'30" W, a 1 920 m de la costa de Coatzacoalcos, Veracruz, y cubre un área aproximada de 0.12 km² (Figura 1). Presenta una profundidad que oscila de 11.6 m a 22 m, su estructura arrecifal contiene varios parches con baja cobertura coralina representada por *Pseudodiploria* sp, *Montastraea* sp, *Siderastrea* sp, *Agaricia* sp y *Oculina* sp. Las

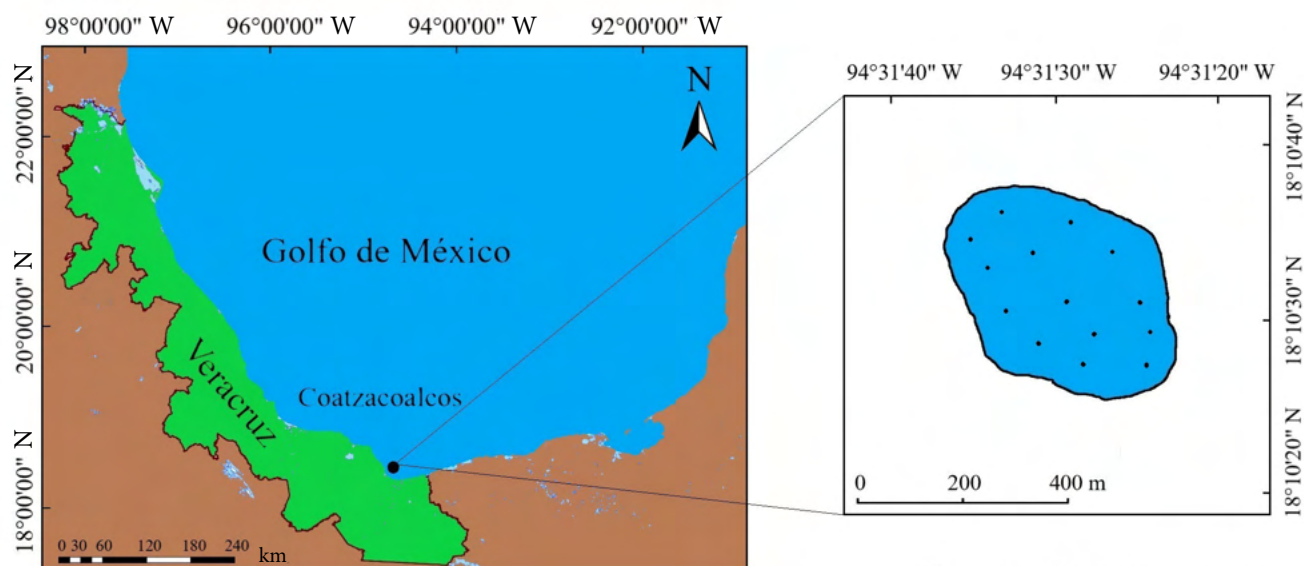


Figura elaborada por Blanca Raya.

■ **Figura 1.** Localización geográfica del arrecife Palo Seco, Veracruz, México. Los puntos corresponden a los sitios de muestreo.

Figure 1. Geographic location of Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico. The points correspond to sampling sites.

pendientes rocosas contienen numerosas colonias de esponjas e hidroides (González-Gándara y col., 2015). Esta formación es bañada por el río Coatzacoalcos cuyo gasto en época de lluvias es de 661.44 m³/s, y su temperatura promedio es de 25.39 °C (Salas-Pérez y col., 2015).

Se llevaron a cabo 117 censos visuales en total, 63 usando la técnica de buzo errante con una duración de 30 min efectuados en junio y agosto de 2013, para las evaluaciones cualitativas, y 54 transectos en banda (25 m x 2 m), distribuidos sistemáticamente en 14 sitios en el arrecife (Figura 1), para los muestreos cuantitativos efectuados en junio de 2016. Los puntos de muestreo se seleccionaron de forma tal, que estuviesen distribuidos en toda el área del arrecife y permitieran un muestreo entre 11.6 m y 22.0 m de profundidad. Ambos muestreos se hicieron con equipo de buceo autónomo SCUBA. La identificación de los peces fue realizada *in situ* a partir de los rasgos morfológicos y los patrones de coloración que distinguen a los

peces arrecifales. Cuando esto no fue posible, se llevaron a cabo recolectas; los peces mayores a 10 cm de longitud total se capturaron con hawaianas, y los peces menores a 10 cm de longitud total fueron rociados con una solución de aceite de clavo (10 % aceite de clavo y 70 % etanol) para adormecerlos, y luego se atraparon con redes de mano. Los organismos se transportaron al laboratorio para su identificación, utilizando las obras de Böhlke y Chaplin (1993) y McEachran y Fechhelm (1998; 2005). La nomenclatura fue revisada usando el catálogo de peces (Fricke y col., 2018). La lista fue ordenada de acuerdo con Nelson y col. (2016), para las categorías supragenéricas; los géneros y especies se ordenaron alfabéticamente. La suficiencia del muestreo fue determinada utilizando los estimadores no paramétricos: Chao 2, Jack 1, Jack 2 y Bootstrap, con el programa EstimateS versión 9.0 (Colwell, 2013), considerando el número total de censos (117).

La estimación de la abundancia ictiológica se realizó sobre los 54 transectos en banda

(25 m x 2 m), utilizando la escala propuesta por Harmelin-Vivien y col. (1985): 1, 2, 3 a 5; 6 a 10; 11 a 30, 31 a 50, 51 a 100, 101 a 200, 201 a 500 y > 500. Las tallas fueron estimadas considerando intervalos de 10 cm (1 cm a 10 cm; 11 cm a 20 cm; 21 cm a 30 cm, 31 cm a 40 cm, 41 cm a 50 cm; 51 cm a 60 cm, 61 cm a 70 cm, 71 cm a 80 cm, entre otros), posteriormente, se calculó la talla media. Para validar las estimaciones de talla efectuadas por el buzo, se realizó una prueba t-pareada, siguiendo la propuesta de English y col. (1997), usando el programa PAST versión 3.25 (Hammer y col., 2001). A partir de los datos de abundancia y de talla promedio de cada especie, se evaluó la biomasa mediante la función exponencial $P = a L^b$, donde, P = peso total (g) L = longitud total (cm); a y b = constantes de la relación peso-longitud. Los valores de estas constantes se obtuvieron a partir de la base de datos electrónica *Fishbase* (Froese y Pauly, 2019) y la publicación de: Claro y García-Arteaga (1994). Las especies de peces, registradas durante la evaluación cuantitativa se agruparon con base en su nivel trófico, siguiendo la propuesta de Randall (1967), que considera los siguientes grupos: carnívoros generalistas, consumidores de invertebrados con concha, consumidores de invertebrados sésiles, ectoparasitívoros, herbívoros, omnívoros, piscívoros y zooplanctívoros, para valorar su aporte a la abundancia total.

Los componentes bentónicos fueron determinados usando los siguientes grupos morfofuncionales: algas césped, algas costrosas, cianobacterias, corales, esponjas, macroalgas, arena, materia orgánica y roca, definidos a partir de 1 470 fotografías tomadas sobre los transectos de 25 m x 2 m con una cámara Canon, Power Shot G16 de 16 megapíxeles (Tokio, Japón). Las imágenes fueron analizadas con el programa Coral Point Count (Kohler y Gill, 2006), usando 25 puntos al azar por imagen. Para el análisis de correspondencia canónica (ACC), se utilizó la matriz de cobertura de los grupos morfofuncionales y la profundidad, previa transformación

a Box Cox, contra la matriz de las especies de peces más abundantes (transformadas a raíz cuarta) y la matriz de los gremios tróficos de peces, utilizando el programa PAST versión 3.25 (Hammer y col., 2001).

RESULTADOS

La fauna ictiológica del arrecife Palo Seco estuvo constituida por 109 especies pertenecientes a 67 géneros y 36 familias. Pomacentridae, Scaridae y Lutjanidae fueron las familias con mayor riqueza, con 9 especies cada una (Tabla 1). Además, se registró la presencia de 2 especies invasoras: *Pterois volitans* y *N. cyanomos*, así como 3 especies endémicas de Veracruz (*Elacatinus jarocho*, *Hypoplectrus atlahua* e *Hypoplectrus castroaguirrei*) y 1 del golfo de México (*Halichoeres burekai*). Los estimadores no paramétricos explicaron en promedio, el 83.2 % de la riqueza, y potencialmente se pueden registrar hasta 131 especies (Tabla 2).

Se contabilizaron un total de 26 192 individuos, por lo que, la abundancia promedio de peces por censo fue de 485 ± 148 ind, y entre las especies más abundantes destacan aquellas de talla menor a 10 cm, como: *H. burekai*, *Coryphopterus hyalinus* y los juveniles de *Haemulon aurolineatum* que representaron más del 70 % del total (Tabla 3). La prueba t para la estimación de tallas, no mostró diferencias significativas ($t = 0.21$, $P = 0.832$). Se estimó una biomasa total de 10 194.05 g durante la investigación, por tanto, el promedio de la biomasa ictiológica fue de 188.77 ± 169.22 g/m² por censo. Las especies con mayor biomasa fueron: *Sphyrna barracuda*, *Anisotremus virginicus* y *Megalops atlanticus*, representando un poco más del 30 % (Tabla 4).

Los peces que se alimentan de zooplancton (e. g. *H. burekai*, *C. hyalinus* y juveniles de *H. aurolineatum*) constituyeron el gremio dominante en el arrecife Palo Seco, representando el 83.35 % del total de la abundancia, seguido de los omnívoros (10.84 %) y carnívoros generalistas (1.58 %). Al considerar la

■ Tabla 1. Lista sistemática de los peces del arrecife Palo Seco, Veracruz, México. Las especies consideradas en los muestreos cuantitativos fueron señaladas con la letra c.
Table 1. Checklist of the fish at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico. The species considered on quantitative sampling were marked with c letter.

FAMILIA	ESPECIE
Urotrygonidae	<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier, 1816) c
Aetobatidae	<i>Aetobatus narinari</i> (Euphrasen, 1790)
Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i> (Valenciennes, 1847) c
Muraenidae	<i>Gymnothorax miliaris</i> (Kaup, 1856) <i>Gymnothorax moringa</i> (Cuvier, 1829) c
Synodontidae	<i>Synodus intermedius</i> (Spix y Agassiz, 1829) c
Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i> (Osbeck, 1765) <i>Myripristis jacobus</i> (Cuvier, 1829) c
Gobiidae	<i>Coryphopterus glaucofraenum</i> (Gill, 1863) <i>Coryphopterus hyalinus</i> (Böhlke y Robins, 1962) c <i>Elacatinus jarocho</i> (Taylor y Akins, 2007)** c <i>Elacatinus oceanops</i> (Jordan, 1904) c <i>Ptereleotris calliura</i> (Jordan y Gilbert, 1882)
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860) c <i>Chromis multilineata</i> (Guichenot, 1853) c <i>Chromis scotti</i> (Emery, 1968) c <i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830) c <i>Neopomacentrus cyanomos</i> (Bleeker, 1856)* c <i>Stegastes adustus</i> (Troschel, 1865) c <i>Stegastes partitus</i> (Poey, 1868) c <i>Stegastes xanthurus</i> (Poey, 1860) c
Blenniidae	<i>Ophioblennius macclurei</i> (Silvester, 1915) c <i>Parablennius marmoreus</i> (Poey, 1876) <i>Scartella cristata</i> (Linnaeus, 1758)
Labrisomidae	<i>Labrisomus nuchipinnis</i> (Quoy y Gaimard, 1824) <i>Malacoctenus triangulatus</i> (Springer, 1959) c
Carangidae	<i>Caranx bartholomaei</i> (Cuvier, 1833) <i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815) c <i>Caranx hippos</i> (Linnaeus, 1766) <i>Caranx latus</i> (Agassiz, 1831) c <i>Caranx ruber</i> (Bloch, 1793) <i>Decapterus macarellus</i> (Cuvier, 1833) c
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i> (Walbaum, 1792) c <i>Sphyraena guachancho</i> (Cuvier, 1829) c

Continúa...

Aulostomidae	<i>Aulostomus maculatus</i> (Valenciennes, 1837)
Scombridae	<i>Auxis thazard thazard</i> (Lacepède, 1800) <i>Scomberomorus cavalla</i> (Cuvier, 1829) <i>Scomberomorus maculatus</i> (Mitchill, 1815)
Labridae	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Clepticus parrae</i> (Bloch y Schneider, 1801) c <i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791) c <i>Halichoeres burekai</i> (Weaver y Rocha, 2007)*** c <i>Halichoeres maculipinna</i> (Müller y Troschel, 1848) c <i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791) c
Scaridae	<i>Nicholsina usta</i> (Valenciennes, 1840) c <i>Scarus iseri</i> (Bloch, 1789) c <i>Scarus taeniopterus</i> (Lesson, 1829) c <i>Scarus vetula</i> (Bloch y Schneider, 1801) <i>Sparisoma aurofrenatum</i> (Valenciennes, 1840) c <i>Sparisoma chrysotermum</i> (Bloch y Schneider, 1801) <i>Sparisoma radians</i> (Valenciennes, 1840) <i>Sparisoma rubripinne</i> (Valenciennes, 1840) <i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)
Gerreidae	<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792) c
Mullidae	<i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793) c
Pempheridae	<i>Pempheris schomburgkii</i> (Müller y Troschel, 1848) c
Kyphosidae	<i>Kyphosus incisor</i> (Cuvier, 1831) c
Ephinephelidae	<i>Cephalopholis cruentata</i> (Lacepède, 1802) c <i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765) c <i>Mycteroperca bonaci</i> (Poey, 1860) c
Serranidae	<i>Hypoplectrus atlahua</i> Tavera y Acero, 2013** c <i>Hypoplectrus castroaguirrei</i> (Del-Moral-Flores, Tello-Musi y Martínez-Pérez, 2011)** c <i>Hypoplectrus floridiae</i> (Victor, 2013) c <i>Hypoplectrus puella</i> (Cuvier, 1828) c <i>Rypticus subbifrenatus</i> (Gill, 1861) <i>Serranus subligarius</i> (Cope, 1870) c
Priacanthidae	<i>Priacanthus arenatus</i> (Cuvier, 1829) c
Chaetodontidae	<i>Chaetodon capistratus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Chaetodon ocellatus</i> (Bloch, 1787) c <i>Chaetodon sedentarius</i> (Poey, 1860) c <i>Prognathodes aculeatus</i> (Poey, 1860)

Continúa...

Pomacanthidae	<i>Holacanthus bermudensis</i> (Goode, 1876) <i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795) <i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787) c
Haemulidae	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Anisotremus surinamensis</i> (Bloch, 1791) c <i>Haemulon aurolineatum</i> (Cuvier, 1830) c <i>Haemulon carbonarium</i> (Poey, 1860) c <i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823) c <i>Haemulon macrostomum</i> (Günther, 1859) c <i>Haemulon plumieri</i> (Lacepède, 1801) c <i>Haemulon vittatum</i> (Poey, 1860)
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828) <i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum, 1792) <i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828) c <i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Lutjanus jocu</i> (Bloch y Schneider, 1801) c <i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828) c <i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758) <i>Ocyurus chrysurus</i> (Bloch, 1791) c <i>Rhomboplites aurorubens</i> (Cuvier, 1929) c
Scorpaenidae	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)* <i>Scorpaena plumieri</i> (Bloch, 1789) c
Ephippidae	<i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet, 1782) c
Scianidae	<i>Equetus lanceolatus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Odontoscion dentex</i> (Cuvier, 1830) c <i>Pareques acuminatus</i> (Bloch y Schneider, 1801) <i>Pareques umbrosus</i> (Jordan y Eigenmann, 1889)
Acanthuridae	<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787) c
Sparidae	<i>Archosargus probatocephalus</i> (Walbaum, 1792) c
Balistidae	<i>Balistes capriscus</i> (Gmelin, 1789)
Monacanthidae	<i>Aluterus scriptus</i> (Osbeck, 1765) c <i>Cantherhines pullus</i> (Ranzani, 1842) c
Tetraodontidae	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786) c <i>Sphoeroides spengleri</i> (Bloch, 1785) c
Diodontidae	<i>Diodon hystrix</i> (Linnaeus, 1758) c <i>Diodon holocanthus</i> (Linnaeus, 1758) c

*Especies invasoras; **especies endémicas de Veracruz; ***especie endémica del golfo de México.

- Tabla 2. Número de especies de peces estimados y proporción explicada por los modelos con relación a la riqueza observada en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

Table 2. Estimated number of fish species and percentage explained by models in relation to richness observed at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico

Estimadores	Riqueza	(%)
Chao 2	132	81.8
Jack 1	130	83.1
Jack 2	143	75.5
Bootstrap	117	92.3
Promedio	131	83.2

- Tabla 3. Diez especies de peces más abundantes en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México en función de su abundancia relativa.

Table 3. The ten most abundant fish species at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico according to the ir relative abundance.

Especie	Abundancia (%)
<i>Halichoeres burekae</i>	34.67
<i>Coryphopterus hyalinus</i>	22.76
<i>Haemulon aurolineatum</i> (juveniles)	14.01
<i>Stegastes xanthurus</i>	5.22
<i>Stegastes adustus</i>	4.54
<i>Neopomacentrus cyanomos</i>	3.38
<i>Chromis scotti</i>	2.84
<i>Chromis multilineata</i>	1.80
<i>Odontoscion dentex</i>	1.58
<i>Canthigaster rostrata</i>	1.06
Otras especies	8.14
Total	100

- Tabla 4. Diez especies de peces más importantes en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México en función de su biomasa relativa.

Table 4. The ten most important fish species at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico according to their relative biomass.

Especie	Biomasa (%)
<i>Sphyrna barracuda</i>	12.90
<i>Anisotremus virginicus</i>	9.79
<i>Megalops atlanticus</i>	8.49
<i>Halichoeres burekae</i>	5.00
<i>Archosargus probatocephalus</i>	4.56
<i>Pomacanthus paru</i>	4.42
<i>Coryphopterus hyalinus</i>	3.89
<i>Caranx chrysos</i>	3.60
<i>Odontoscion dentex</i>	3.08
<i>Epinephelus adscensionis</i>	2.97

biomasa, los zooplanctívoros aportaron el 18.79 %, y los piscívoros (*e. g. M. atlanticus*) junto con los carnívoros generalistas (*e. g. Lutjanus jocu*) aportaron el 57.11 % al total, debido a que sus tallas, en general, fueron mayores a 20 cm. La proporción de herbívoros en el arrecife Palo Seco fue notablemente reducida tanto en abundancia total (1.24 %) como en biomasa total (1.75 %) (Tabla 5), especialmente por la escasa abundancia de herbívoros errantes (escáridos, acantúridos y kifósidos), que representaron el 0.18 % de la abundancia total de herbívoros y el 1.21 % de la biomasa total de este gremio (Tabla 6).

Entre los GMF que caracterizan al sustrato del arrecife Palo Seco destacaron: algas césped, esponjas, roca, corales y cianobacterias (Tabla 7). En el análisis de ACC, el eje 1 mostró una relación con la proporción de esponjas y de arena. En cambio, en el eje 2 se detectó un gradiente de la profundidad y las algas césped, que se relacionan negativamente con la cobertura coralina, de algas costrosas y roca (Figura 2b). Los eigenvalores fueron relativamente bajos (Tabla 8), pero se puede detectar una tendencia en la distribución de las especies de peces en función de la profundidad y la cobertura coralina principalmente. De esta forma, en las áreas someras con mayor cobertura coralina, fueron más frecuentes: *Microspathodon chrysurus*, *Abudefduf saxatilis*, *Elacatinus jarocho*, *Hypoplectrus puella* y *Ophioblennius macchirei*, entre otros, mientras que en las zonas profundas con mayor cobertura de algas césped, fueron comunes: *Serranus subligarius*, *Chaetodon ocellatus* y *Pomacanthus paru* (Figura 2a, 2b). Los primeros dos ejes del ACC del GMF y abundancia de peces explicaron el 51.86 % de la variación (Tabla 8).

La relación de los GMF con los gremios tróficos de peces de acuerdo al ACC, no muestra tendencias claras, sin embargo, se observó que los herbívoros se ligan a la presencia de roca y cianobacterias, y los consumidores de invertebrados (con concha y sésiles), se asociaron a las áreas de arena y de

mayor cobertura de macroalgas, algas costrosas y algas césped, las cuales visitan para buscar alimento (Figura 3). Los primeros dos ejes del ACC del GMF y gremios tróficos explicaron el 71.37 % de la variación (Tabla 8).

DISCUSIÓN

La riqueza y abundancia ictiológica en formaciones arrecifales se ha relacionado positivamente con la cobertura coralina (Jones y Sims, 1998; Wilson y col., 2006; Hernández-Landa y col., 2014; Ricart y col., 2016) y la complejidad de las colonias de coral (Álvarez-Filip y col., 2011), entre otros. Sin embargo, en este estudio, los valores de la cobertura de corales (6.48 %), así como la complejidad en el arrecife Palo Seco (0.29) fueron bajos, y por tanto no coincide con la generalización señalada. La riqueza ictiológica observada en Palo Seco es ligeramente menor a la registrada en otros bancos sumergidos de Veracruz, como el Blake (126 especies) (Cortes-Useche y col., 2015; González-Gándara, 2015), y mayor a la observada en los arrecifes: Pantepec y Oro Verde (42 especies) (Cortés-Useche y col. 2015). Las diferencias con los 2 últimos, probablemente se relacionen con el esfuerzo de muestreo. Las estimaciones de la riqueza ictiológica potencial efectuadas con los modelos no paramétricos son adecuadas, dado que explican más del 80 % (Tabla 2), 24 especies correspondieron a observaciones únicas y 11 fueron avistadas en 2 ocasiones. Entre los componentes ictiológicos del arrecife Palo Seco destacan, 3 especies endémicas de Veracruz (*E. jarocho*, *H. atlahua* e *H. castroaguirrei*) y una del golfo de México (*H. burekae*), así como *N. cyanomos* (González-Gándara y De-la-Cruz-Francisco, 2014) y *P. volitans*, originarias del Indo Pacífico.

Las especies de peces más abundantes en Palo Seco coinciden con aquellas registradas por González-Gándara y González-Sansón (1997), para el arrecife Tuxpan, y Pérez-España y col. (2015) para el SAV. Entre las 10 especies más abundantes en Palo Seco, destaca *N. cyanomos*,

■ Tabla 5. Abundancia y biomasa relativa de los gremios tróficos de peces en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México. En negritas se ubican los grupos con mayor abundancia y biomasa. Table 5. Relative abundance and biomass of the fish trophic guilds at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico. The groups with the greatest abundance and biomass are marked in bold.

Grupo trófico	Especies consideradas en cada grupo	Abundancia total	Abundancia %	Biomasa total (g)	Biomasa %
Carnívoros generalistas	<i>A. virginicus</i> , <i>C. cruentata</i> , <i>E. adscensionis</i> , <i>H. aurolineatum</i> , <i>H. flavolineatum</i> , <i>H. maculipinna</i> , <i>H. atlahua</i> , <i>H. castroaguirrei</i> , <i>H. floridae</i> , <i>H. puella</i> , <i>L. griseus</i> , <i>L. jocu</i> , <i>L. mahogoni</i> , <i>O. chrysurus</i> , <i>P. maculatus</i> , <i>R. aurorubens</i> , <i>S. plumieri</i> , <i>S. subligarius</i> , <i>S. spengleri</i> y <i>U. jamaicensis</i> .	414	1.58	2 877.00	28.22
Ectoparasitívoros	<i>E. oceanops</i> , juveniles de <i>A. virginicus</i> y <i>B. rufus</i>	121	0.46	6.77	0.07
Consumidores de invertebrados con concha	<i>A. surinamensis</i> , <i>A. probatocephalus</i> , <i>B. rufus</i> , <i>D. hystrix</i> , <i>D. holocanthus</i> , <i>G. cinereus</i> , <i>H. carbonarium</i> , <i>H. macrostomum</i> , <i>H. plumierii</i> , <i>H. bivittatus</i> y <i>H. radiatus</i> .	273	1.04	1 090.39	10.70
Consumidores de invertebrados sésiles	<i>A. saxatilis</i> , <i>C. sedentarius</i> , <i>H. bermudensis</i> , <i>C. faber</i> , <i>C. ocellatus</i> y <i>P. paru</i> .	290	1.11	912.53	8.95
Omnívoros	<i>A. scriptus</i> , <i>C. pullus</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>S. adustus</i> y <i>S. xanthurus</i> .	2 839	10.84	268.53	2.63
Herbívoros	<i>A. chirurgus</i> , <i>K. incisor</i> , <i>M. triangulatus</i> , <i>M. chrysurus</i> , <i>N. usta</i> , <i>O. macclurei</i> , <i>S. iseri</i> , <i>S. taeniopterus</i> y <i>S. aurofrenatum</i> .	325	1.24	178.84	1.75
Piscívoros	<i>C. crysos</i> , <i>C. latus</i> , <i>L. cyanopterus</i> , <i>S. intermedius</i> , <i>G. moringa</i> , <i>M. atlanticus</i> , <i>M. bonaci</i> , <i>S. barracuda</i> y <i>S. guachancho</i> .	98	0.37	2 944.93	28.89
Zooplancetívoros	<i>C. cyanea</i> , <i>C. multilineata</i> , <i>C. scotti</i> , <i>C. parrae</i> , <i>C. hyalinus</i> , <i>E. jarocho</i> , <i>D. macarellus</i> , juveniles de <i>H. aurolineatum</i> , <i>H. burekae</i> , <i>M. jacobus</i> , <i>N. cyanomos</i> , <i>O. dentex</i> , <i>P. schomburgki</i> , <i>P. arenatus</i> , <i>S. partitus</i> y <i>T. bifasciatum</i> .	21 832	83.35	1 915.06	18.79
Total		26 192	100	10 194.05	100

- Tabla 6. Aporte porcentual de los herbívoros territoriales y errantes a la abundancia y la biomasa en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

Table 6. The contribution of territorial and roving herbivorous to abundance and biomass at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico.

Peces herbívoros	Abundancia	% del total	Biomasa	% del total
Territoriales	277	1.06	54.68	0.53
Errantes	48	0.18	124.16	1.21
Total	325	1.24	178.84	1.75

- Tabla 7. Cobertura porcentual de los grupos morfofuncionales (GMF) bentónicos en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

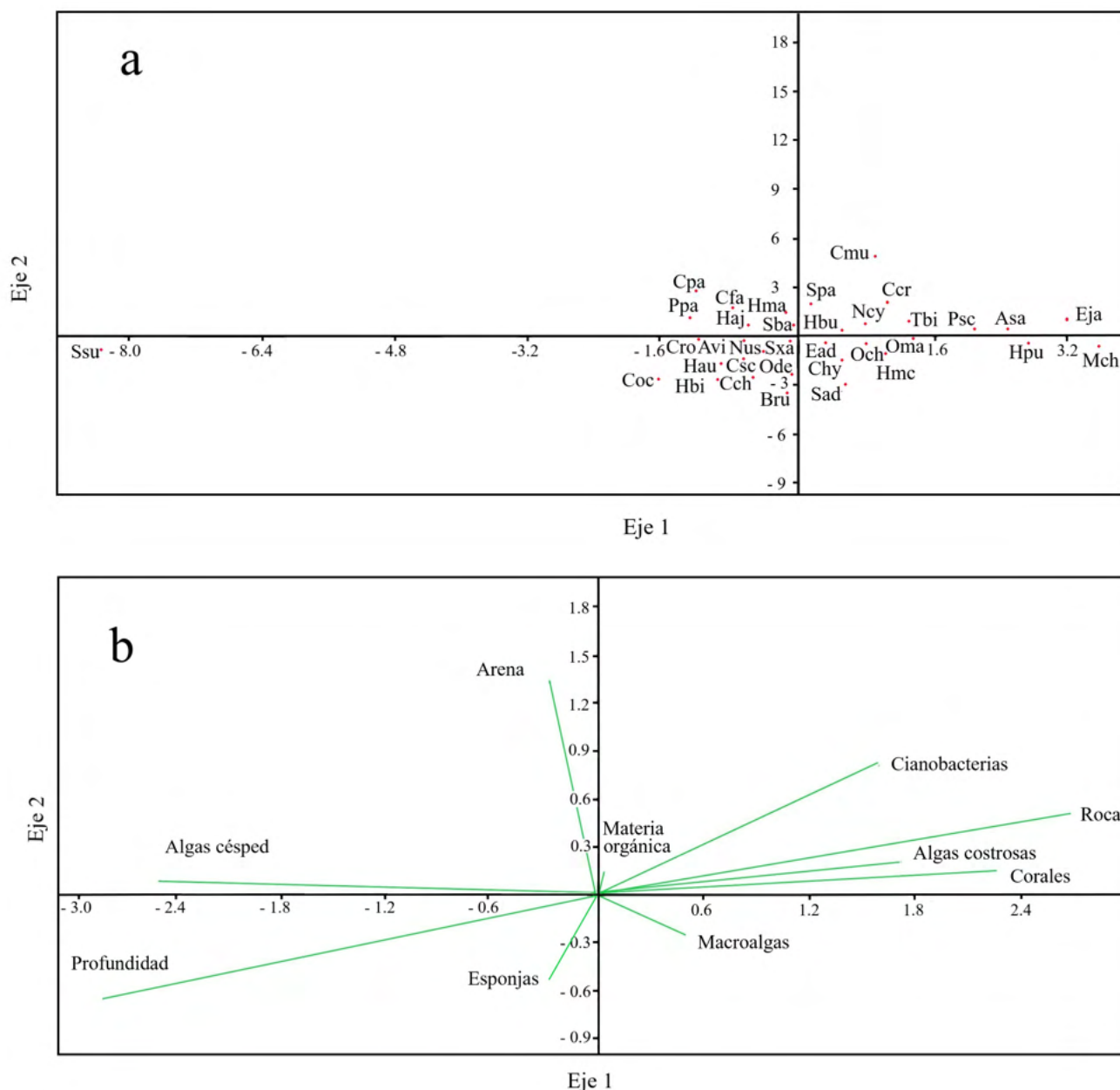
Table 7. Percentage coverage of benthic morpho functional groups (MFG) at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico.

GMF	Cobertura (%)
Esponjas	19.56
Macroalgas	1.49
Algas costrosas	2.39
Algas césped	46.35
Arena	0.03
Roca	18.10
Cianobacterias	5.52
Materia orgánica	0.08
Corales	6.48
Total	100

- Tabla 8. Eigenvalores y proporción que explican los dos primeros ejes del análisis de correspondencia canónica (ACC), al relacionar los grupos morfofuncionales con la abundancia y con los gremios tróficos de peces en el arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

Table 8. Eigenvalues and percentage explained by the two first axis of canonical correspondence analyses (CCA) that related morpho functional groups with abundance and with trophic guilds of fishes at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico.

Eje	ACC: GMF y abundancia de peces			ACC: GMF y gremios tróficos		
	Eigenvalores	P	%	Eigenvalores	P	%
1	0.135 7	0.024	30.83	0.005	0.977	48.75
2	0.052 64	0.037	21.03	0.003	0.962	22.62



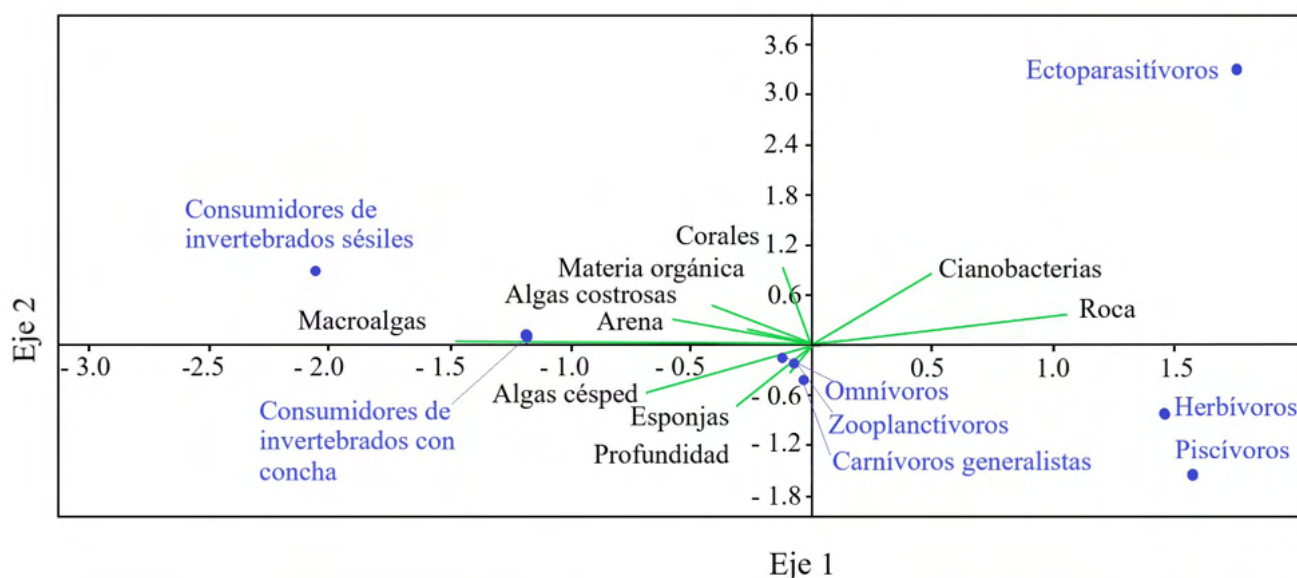
Dma= *D. macarellus*, Ppa= *P. paru*, Cpa= *C. parrae*, Cfa= *C. faber*, Hma= *H. macrostomum*, Sba= *S. barracuda*, Haj= juveniles de *Haemulon*, Cmu= *C. multilineata*, Spa= *S. partitus*, Hbu= *H. burekae*, Ncy= *N. cyanomos*, Ccr= *C. cruentata*, Tbi= *T. bifasciatum*, Psc= *P. schomburgkii*, Asa= *A. saxatilis*, Eja= *E. jarocho*, Ssu= *S. subligarius*, Coc= *C. ocellatus*, Hbi= *H. bivittatus*, Cch= *C. chrysos*, Hau= *H. aurolineatum*, Csc= *C. scotti*, Bru= *B. rufus*, Ode= *O. dentex*, Cro= *C. rostrata*, Avi= *A. virginicus*, Nus= *N. usta*, Sxa= *S. xanthurus*, Ead= *E. adscensionis*, Sad= *S. adustus*, Och= *O. chrysurus*, Chy= *C. hyalinus*, Oma= *O. macclurei*, Hmc= *H. maculipinna*, Hpu= *H. puella*, Mch= *M. chrysurus*.

■ Figura 2a. Biplot que muestra la distribución las especies ictiofaunísticas más abundantes en el arrecife Palo Seco, Veracruz.

Figure 2a. Biplot that shows the distribution of the most abundant fish species at Palo Seco Reef, Veracruz.

Figura 2b. Biplot que establece la distribución de los atributos del sustrato y la profundidad del arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

Figure 2b. Biplot that defines the distribution of the substrate properties and the depth at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico.



■ Figura 3. Triplot resultante del análisis de correspondencia canónica entre los gremios tróficos de peces y los atributos del sustrato del arrecife Palo Seco, Veracruz, México.

Figure 3. Triplot of the canonical correspondence analysis between the fish trophic guilds and the substrate properties at Palo Seco Reef, Veracruz, Mexico.

lo cual sugiere el establecimiento definitivo de esta especie en la región, hecho que puede influir en la estructura comunitaria, aunque esta aseveración requiere de estudios poblacionales detallados. Uno de los grupos de peces más abundantes corresponde a los territoriales (*e. g. Stegastes adustus* y *Stegastes xanthurus*, posiblemente por su capacidad para controlar los niveles de sedimentación en sus territorios, ya que al remover las partículas aseguran el crecimiento de las algas que prefieren (Ceccarelli y col., 2005 y Dromard y col., 2018). La ausencia de *Stegastes planifrons* en el área estudiada, parece relacionarse con la escasez de refugios, especialmente porque esta damisela se le ha asociado a colonias de los géneros *Orbicella* o *Acropora* (Tolimieri, 1998; González-Gándara y Arias-González, 2004, Dromard y col., 2018), los cuales prácticamente no existen en el sistema Palo Seco.

La talla de los peces es determinante en el aporte de las especies a la biomasa en los sistemas arrecifales. La presencia de peces de gran talla (mayor a 20 cm) en el arrecife Palo Seco particularmente de piscívoros (*e. g. S. ba-*

rracuda y *M. atlanticus*) y carnívoros generalistas (*e. g. A. virginicus*), incrementó su contribución a la biomasa. Uno de los grupos que menos aportó a la biomasa fue el de los herbívoros, lo cual es atribuido a las condiciones de turbidez que limitan la visión e influye en sus valores de abundancia (Cheal y col., 2013).

El arrecife Palo Seco se caracteriza por una notable turbidez que resulta de su cercanía a la costa (Ajemian y col., 2015), y particularmente del volumen de descarga del río Coatzacoalcos, cuyo promedio anual es de 561.9 m³/s (Salas-Pérez y col., 2015). La turbidez influye en la riqueza y abundancia de peces (Utne-Palm, 2002; Wenger y col., 2015b), especialmente de los herbívoros errantes, debido a que, la concentración de sedimentos suspendidos limita la transparencia del agua (Cheal y col., 2013). Por eso, la abundancia de acantúridos, escáridos y kifósidos en el arrecife Palo Seco, fue muy baja (0.18 %) y contrasta con las observaciones de González-Gándara y González-Sansón (1997) y Pérez-España y col. (2015), efectuadas en arrecifes del norte y centro de Veracruz, donde la turbidez es

menor y varias especies de herbívoros errantes son abundantes (*e.g. Scarus iseri*).

Por otra parte, los ambientes turbios favorecen a los peces planctívoros, porque la turbidez les permite visualizar mejor a la presa (Utne-Palm, 2002). En general, las especies de peces más abundantes (*H. burekae*, *C. hyalinus* y juveniles de *H. aurolineatum*) en Palo Seco fueron zooplanctívoras, lo cual se atribuye a la gran concentración de nutrientes procedentes del río Coatzacoalcos. Por su parte, los carnívoros generalistas (*Haemulidae*, *Lutjanidae*) que consumen bentos móvil, como: anélidos, crustáceos y pequeños peces (Randall, 1967) representaron el 1.58 % de la abundancia total. Esta baja proporción sugiere una relación con la estructura de las colonias coralinas, cuya forma aplanada en Palo Seco, reduce la disponibilidad de refugios que requieren los peces, especialmente los piscívoros residentes y los carnívoros generalistas.

El ACC no dejó evidencias claras de la relación de la comunidad de peces y los GMF en el arrecife Palo Seco, dado que los eigenvalores son bajos, y los primeros dos ejes explican únicamente el 51.86 % de la variación. Sin embargo se nota, que algunas especies territoriales, como *M. chrysurus* y *O. macchirei* se ligan a las zonas someras, donde la roca, algas costrosas, corales y cianobacterias fueron más abundantes, y otras (*e.g. S. subligarius* y *C. ocellatus*) se asociaron a las zonas profundas, con menor cobertura coralina y alta proporción de algas césped. La cobertura coralina (6.48 %) del arrecife Palo Seco, sugiere una limitada penetración de luz, debido a los sedimentos suspendidos (observación personal) y a la profundidad (Wenger y col., 2015b) pero al parecer, no es determinante en la riqueza y abundancia de peces en Palo Seco.

El ACC entre GMF y gremios tróficos provee una limitada descripción de la interrelación, y la mayor parte de las variables ambientales se ligan al eje 1, que refleja la relación de

los herbívoros con la presencia de roca y cianobacterias, a pesar de que este grupo trófico fue escaso, posiblemente debido a la disminución de la penetración de luz, característica de los sistemas con alta turbidez (Cheal y col., 2013; Fabricius y col., 2014). Por su parte, los peces que se alimentan de invertebrados con concha y de invertebrados sésiles, se ubicaron en las zonas de arena donde hurgan en el sedimento o bien en las zonas de mayor proporción de vegetación (macroalgas, algas césped), donde se localizan anélidos, moluscos y crustáceos, que utilizan como alimento (Randall, 1967). Los peces piscívoros no muestran relación clara con el ambiente, porque la mayor parte de ellos son transeúntes de la columna de agua (*M. atlanticus* y *S. barracuda*), y sugiere una mayor adaptación de estos a las condiciones de turbidez para detectar a sus presas (Huber y Rylander, 1992).

CONCLUSIONES

El parecido general de los ensamblajes ictiológicos del arrecife Palo Seco con otros sistemas arrecifales veracruzanos sugiere la existencia de una conectividad temporal. Las diferencias puntuales resaltan de las condiciones ambientales locales definidas por la profundidad y los grupos morfofuncionales del sustrato. La riqueza y abundancia de los ensamblajes de peces en los bancos sumergidos, representan una oportunidad para generar áreas de reserva ecológica, por lo que, el arrecife Palo Seco debe ser incluido en la propuesta de Área de Protección de Flora y Fauna Arrecifes de Los Tuxtlas, especialmente porque representa una buena parte de la riqueza biológica característica de los arrecifes veracruzanos e incluye especies endémicas.

AGRADECIMIENTO

Se agradece el apoyo de la Secretaría de Educación Pública a través del proyecto “Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros de Veracruz”, realizado en el marco de la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, golfo de México.

Los muestreos del año 2013 formaron parte del proyecto “Esponjas, corales escleractinios, equinodermos y peces de los arrecifes corallinos del norte y sur de Veracruz” (Convenio: FB1628/JF124/12) financiado por la CONA-

BIO. Se agradece el permiso de pesca de fomento emitido por la SAGARPA (DGOPA.5458.170512.1381). Se agradecen los comentarios de los revisores que permitieron mejorar el presente manuscrito.

REFERENCIAS

- Abbey, E. and Webster, J. M. (2011). Submerged Reefs. In D. Hopley (Ed.), *Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Process* (pp. 1058-1062). Netherlands: Springer.
- Aguilar-Medrano, R. and Arias-González, J. E. (2018). Functional reef fish groups of the Mexican Caribbean: implications of habitat complexity. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89(4):1138-1153.
- Ajemian, M. J., Sohel, S., and Mattila, J. (2015). Effects of turbidity and habitat complexity on antipredator behavior of three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Environmental Biology of Fishes*. 98(1): 45-55.
- Álvarez-Filip, L., Gill, J. A., and Dulvy N. K. (2011). Complex reef architecture supports more small-bodied fishes and longer food chains on Caribbean reefs. *Ecosphere*. 2(10): 1-17.
- Böhlke, J. E. and Chaplin, C. C. G. (1993). *Fishes of the Bahamas and adjacent tropical waters*. Texas: University of Texas Press. 771 Pp.
- Ceccarelli, D. M., Jones, G. P., and McCook, L. J. (2005). Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. *Coral Reefs*. 24(4): 606-620.
- Cheal, A. J., Emslie, M., MacNeil, M. A., Miller, I., and Sweatman, H. (2013). Spatial variation in the functional characteristics of herbivorous fish communities and the resilience of coral reefs. *Ecological Applications*. 23(1):174-188.
- Claro, R. y García-Arteaga, J. P. (1994). Crecimiento. En R. Claro (Ed.), *Ecología de los peces marinos de Cuba* (pp. 321-402). México: CIQRO.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples (Version 9.0) . [En línea]. Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>. Fecha de consulta: 10 de julio de 2018.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2018). *Estudio Previo Justificativo para la declaratoria del Área de Protección de Flora y Fauna Arrecifes de Los Tuxtlas*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 180 Pp.
- Cortés-Useche, C., Calle-Triviño, J. y Martos-Fernández, F. J. (2015). Lista de peces de los arrecifes: Oro Verde, Pantepec y Blake Veracruz, México. *Revista de Investigaciones Marinas*. 35(1): 112-118.
- Del-Moral-Flores, L. F., Tello-Musi, J. L., Reyes-Bonilla, H., Pérez-España, H., Martínez-Pérez, J. A., Horta-Puga, G., ... y Álvarez-del-Castillo-Cárdenas, P. A. (2013). Lista sistemática y afinidades zoogeográficas de la ictiofauna del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84(3): 825-846.
- Dromard, C. R., Bouchon-Navaro, Y., Cordonnier, S., Harmelin-Vivien, M., and Bouchon, C. (2018). Microhabitat characteristics of *Stegastes planifrons* and *Stegastes adustus* territories. *Environmental Biology of Fishes*. 101(3): 441-448.
- English, S., Wilkinson, C., and Baker, V. (1997). *Survey manual for tropical marine resources*. Townsville: Australian Institute of Marine Sciences. 390 Pp.
- Fabricius, K. E., Logan, M., Weeks, S., and Brodie, J. (2014). The effects of river run-off on water clarity across the central Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*. 84(1-2): 191-200.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., and van-der-Laan, R. (2018). Online database on genus and species names of recent fishes. [En línea]. Disponible en: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Fecha de consulta: 12 de julio de 2018.
- Froese, R. and Pauly, D. (2019). FishBase (version Feb 2018). In Y. Roskov, G. Ower, T. Orrell, D. Nicolson, N. Bailly, P. M. Kirk, ..., and L. Penev (Eds.), *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist*. [En línea]. Disponible en: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019>. Fecha de consulta: 12 de abril de 2019.
- Gobierno del Estado de Veracruz (2008). *Vera-*

cruz y su turismo submarino. Xalapa, Veracruz, México: Gobierno de Veracruz y Secretaría de Turismo. 128 Pp.

González-Gándara, C. (2015). Peces del arrecife Blake, Veracruz, México: Inventario, distribución y afinidades zoogeográficas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2(4): 87-98.

González-Gándara, C. y Arias-González, J. E. (2004). Los pomacéntridos del Arrecife Alacranes, Yucatán, México: composición, distribución y abundancia. *Revista de Investigaciones Marinas*. 25: 231-239.

González-Gándara, C., and De-la-Cruz-Francisco, V. (2014). Unusual record of the Indo-Pacific pomacentrid *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856) on coral reefs of the Gulf of Mexico. *Bioinvasion Records*. 3(1): 49-52.

González-Gándara, C., De-la-Cruz-Francisco, V., Salas-Pérez, J. J. y Domínguez-Barradas, C. (2012). Lista de los peces de Tuxpan, Veracruz, México. *UDO Agrícola*. 2(3): 675-689.

González-Gándara, C. y González-Sansón, G. (1997). Composición y abundancia de la ictiofauna del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista de Investigaciones Marinas*. 18(3): 249-259.

González-Gándara, C., Lozano-Vilano, M. L., De-la-Cruz-Francisco, V. y Domínguez-Barradas, C. (2013). Peces del sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. *Universidad y Ciencia*. 29(2): 191-208.

González-Gándara, C., Solís-Marín, F. A., De-la-Cruz-Francisco, V., Granados-Barba, A., Salas-Pérez, J. J., Arguelles-Jiménez, J. y Escárcega-Quiroga, P. A. (2015). Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*. 63(2): 183-193.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis (Versión 3.25). [En línea]. Disponible en: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>. Fecha de consulta: 8 de mayo de 2019.

Harmelin-Vivien, M. L., Harmelin, J. G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., ..., and Lasserre, G. (1985). Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: Méthodes et problèmes. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*. 40: 467-539.

Hernández-Landa, R. C., Acosta-González, G., Nuñez-Lara, E., and Arias-González, E. A. (2014). Spatial distribution of surgeonfish and parrotfish in the north sector of the Mesoamerican Barrier

Reef System. *Marine Ecology*. 36(3): 432-446.

Huber, R. and Rylander, M. K. (1992). Quantitative histological study of the optic-nerve in species of minnows (Cyprinidae, Teleostei) inhabiting clear and turbid water. *Brain Behavior and Evolution*. 40(5): 250-255.

Jones, G. P. and Symms, C. (1998). Disturbance, habitat structure, and the ecology of fishes on coral reefs. *Australian Journal of Ecology*. 23(3): 287-2297.

Kohler, K. E. and Gill, S. M. (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*. 32(9):1259-1269.

Loya, Y. (1976). Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bulletin of Marine Sciences*. 26(4): 450-466.

McEachran, J. D. and Fechhelm, J. D. (1998). *Fishes of the Gulf of Mexico*. (Vol 1). *Myxiniiformes to Gasterosteiformes*. Texas: University of Texas Press. 1112 Pp.

McEachran, J. D. and Fechhelm, J. D. (2005). *Fishes of the Gulf of Mexico*. Vol 2: *Scorpaeniformes to Tetraodontiformes*. Texas: University of Texas Press. 1004 Pp.

Nelson, J. S., Grande, T. C., and Wilson, M. V. H. (2016). *Fishes of the World*. New Jersey: John Wiley & Sons. 707 Pp.

Neumann, A. C. and Macintyre, I. (1985). Reef response to sea level rise: keep-up, catch-up or give-up. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress*. 3: 105-110.

Ortiz-Lozano, L. D., Colmenares-Campos, C., and Gutiérrez-Velázquez, A. (2018). Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*. 158: 11-23.

Ortiz-Lozano, L. D., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A., and Martos, J. (2013). The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*. 86: 22-32.

Pérez-España, H., Ávila-Gutiérrez, P. S., Melo-Merino, S. M., Berumen-Solórzano, P. y Flores-Arévalo, R. R. (2015). Patrones interanuales e inte-

rarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En A. Granados-Barba, L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (Eds.), *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano. Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México* (pp. 159-178). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.

Randall, J. E. (1967). Food habits of reef fishes of the West Indies. *Studies in Tropical Oceanography*. 5: 665-847.

Ricart, A. M., Rodríguez-Zaragoza, F. A., González-Salas, C., Ortiz, M., Cupul-Magaña, A. L., and Adjerdoud, M. (2016). Coral reef fish assemblages at Clipperton Atoll (Eastern Tropical Pacific) and their relationship with coral cover. *Scientia Marina*. 80(4): 479-486.

Robertson, D. R., Domínguez-Domínguez, O., Lopez-Aroyo, Y. M., Moreno-Mendoza, R., and Simoes, N. (2019). Reef-associated fishes from the offshore reefs of western Campeche Bank, Mexico, with a discussion of mangroves and seagrass beds as nursery habitats. *ZooKeys*: 843: 71-115.

Salas-Monreal, D., Marín-Hernández, M., Salas-Pérez, J. J., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., and Pérez-España, H. (2018). Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*. 179: 88-99.

Salas-Pérez, J. J., Ocaña-Valencia, A. N. y González-Gándara, C. (2015). Temperatura superficial del mar y concentración de Clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el golfo de México Occidental. En A. Granados-Barba, L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (Eds.), *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano. Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México* (pp. 315-332). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.

Thomas, C. J., Bridge, T. C., Figueiredo, J., Deleersnijder, E., and Hanert, E. (2015). Connectivity between submerged and near-sea-surface coral reefs: can submerged reef populations act as refuges? *Diversity and Distributions*. 21(10): 1254-1266.

Tolimieri, N. (1998). Contrasting effects of microhabitat use on large-scale adult abundance in two families of Caribbean reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*. 167: 227-239.

Utne-Palm, A. C. (2002). Visual feeding of fish in a turbid environment: Physical and behavioural aspects. *Marine and Freshwater Behavior and Physiology*. 35(1-2): 111-128.

Wenger, A. S., Fabricius, K. E., Jones, G. P., and Brodie, J. E. (2015a). Effects of sedimentation, eutrophication, and chemical pollution on coral reef fishes. In C. Mora (Ed.), *Ecology of fishes on coral reefs* (pp. 145-153). United Kingdom: Cambridge University Press.

Wenger, A. S., Williamson, D. H., da-Silva, E. T., Ceccarelli, D. M., Browne, N. K., Petus, C., and Devlin, M. J. (2015b). Effects of reduced water quality on coral reefs in and out of no-take marine reserves. *Conservation Biology*. 30(1): 142-153.

Wilson, S. K., Graham, N. A. J., Pratchett, M. S., Jones, G. P., and Polunin, N. V. C. (2006). Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: Are reef fishes at risk or resilient? *Global Change Biology*. 12: 2220-2234.

Zlatarsky, V. N. y Martínez-Estalella, N. (2018). *Los escleractinios de Cuba con datos sobre sus organismos asociados*, Corpus Christi: Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies at Texas A&M University. 471 Pp.


Imagen de: [sipa](#) en [Pixabay](#)

¿Los protocolos experimentales son un símil real de la diabetes humana?

Are experimental protocols an authentic simile of human diabetes?

María Luisa Moreno-Cortés¹, Ana G. Gutiérrez-García^{2*}, Carlos M. Contreras^{2,3}

RESUMEN

Para el estudio de la diabetes se dispone de diversas estrategias metodológicas en modelos animales, tales como, técnicas quirúrgicas, modificaciones dietéticas, incluso manipulación genética y la administración de fármacos específicos, por su toxicidad. En animales, la diabetes experimental se logra con el uso de fármacos, como la aloxana o la estreptozotocina, los cuales producen daño irreversible en las células β -pancreáticas, aunque causan una alta mortalidad, debido a la cetosis asociada al daño agudo de estas células pancreáticas. El objetivo de este trabajo fue analizar los protocolos farmacológicos y otras estrategias disponibles, para determinar si la diabetes experimental realmente emula la diabetes humana. La diabetes es un proceso progresivo y crónico, en el que la mayor parte de las alteraciones clínicas son consecuencia, en el largo plazo, de alteraciones micro y macrovasculares. Por ello, es conveniente diferenciar entre los efectos de una hiperglucemia aguda, con aquellos que se observan cuando la hiperglucemia se prolonga a lo largo del tiempo, a fin de establecer analogías, entre el modelo experimental animal, con el síndrome diabético humano, mediante datos de laboratorio y de tipo clínico, de uso habitual en el diagnóstico y manejo de la diabetes humana.

PALABRAS CLAVE: modelos experimentales, diabetes, aloxana, estreptozotocina, hiperglucemia.

ABSTRACT

For the study of diabetes, several methodological strategies use animal models. Such methodologies involve surgical techniques, diet modifications, some genetic manipulations and specific toxic drugs. The experimental production of diabetes in animal models use the administration of alloxan or streptozotocin and these drugs produce irreversible damage to pancreatic β -cells. However, its use is associated to a ketosis high mortality rate due to the acute damage of pancreatic cells. The aim of this review consisted in the analysis of the pharmacological diabetes production protocols as well as other available strategies, in order to elucidate which is potentially the ideal protocol that emulates human diabetes. Diabetes is a progressive and chronic process, in which most of the clinical alterations are a long-term consequence of micro and macrovascular alterations. Therefore, it is convenient to establish a difference between the effects of acute hyperglycemia, with those effects observable when hyperglycemia is present over the long-term in order to reach enough analogies between the animal experimental model with the human diabetes syndrome, through the use of laboratory and clinical indicators commonly employed for the diagnoses and management of human diabetes.

KEYWORDS: experimental models, diabetes, alloxan, streptozotocin, hyperglycemia.

*Correspondencia: angutierrez@uv.mx/Fecha de recepción: 3 de mayo de 2019/Fecha de aceptación: 6 de septiembre de 2019/Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones Biológicas, Área de Biomedicina, Xalapa, Veracruz, México. ²Universidad Veracruzana, Instituto de Neuroetología, Laboratorio de Neurofarmacología, av. Dr. Luis Castelazo s/n, col. Industrial Las ánimas, Xalapa, Veracruz, México, C. P. 91190. ³Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Unidad Periférica-Xalapa, Ciudad de México, México.

INTRODUCCIÓN

La diabetes es un grave problema de salud en el mundo, por su elevada morbilidad y mortalidad (Tancredi y col., 2015; Rawshani y col., 2018). Existen aún grandes incógnitas sobre los procesos fisiopatológicos involucrados en su desarrollo y sus consecuencias en el organismo, por lo que es necesario profundizar en su conocimiento, con la finalidad de lograr mejores estrategias para la prevención, la detección temprana y el tratamiento adecuado. El desarrollo de las alteraciones relacionadas con la diabetes tiene un curso temporal bien identificado. La Figura 1A representa la cronología de la diabetes en humanos.

Independientemente del tipo de diabetes que ocurra, en la etapa del desarrollo de la enfermedad (fase aguda) y en el largo plazo (fase crónica) los signos y síntomas son los mismos. En cambio, independientemente de los modelos experimentales que se empleen para producir diabetes, en modelos de animales de laboratorio (Figura 1B), la mayor par-

te de los estudios realizados, a la fecha, se concentran en la detección de los signos y síntomas de la fase aguda de la enfermedad. Son notablemente escasos los estudios sobre la fase crónica de la hiperglucemia, lo cual ilustra que la mayor parte del conocimiento experimental que se tiene sobre la diabetes, es claramente parcial.

En la actualidad se dispone de modelos experimentales (Harwood y col., 2012; Brito-Casillas y col., 2016), que asemejan algunas de las anormalidades metabólicas propias de la diabetes. Tales modelos incluyen algunas estrategias quirúrgicas actualizadas (Yu y col., 2015; Shivaswamy y col., 2016), dietas especiales (Castell-Auví y col., 2012; Lewis y col., 2019), productos naturales hipoglucemiantes (Necyk y col., 2017), modificaciones genéticas (Drel y col., 2006) y fármacos con toxicidad específica sobre el páncreas (Szkudelski, 2001). Uno de ellos, es la estreptozotocina. Su uso para producir diabetes experimental se inició a finales de la década de 1960

A. CRONOLOGÍA DE LA DIABETES EN HUMANOS

	Fase aguda	Fase crónica
➤ Diabetes tipo 1 Factores genéticos Autoinmunidad Intolerancia a la glucosa	✓ Poliuria ✓ Polidipsia ✓ Polifagia ✓ Baja de peso ✓ Hiperglucemia ✓ Glucosuria	✓ Cetoacidosis ✓ Retinopatía ✓ Nefropatía ✓ Neuropatía ✓ Enfermedad vascular periférica ✓ Trastornos conductuales
➤ Diabetes tipo 2 Resistencia a la insulina Obesidad Malnutrición Sedentarismo Factores sociales		

B. CRONOLOGÍA DE LA DIABETES EN MODELOS ANIMALES

	Fase aguda	Fase crónica
Quirúrgicos Modificaciones a la dieta Manipulaciones genéticas Farmacológicos	✓ Poliuria ✓ Polidipsia ✓ Polifagia ✓ Baja de peso ✓ Hiperglucemia ✓ Glucosuria	* Cetoacidosis * Retinopatía ✓ Nefropatía * Neuropatía * Enfermedad vascular periférica ✓ Trastornos conductuales

■ Figura 1. Comparación del curso temporal de la diabetes en humanos (A) y modelos animales (B).
✓ Signo o síntoma observado. * Signo o síntoma escasamente observado.

Figure 1. Comparison between temporal course of diabetes in humans (A) and animal models (B).
✓ Sign or symptom previously observed. * Sign or symptom scarcely observed.

(Rerup, 1970). Otro es la aloxana que se descubrió a principios del siglo XIX, y se comenzó a emplear como modelo experimental de diabetes hacia 1940 (Dunn y col., 1943). Un hecho interesante es que, la estreptozotocina se emplea exitosamente en el manejo del cáncer de páncreas (Prakash y col., 2017; Karatas y col., 2018), y aún continúa el debate acerca de una comorbilidad de diabetes y cáncer, así como la posible potencia carcinogénica de ciertos medicamentos antidiabéticos (Wojciechowska y col., 2016).

La diabetes debe considerarse como un síndrome que afecta diversas y amplias regiones del organismo, tanto a nivel macro como microscópico que, como se ha demostrado recientemente, incluye al tejido neural, además de los bien conocidos efectos en otros órganos. Por ejemplo, el hipotálamo es una estructura cerebral que participa en el balance energético (Burbridge y col., 2016); y actualmente, se comienzan a identificar las rutas metabólicas afectadas por la presencia de obesidad y resistencia a la insulina, que producen inflamación hipotalámica (Benomar y Taouis, 2019), lo que puede ocasionar, por otras vías metabólicas, resistencia hipotalámica a la insulina (Ono, 2019). El proceso de resistencia a la insulina abarca otras áreas del cerebro, como el hipocampo, lo que podría explicar algunas alteraciones cognitivas en la diabetes (Grillo y col., 2015; Grillo y col., 2019; Soto y col., 2019), aunado al hecho de que, la deficiencia de glucosa, en el medio neuronal intracelular, es un factor relevante para producir daño neuronal en la diabetes (Contreras y Gutiérrez-García, 2017).

A pesar de que existen modelos experimentales de diabetes, se tienen dudas de si efectivamente se trata de símiles de la enfermedad en el humano.

El objetivo de este trabajo fue revisar los protocolos de diabetes experimental, para establecer si se dispone de un protocolo ideal que emule la diabetes humana.

Técnicas quirúrgicas

La primera aproximación para producir diabetes experimental fue la quirúrgica, la cual, consistía en la ligadura de los ductos pancreáticos o la remoción parcial o total del páncreas. Esta técnica fue empleada desde 1880, cuando el páncreas fue extraído a un perro, mismo que desarrolló poliuria y polidipsia, dos de los síntomas patognomónicos de la diabetes (Minkowski y Bretzel, 2002). Este procedimiento fue empleado por más de un siglo, aunque poco a poco se ha ido sustituyendo por el uso de fármacos con toxicidad selectiva por las células pancreáticas y usando roedores, lo que permite el uso racional y ético de modelos animales (Radenković y col., 2016) para el estudio experimental de la diabetes.

Modelos dietéticos

Existe consenso en la idea de que el desarrollo del síndrome metabólico (que incluye a la diabetes) está asociado, ampliamente, a malos hábitos de vida (Park y col., 2003). En efecto, hacia fines del siglo pasado, se demostró que, los niveles altos de grasas y azúcares en la dieta pueden contribuir al desarrollo, tanto de resistencia a la insulina, como de obesidad en la rata; muy pronto se encontraron semejanzas con la llamada dieta de cafetería (Buyukdere y col., 2019; Lewis y col., 2019), la cual consta de comida paladeable, como papas fritas, chocolates, galletas, mantequilla de maní y muchos otros alimentos con contenido calórico alto (Chen y col., 2014). La dieta de cafetería pareciera ser una estrategia adecuada para estudiar el desarrollo de obesidad y alguna relación con la diabetes. Efectivamente, los roedores normalmente prefieren dietas de tipo cafetería (Gómez-Smith y col., 2016) en lugar de la comida estándar. Esta dieta suele producir hiperfagia espontánea en los roedores, los cuales llegan a aumentar su ingesta hasta en un 80 % (Heyne y col., 2009).

Los animales obesos suelen ser empleados para simular la compleja patogénesis de la diabetes (Daryabor y col., 2019). No obstante,

queda la duda si en el corto plazo, la obesidad, aunada a la resistencia a la insulina, realmente representa una aproximación a la diabetes clínica, o bien, si simplemente es una característica más de la obesidad (Saltiel y Olefsky, 2017). Es cierto que la obesidad se considera como factor de riesgo para el desarrollo de diabetes (Wells, 2019). Sin embargo, puede suponerse que, al menos en algunos casos, esa propensión a la obesidad, más que un factor de riesgo, es un síntoma temprano de la enfermedad (Boules y col., 2017; Saltiel y Olefsky, 2017); en efecto, la secuencia de desnutrición, en etapas tempranas de la vida, seguida de obesidad, se asocia a un mayor riesgo de desarrollo de diabetes más adelante (Stein y col., 2019).

En la diabetes, la obesidad es uno de los datos prodrómicos, mientras que ante la expresión de la enfermedad, el dato típico es la baja de peso, como consecuencia de una desviación del uso metabólico hacia los lípidos, ante la carencia de glucosa intracelular como fuente primaria del aporte calórico (Kahn y col., 2006), lo que conlleva el riesgo de la cetoacidosis. La obesidad por sí misma es causa de diversas alteraciones (Flores y col., 2019), que ameritan ser estudiadas, tomando en cuenta que, un modelo de obesidad se asemeja más al periodo previo a la expresión de la diabetes (Barbour, 2019; Spurr y col., 2019; Waernbaum y col., 2019) que a la diabetes en sí.

De cualquier manera, estos modelos basados en obesidad adquieren relevancia si se consultan datos estadísticos acerca de la misma. En la ciudad de México, la obesidad adulta aumentó del 16 % de la población, en el año 2000, al 26 % en 2012. Ese mismo año, el 35 % de los niños de la ciudad, de 5 a 11 años, eran obesos o con sobrepeso. De hecho, 7 de cada 10 mexicanos están en sobrepeso, y un tercio de ellos ya caen en la categoría de obesidad (Chan, 2017). Pero aún es difícil hacer alguna predicción acerca del futuro del grupo que presenta obe-

sidad, ya que hacen falta estudios de tipo longitudinal sobre estas poblaciones. Aunque la obesidad, junto con la inactividad, siguen siendo consideradas como factores de riesgo para el desarrollo de diabetes (Geiss y col., 2017), al parecer no todo obeso será diabético en un futuro (Tamas y col., 2018; Mntsilana y col., 2019; Okamura y col., 2019), lo cual da algunas limitaciones al modelo de obesidad. En todo caso, estos modelos pueden ser útiles para estudiar el periodo prodrómico del síndrome diabético, lo cual es interesante, ya que podría ayudar a encontrar alternativas de diagnóstico temprano y de manejo terapéutico oportuno, antes del desarrollo pleno de la sintomatología diabética y, desde luego, sus complicaciones.

Manipulación genética

En la actualidad, con el avance en el conocimiento de las bases moleculares de las enfermedades, se dispone de organismos genéticamente modificados, generalmente roedores (Brito-Casillas y col., 2016) predispuestos a desarrollar la enfermedad de manera relativamente controlada. Se cuenta ya con modelos genéticos de resistencia a la insulina (Sah y col., 2016). En el caso de la diabetes, se lograron mutaciones de un solo gen, que dan lugar a cepas con predisposición genética a desarrollar resistencia a la insulina y/o sensibilidad a la misma. Entre los modelos manipulados genéticamente de diabetes tipo 1 o tipo 2, se encuentra el ratón hipoinsulinémico diabético no obeso (NOD, por sus siglas en inglés: Non-Obese Diabetic Mouse), el ratón KKAY, el ratón obeso Nueva Zelanda y el ratón mutante homocigoto ob/ob y db/db (Staats, 1975; Al-Awar y col., 2016), por mencionar algunos.

Entre los modelos genéticos, el ratón NOD, es reconocido por desarrollar diabetes tipo 1 de entre el 83 % y 90 % de los machos y hembras, respectivamente (Hugés-Hernandorena y col., 2002), a escasas 3 semanas de nacidos (Carrero y col., 2017). Es de notar que en primer lugar no todos estos roedores desarrollan diabetes, y que existe dimorfismo sexual.

Este modelo tiene un marcado fondo poligénico, y en su genoma existen más de 17 locus, sobre al menos 5 cromosomas diferentes, lo que constituye el mayor factor genético de diabetes tipo 1 ubicado en el cromosoma 17.18 humano (Hugés-Hernandorena y col., 2002). De manera semejante, la rata BB desarrolla diabetes tipo 1 y cetoacidosis entre los 50 d y 90 d de edad, en proporción semejante entre hembras y machos, mediado por alteraciones del complejo mayor de histocompatibilidad y linfopenia T (Acharjee y col., 2013). Es de destacar que estos son eventos reconocidos como críticos en el riesgo autoinmune en el humano, de particular interés en la diabetes tipo 1. Conviene reflexionar en que los aspectos epigenéticos quedan lejos de ser tomados en cuenta en estos modelos.

Dentro de los modelos de diabetes tipo 2, se encuentran los ratones db/db, caracterizados por resistencia a la leptina, hiperinsulinemia y resistencia a la insulina, evidentes a escasos 10 d a 12 d de edad. En ellos, existe una mutación autosómica recesiva, que altera las células β -pancreáticas. Esta cepa desarrolla, a la larga, hiperglucemia, cambios de su peso corporal y depleción de los niveles de insulina de manera gradual, tal como ocurre en el síndrome diabético humano (Fu y col., 2013; Liljedahl y col., 2017). Este modelo de ratón diabético db/db, posee una mutación en el receptor de leptina, que da lugar a hiperfagia, obesidad, hiperleptinemia, hiperinsulinemia e infertilidad (Sharma y col., 2003). El gen db/db y otros, son autosómicos recesivos, en consecuencia, sólo una parte de los ratones con esta característica va a desarrollar el símil completo de la diabetes. Además, entre ellos hay una alta mortalidad debida a la cetosis, y requieren ser protegidos con la administración de insulina, para lograr una supervivencia acorde al protocolo del estudio (Srinivasan y Ramarao, 2007). Es de notar, además, un aspecto relevante, que consiste en que la diabetes tipo 1 se caracteriza por una baja disponibilidad de insulina. Entonces, este modelo es lo opuesto

a la diabetes clínica, además de que otros síntomas y signos presentes, carecen de conexión alguna con la enfermedad, sugiriendo que la mutación de un solo gen produce una multitud de alteraciones.

El gen denominado *ob*, en condiciones normales, codifica para la síntesis de leptina, la cual es secretada por los adipocitos, que son los responsables de almacenar los triglicéridos. Debido a una mutación genética, los adipocitos de un ratón *ob* no producen leptina, por lo cual, estos roedores experimentan efectos significativos, tanto sobre su metabolismo, como sobre su consumo de alimentos y desarrollan obesidad, aunque notablemente, la incidencia de diabetes es baja entre ellos (Arias-Díaz y Balibrea, 2007). Es de resaltar que los ratones homocigotos, con deficiencia de leptina *ob/ob*, desarrollan una diabetes tipo 2, que lleva a las características clínicas y especialmente histológicas, que definen la lesión renal diabética del humano. Por tanto, el estudio de los ratones *ob/ob* puede ayudar a identificar nuevos factores clave en la patogénesis molecular de la nefropatía diabética (Chittka y col., 2018).

Otro modelo basado en manipulación genética es el ratón obeso Nueva Zelanda (Igel y col., 1997), el cual tiene alteraciones en el transporte de leptina. Es un modelo que exhibe hiperfagia, hiperinsulinemia, alteraciones de la tolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina. La característica típica del modelo Nueva Zelanda es la obesidad. Es considerado un caso de mutación espontánea, aunque el receptor de leptina polimórfico parece desempeñar solo un papel menor, si es que tiene alguno, en la obesidad y la hiperleptinemia de este modelo. Se trata de una alteración de un gen, lo que genera obesidad masiva, que no necesariamente remeda la diabetes tipo 2 del humano. Puede ser útil para estudiar un factor de riesgo o quizá un signo prodrómico, pero nada más.

Los modelos genéticos, previamente citados, figuran como estrategias efectivas para el de-

sarrollo de la diabetes tipo 1 o 2; no obstante, hay que tener en cuenta que cualquier mutación genética produce múltiples alteraciones. Por ejemplo, algunos de estos modelos también son empleados para explorar alteraciones de memoria (Winocur y col., 2005) y trastornos alimenticios, como la anorexia (Gutiérrez y col., 2002; Churrua y col., 2008), en cuyo caso es difícil establecer el objetivo del estudio, ya que bien pudiera ser el desarrollo de diabetes y algunas de sus consecuencias metabólicas, pero al mismo tiempo, la obesidad por sí misma. Además, es de destacar el elevado costo que conlleva el manejo y mantenimiento de estos modelos (Al-Awar y col., 2016) y otros inconvenientes, comunes a diversos modelos experimentales de diabetes (Srinivasan y Ramarao, 2007).

Métodos farmacológicos

La producción de diabetes experimental en la rata, usando fármacos que destruyen selectivamente las células β -pancreáticas, resulta relativamente conveniente y fácil de usar. Tales fármacos, con toxicidad selectiva, son la aloxana y la estreptozotocina (Szkudelski, 2001; Kaur y col., 2014). La aloxana (2, 4, 5, 6-tetra-oxipirimidina; 5, 6-dioxiuracilo), suele administrarse por vía intravenosa, intraperitoneal o subcutánea. Se absorbe rápidamente y ejerce efecto citotóxico en las células β -pancreáticas, donde aumenta la concentración de calcio citosólico, y de momento, se produce una súbita liberación de insulina y de especies reactivas a oxígeno. Estos cambios lesionan la célula pancreática y, en consecuencia, ocurre supresión de la respuesta a la elevación plasmática de glucosa, incluso en condiciones de hiperglucemia (Szkudelski, 2001; Kaur y col., 2014; Zhou y col., 2017). La estreptozotocina (2-deoxi-2-(3-(methil-3-nitrosoureido)-D-glucopiranos), se administra por vía parenteral y ocasiona efectos semejantes a los de la aloxana (Radenković y col., 2016). Los protocolos actuales contienen múltiples variantes, generalmente, debido a la condición fisiológica que desee implementarse, ya que, dependen-

do del protocolo, puede resultar un modelo experimental de lo que se conoce clínicamente como diabetes tipo 1 o tipo 2.

El modelo farmacológico del tipo de diabetes, depende tanto de la dosis del fármaco empleado, como de la vía de administración. La dosis de aloxana más frecuentemente empleada por vía intravenosa en ratas va de 45 mg/kg a 65 mg/kg de peso corporal. Si el fármaco es administrado vía subcutánea, se emplea el triple de la dosis intravenosa, en tanto que, por vía intraperitoneal suele administrarse una dosis máxima de 200 mg/kg de peso corporal (Lenzen, 2008).

En el caso de la estreptozotocina, el rango de dosis más empleado va de 40 mg/kg a 60 mg/kg (Guex y col., 2019; Sharma y col., 2019), con grandes variaciones dependientes de la vía de administración. La dosis única de estreptozotocina (por ejemplo, 90 mg/kg, por vía intravenosa), administrada en ratas de 2 d de edad, produce después de 6 o 15 semanas algunos síntomas de diabetes tipo 2; aunque, con modificaciones al protocolo, puede dar lugar a un modelo de diabetes tipo 1 (Radenković y col., 2016).

Tanto la aloxana como la estreptozotocina, aun en dosis única, producen un alto índice de mortalidad (Radenković y col., 2016). Las ratas tratadas con estos fármacos desarrollan en lapso de horas, hiperglucemia y suelen fallecer por cetoacidosis entre 6 d y 9 d después de la administración; notablemente, la mortalidad va del 55 % al 80 % (Federiuk y col., 2004).

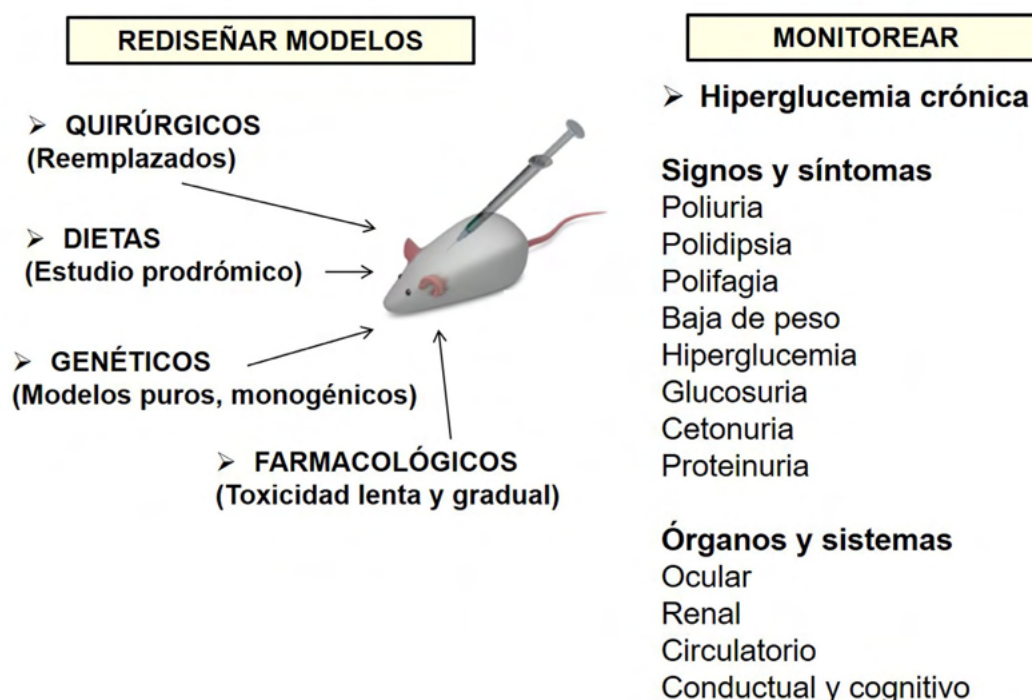
Existen variantes metodológicas para reducir la pérdida de sujetos asociada al fármaco citotóxico pancreático. Estas estrategias incluyen administrar fructosa (10 % a 40 %), antes y después de una dosis baja del tóxico (Wilson e Islam, 2012). La protección con fructosa, previa al citotóxico, seguida de la administración diaria de insulina, permite alcanzar más del 80 % de supervivencia. Las ratas despliegan altas glucemias plas-

máticas, cetonuria, glucosuria, además de polifagia, polidipsia y baja de peso. Con este manejo, una hiperglucemia prolongada, se asocia con una disminución generalizada de un marcador de la actividad neuronal, la proteína Fos, en estructuras cerebrales relacionadas con el procesamiento emocional (Moreno-Cortés y col., 2016) y con alteraciones de la responsividad entre circuitos neurobiológicos mediadores de estrategias adaptativas (Contreras y col., 2019). Es importante resaltar que, la dosis protectora de insulina empleada en estos dos trabajos previamente citados, se calcula para: *i)* lograr concentraciones plasmáticas de glucosa bien planeadas; *ii)* evitar llegar al coma diabético; y, *iii)* sostener una hiperglucemia lo suficientemente alta, como para previsiblemente producir el daño tisular característico del síndrome.

En su mayoría, los reportes que proponen algún supuesto tratamiento, se basan en modelos en los que apenas se desarrolló hipergluce-

mia durante unas cuantas semanas (Radenković y col., 2016). Un periodo demasiado corto para el desarrollo de las alteraciones micro y macrovasculares, que son posiblemente la base fundamental de las alteraciones que ocurren a largo plazo en el curso de la diabetes (Contreras y Gutiérrez-García, 2017; Sankritayan y col., 2019). Desde luego que algunos estudios han dado seguimiento por lapsos de semanas a meses en animales que fueron inyectados con estreptozotocina (Wilson e Islam, 2012; Barriere y col., 2018) o aloxana (Lucchesi y col., 2013; Lucchesi y col., 2015), y cuidadosamente se vigilaron signos, síntomas y datos de laboratorio que verificaron el desarrollo de diabetes experimental.

La Figura 2, sintetiza las observaciones que llevan a proponer el rediseño de los modelos experimentales de diabetes. Los procedimientos quirúrgicos prácticamente han sido abandonados, especialmente con base en lo traumático del procedimiento. Como ya se



■ **Figura 2. Modelo ideal del síndrome diabético en animales de experimentación.**

Figure 2. An ideal model of diabetes syndrome in experimental animals.

mencionó, el estudio de factores dietéticos lleva a identificar riesgos e impactos de la obesidad; en este punto, conviene destacar el aspecto de los llamados factores de riesgo. Varios de estos factores, por ejemplo, la obesidad y la acantosis, ocurren en muchas personas que no necesariamente van a ser diabéticas en el corto o largo plazo (Ozlu y col., 2018; Lascar y col., 2019). La mayor parte de los modelos apoyados en la genética, hasta ahora, emplean modelos poligénicos. Es de desearse que, en el futuro, se disponga de modelos monogénicos, con sintomatología más pura. No es de sorprender que, el uso de estos modelos poligénicos ha llevado a la elaboración del concepto de alguna relación entre la diabetes y la enfermedad de Alzheimer (Hascup y col., 2019; Kim y col., 2019; Norwitz y col., 2019). En cuanto a los dos modelos farmacológicos disponibles, conviene destacar la elevada mortalidad de los sujetos experimentales, lo cual está relacionado con el repentino daño masivo a las células pancreáticas. Aunque los signos y síntomas de la diabetes requieren del daño funcional de las células β -pancreáticas (Gerber y Rutter, 2017), más que de la masa de las mismas. De hecho, ya se han realizado intentos con éxitos relativos al administrar aloxana y estreptozotocina de manera gradual (Radenković y col., 2016). Los resultados son desalentadores, lo cual lleva a la necesidad de en-

contrar o tal vez diseñar fármacos con toxicidad selectiva sobre las células β -pancreáticas del islote de Langerhans, con una acción lenta y gradual.

Lo ideal será hallar algunos de estos modelos y monitorear los signos y síntomas típicos de la diabetes, apoyados en el estudio de órganos y sistemas que son afectados por la hiperglucemia crónica, por ejemplo, examen ocular (búsqueda de cataratas) y estudio de fondo de ojo (para la detección de la retinopatía diabética); evaluación de la función renal (determinación de nivel de creatinina); daño circulatorio; y desde luego, enriquecer los datos que ya existen sobre las alteraciones conductuales y cognitivas asociadas a la diabetes.

CONCLUSIONES

No parece que se disponga aún de un modelo experimental que emule en su totalidad el síndrome diabético. Es necesario estructurar diseños experimentales que consideren la supervivencia de los animales experimentales por meses, a fin de establecer analogías con la cronología de la enfermedad en el humano. La meta es lograr diversos signos y síntomas, semejantes a los que ocurren en el enfermo diabético en su etapa crónica.

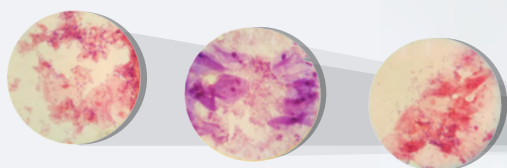
REFERENCIAS

- Acharjee, S., Ghosh, B., Al-Dhubiab, B. E., and Nair, A. B. (2013). Understanding type 1 diabetes: etiology and models. *Canadian Journal of Diabetes*. 37(4): 269-276.
- Al-Awar, A., Kupai, K., Veszelka, M., Szűcs, G., Attieh, Z., Murlasits, Z., ..., and Varga, C. (2016). Experimental diabetes mellitus in different animal models. *Journal of Diabetes Research*. 2016: 9051426.
- Arias-Díaz, J. and Balibrea, J. (2007). Modelos animales de intolerancia a la glucosa y diabetes tipo 2. *Nutrición Hospitalaria*. 22(2): 160-168.
- Barbour, L. A. (2019). Metabolic culprits in obese pregnancies and gestational diabetes mellitus: big babies, big twists, big picture: The 2018 Norbert Freinkel Award Lecture. *Diabetes Care*. 42(5): 718-726.
- Barriere, D. A., Noll, C., Roussy, G., Lizotte, F., Kessai, A., Kirby, K., ..., and Sarret, P. (2018). Combination of high-fat/high-fructose diet and low-dose streptozotocin to model long-term type-2 diabetes complications. *Scientific Reports*. 8(1): 424.
- Benomar, Y. and Taouis, M. (2019). Molecular mechanisms underlying obesity-induced hypothalamic inflammation and insulin resistance: pivotal role of resistin/TLR4 pathways. *Frontiers in Endocrinology*. 10: 140.
- Boles, A., Kandimalla, R., and Reddy, P. H. (2017). Dynamics of diabetes and obesity: Epidemiological perspective. *Biochimica et Biophysica Acta Molecular Basis Disease*. 1863(5): 1026-1036.
- Brito-Casillas, Y., Melián, C., and Wägner, A. M. (2016). Study of the pathogenesis and treatment of diabetes melli-

- tus through animal models. *Endocrinología y Nutrición*. 63(7): 345-353.
- Burbridge, S., Stewart, I., and Placzek, M. (2016). Development of the neuroendocrine hypothalamus. *Comprehensive Physiology*. 6(2): 623-643.
- Buyukdere, Y., Gulec, A., and Akyol, A. (2019). Cafeteria diet increased adiposity in comparison to high fat diet in young male rats. *PeerJ*. 7: e6656.
- Carrero, J. A., McCarthy, D. P., Ferris, S. T., Wan, X., Hu, H., Zinselmeyer, B. H., ..., and Unanue, E. R. (2017). Resident macrophages of pancreatic islets have a seminal role in the initiation of autoimmune diabetes of NOD mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 114(48): E10418-E10427.
- Castell-Auví, A., Cedó, L., Pallarès, V., Blay, M., Ardévol, A., and Pinet, M. (2012). The effects of a cafeteria diet on insulin production and clearance in rats. *The British Journal of Nutrition*. 108(7): 1155-1162.
- Chan, M. (2017). Obesity and Diabetes: The Slow-Motion Disaster. *Milbank Q*. 95(1): 11-14.
- Chen, Y. W., Fiscella, K. A., Bacharach, S. Z., and Calu, D. J. (2014). Effect of cafeteria diet history on cue-, pellet-priming-, and stress-induced reinstatement of food seeking in female rats. *PloS One*. 9(7): e102213.
- Chittka, D., Banas, B., Lennartz, L., Putz, F. J., Eidenschink, K., Beck, S., ..., and Banas, M. C. (2018). Long-term expression of glomerular genes in diabetic nephropathy. *Nephrology, Dialysis, Transplantation*. 33(9): 1533-1544.
- Churrua, I., Portillo, M. P., Casis, L., Gutierrez, A., Macarulla, M. T., and Echevarria, E. (2008). Effects of fluoxetine administration on hypothalamic melanocortin system in obese Zucker rats. *Neuropeptides*. 42(3): 293-299.
- Contreras, C. M. and Gutiérrez-García, A. G. (2017). Cognitive impairment in diabetes and poor glucose utilization in the intracellular neural milieu. *Med Hypotheses*. 104: 160-165.
- Contreras, C. M., Gutiérrez-García, A. G., and Moreno-Cortés, M. L. (2019). Responsivity of lateral septum-mPFC connections in alloxan-induced hyperglycemia. *Behavioural Brain Research*. 368: 111919.
- Daryabor, G., Kabelitz, D., and Kalantar, K. (2019). An update on immune dysregulation in obesity-related insulin resistance. *Scandinavian Journal of Immunology*. 89(4): e12747.
- Drel, V. R., Mashtalir, N., Ilytska, O., Shin, J., Li, F., Lyzogubov, V. V., and Obrosova, I. G. (2006). The leptindeficient (ob/ob) mouse: a new animal model of peripheral neuropathy of type 2 diabetes and obesity. *Diabetes*. 55(12): 3335-3343.
- Dunn, J. S., Sheehan, H. L., and McLetchie, N. G. B. (1943). Necrosis of islets of Langerhans produced experimentally. *Lancet*. 241 (6242): 484-487.
- Federiuk, I. F., Casey, H. M., Quinn, M. J., Wood, M. D., and Ward, W. K. (2004). Induction of type-1 diabetes mellitus in laboratory rats by use of alloxan: route of administration, pitfalls, and insulin treatment. *Comparative Medicine*. 54(3): 252-257.
- Flores, Y. N., Contreras, Z. A., Ramirez-Palacios, P., Morales, L. S., Edwards, T. C., Gallegos-Carrillo, K., ..., and Patrick, D. L. (2019). Increased prevalence of psychosocial, behavioral, and socio-environmental risk factors among overweight and obese youths in Mexico and the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(9): E1534.
- Fu, Z., Gilbert, E. R., and Liu, D. (2013). Regulation of insulin synthesis and secretion and pancreatic Beta-cell dysfunction in diabetes. *Current Diabetes Reviews*. 9(1): 25-53.
- Geiss, L. S., Kirtland, K., Lin, J., Shrestha, S., Thompson, T., Albright, A., and Gregg, E. W. (2017). Changes in diagnosed diabetes, obesity, and physical inactivity prevalence in US counties, 2004-2012. *PLoS One*. 12(3): e0173428.
- Gerber, P. A. and Rutter, G. A. (2017). The role of oxidative stress and hypoxia in pancreatic beta-cell dysfunction in diabetes mellitus. *Antioxidants & Redox Signaling*. 26(10): 501-518.
- Gómez-Smith, M., Karthikeyan, S., Jeffers, M. S., Janik, R., Thomason, L. A., Stefanovic, B., and Corbett, D. (2016). A physiological characterization of the Cafeteria diet model of metabolic syndrome in the rat. *Physiology and Behavior*. 167: 382-391.
- Grillo, C. A., Piroli, G. G., Lawrence, R. C., WRIGHT, S. A., Green, A. J., Wilson, S. P., ..., and Reagan, L. P. (2015). Hippocampal insulin resistance impairs spatial learning and synaptic plasticity. *Diabetes*. 64(11): 3927-3936.
- Grillo, C. A., Woodruff, J., Macht, V. A., and Reagan, L. P. (2019). Insulin resistance and hippocampal dysfunction: Distant peripheral and brain causes from consequences. *Experimental Neurology*. 318: 71-77.
- Guex, C. G., Reginato, F. Z., de-Jesus, P. R., Brondani, J. C., Lopes, G. H. H., and Bauermann, L. F. (2019). Antidiabetic effects of *Olea europaea* L. leaves in diabetic rats induced by high-fat diet and low-dose streptozotocin. *Journal of Ethnopharmacology*. 235: 1-7.
- Gutiérrez, A., Saracibar, G., Casis, L., Echevarria, E., Rodríguez, V. M., Macarulla, M. T., ..., and Portillo, M. P. (2002). Effects of fluoxetine administration on neuropeptide y and orexins in obese Zucker rat hypothalamus. *Obesity Research*. 10(6): 532-540.
- Harwood, H. J., Listrani, P., and Wagner, J. D. (2012). Non-human primates and other animal models in diabetes research. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 6(3): 503-514.

- Hascup, E. R., Broderick, S. O., Russell, M. K., Fang, Y., Bartke, A., Boger, H. A., and Hascup, K. N. (2019). Diet-induced insulin resistance elevates hippocampal glutamate as well as VGLUT1 and GFAP expression in AbetaPP/PS1 mice. *Journal of Neurochemistry*. 148(2): 219-237.
- Heyne, A., Kiesselbach, C., Sahún, I., McDonald, J., Gaiffi, M., Dierssen, M., and Wolffgramm, J. (2009). An animal model of compulsive food-taking behaviour. *Addiction Biology*. 14(4): 373-383.
- Hugés-Hernandorena, B., Rodríguez-García, J. C., Rodríguez-González, J. C., and Marrero-Rodríguez, M. T. (2002). Animales de experimentación como modelos de diabetes mellitus tipo 2. *Revista Cubana de Endocrinología*. 13(2): 160-168.
- Igel, M., Becker, W., Herberg, L., and Joost, H. G. (1997). Hyperleptinemia, leptin resistance, and polymorphic leptin receptor in the New Zealand obese mouse. *Endocrinology*. 138(10): 4234-4239.
- Kahn, S. E., Hull, R. L., and Utzschneider, K. M. (2006). Mechanisms linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nature*. 444(7121): 840-846.
- Karatas, F., Sahin, S., Aytekin, A., Hacıoglu, M. B., Imamoglu, G. I., and Altinbas, M. (2018). Durable complete response with a short course of streptozotocin plus doxorubicin combination in malignant metastatic insulinoma. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*. 14(5): 1149-1151.
- Kaur, M., Bedi, O., Sachdeva, S., Reddy, B. V. K. K., and Kumar, P. (2014). Rodent animal models: from mild to advanced stages of diabetic nephropathy. *Inflammopharmacology*. 22(5): 279-293.
- Kim, B., Elzinga, S. E., Henn, R. E., McGinley, L. M., and Feldman, E. L. (2019). The effects of insulin and insulin-like growth factor I on amyloid precursor protein phosphorylation in *in vitro* and *in vivo* models of Alzheimer's disease. *Neurobiology of Disease*. 132: 104541.
- Lascar, N., Altaf, Q. A., Raymond, N. T., Broen, J., Pattison, H., Barnett, A., ..., and Bellary, S. (2019). Phenotypic characteristics and risk factors in a multi-ethnic cohort of young adults with type 2 diabetes. *Current Medical Research and Opinion*. 1-8.
- Lenzen, S. (2008). The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. *Diabetologia*. 51(2): 216-226.
- Lewis, A. R., Singh, S., and Youssef, F. F. (2019). Cafeteria-diet induced obesity results in impaired cognitive functioning in a rodent model. *Heliyon*. 5(3): e01412.
- Liljedahl, L., Norlin, J., McGuire, J. N., and James, P. (2017). Effects of insulin and the glucagon-like peptide 1 receptor agonist liraglutide on the kidney proteome in db/db mice. *Physiology Reproduction*. 5(6): e13187.
- Lucchesi, A. N., Cassettari, L. L., and Spadella, C. T. (2015). Alloxan-induced diabetes causes morphological and ultrastructural changes in rat liver that resemble the natural history of chronic fatty liver disease in humans. *Journal of Diabetes Research*. 2015: 494578.
- Lucchesi, A. N., Freitas, N. T., Cassettari, L. L., Marques, S. F., and Spadella, C. T. (2013). Diabetes mellitus triggers oxidative stress in the liver of alloxan-treated rats: a mechanism for diabetic chronic liver disease. *Acta Cirurgica Brasileira*. 28(7): 502-508.
- Minkowski, O. and Bretzel, R. G. (2002). Further reports on diabetes mellitus after the extirpation of the pancreas. *Journal of Molecular Medicine (Berlin, Germany)*. 80(1): 3-4.
- Moreno-Cortés, M. L., Gutiérrez-García, A. G., Guillén-Ruiz, G., Romo-González, T., and Contreras, C. M. (2016). Widespread blunting of hypothalamic and amygdala-septal activity and behavior in rats with long-term hyperglycemia. *Behavioural Brain Research*. 310: 59-67.
- Mtintsilana, A., Micklesfield, L. K., Chorell, E., Olsson, T., and Goedecke, J. H. (2019). Fat redistribution and accumulation of visceral adipose tissue predicts type 2 diabetes risk in middle-aged black South African women: a 13-year longitudinal study. *Nutrition and Diabetes*. 9(1): 12.
- Necyk, C. and Zubach-Cassano, L. (2017). Natural health products and diabetes: a practical review. *Canadian Journal of Diabetes*. 41(6): 642-647.
- Norwitz, N. G., Mota, A. S., Norwitz, S. G., and Clarke, K. (2019). Multi-Loop model of Alzheimer disease: an integrated perspective on the Wnt/GSK3beta, alpha-synuclein, and type 3 diabetes hypotheses. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 11: 184.
- Okamura, T., Hashimoto, Y., Hamaguchi, M., Obora, A., Kojima, T., and Fukui, M. (2019). Ectopic fat obesity presents the greatest risk for incident type 2 diabetes: a population-based longitudinal study. *International Journal of Obesity*. 43(1): 139-148.
- Ono, H. (2019). Molecular mechanisms of hypothalamic insulin resistance. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(6): E1317.
- Ozlu, E., Uzuncakmak, T. K., Takir, M., Akdeniz, N., and Karadag, A. S. (2018). Comparison of cutaneous manifestations in diabetic and nondiabetic obese patients: A prospective, controlled study. *Northern Clinics of Istanbul*. 5(2): 114-119.
- Park, Y. W., Zhu, S., Palaniappan, L., Heshka, S., Carnethon, M. R., and Heymsfield, S. B. (2003). The metabolic syndrome: prevalence and associated risk factor findings in the US population from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Archives International of Medicine*. 163(2003): 427-436.
- Prakash, L., Bhosale, P., Cloyd, J., Kim, M., Parker, N., Yao, J., ..., and Katz, M. H. (2017). Role of fluorouracil, doxorubicin,

- and streptozocin therapy in the preoperative treatment of localized pancreatic neuroendocrine tumors. *Journal of Gastrointestinal Surgery*. 21(1):155-163.
- Radenković, M., Stojanović, M., and Prostran, M. (2016). Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: The current state of the art. *Journal and Pharmacological and Toxicological Methods*. 78:13-31.
- Rawshani, A., Sattar, N., Franzén, S., Rawshani, A., Hattersley, A. T., Svensson, A. M., ..., and Gudbjörnsdóttir, S. (2018). Excess mortality and cardiovascular disease in young adults with type 1 diabetes in relation to age at onset: a nationwide, register-based cohort study. *Lancet*. 392(10146): 477-486.
- Rerup, C. C. (1970). Drugs producing diabetes through damage of the insulin secreting cells. *Pharmacology Review*. 22(4): 485-518.
- Sah, S. P., Singh, B., Choudhary, S., and Kumar, A. (2016). Animal models of insulin resistance: A review. *Pharmacological Reports: PR*. 68(6): 1165-1177.
- Saltiel, A. R. and Olefsky, J. M. (2017). Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease. *Journal Clinical Investigation*. 127(1):1-4.
- Sankrityayan, H., Oza, M. J., Kulkarni, Y. A., Mulay, S. R., and Gaikwad, A. B. (2019). ER stress response mediates diabetic microvascular complications. *Drug Discovery Today*. 1359-6446(19):30314-30319.
- Sharma, G., Ashhar, M. U., Aeri, V., and Katare, D. P. (2019). Development and characterization of late-stage diabetes mellitus and associated vascular complications. *Life Sciences*. 216: 295-304.
- Sharma, K., McCue, P., and Dunn, S. R. (2003). Diabetic kidney disease in the db/db mouse. *American Journal of Physiology. Renal Physiology*. 284(6): F1138-F1144.
- Shivaswamy, V., Boerner, B., and Larsen, J. (2016). Post-Transplant diabetes mellitus: causes, treatment, and impact on outcomes. *Endocrinology Review*. 37(1): 37-61.
- Soto, M., Cai, W., Konishi, M., and Kahn, C. R. (2019). Insulin signaling in the hippocampus and amygdala regulates metabolism and neurobehavior. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States America*. 116(13): 6379-6384.
- Spurr, S., Bally, J., Allan, D., Bullin, C., and McNair, E. (2019). Prediabetes: An emerging public health concern in adolescents. *Endocrinology, Diabetes and Metabolism*. 2(2): e00060.
- Srinivasan, K. and Ramarao, P. (2007). Animal models in type 2 diabetes research: an overview. *The Indian of Journal of Medical Research*. 125(3): 451-472.
- Staats, J. (1975). Diabetes in the mouse due to two mutant genes - a bibliography. *Diabetologia*. 11(4): 325-327.
- Stein, A. D., Obrutu, O. E., Behere, R. V., and Yajnik, C. S. (2019). Developmental undernutrition, offspring obesity and type 2 diabetes. *Diabetologia*. 62(10):1773-1778.
- Szkudelski, T. (2001). The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas. *Physiological Research*. 50(6):537-546.
- Tamas, M. J., Khakharia, A., Rothenberg, R. B., and Phillips, L. S. (2018). Weight trends in veterans with and without diabetes, 2000 to 2014. *Obesity*. 26(12): 1949-1957.
- Tancredi, M., Rosengren, A., Svensson, A. M., Kosiborod, M., Pivodic, A., Gudbjörnsdóttir, S., ..., and Lind, M. (2015). Excess mortality among persons with Type 2 diabetes. *The New England Journal of Medical*. 373(18):1720-1732.
- Waernbaum, I., Dahlquist, G., and Lind, T. (2019). Perinatal risk factors for type 1 diabetes revisited: a population-based register study. *Diabetologia*. 1-12.
- Wells, J. C. K. (2019). The diabetes epidemic in the light of evolution: insights from the capacity-load model. *Diabetologia*. 62(10):1740-1750.
- Wilson, R. D. and Islam, M. S. (2012). Fructose-fed streptozotocin-injected rat: an alternative model for type 2 diabetes. *Pharmacological Reports: PR*. 64(1):129-139.
- Winocur, G., Greenwood, C. E., Piroli, G. G., Grillo, C. A., Reznikov, L. R., Reagan, L. P., and McEwen, B. S. (2005). Memory impairment in obese Zucker rats: an investigation of cognitive function in an animal model of insulin resistance and obesity. *Behavioral Neuroscience*. 119(5):1389-1395.
- Wojciechowska, J., Krajewski, W., Bolanowski, M., Kręcicki, T., and Zatoński, T. (2016). Diabetes and Cancer: a review of current knowledge. *Experimental Clinical Endocrinology Diabetes*. 124(5): 263-275.
- Yu, Y. B., Bian, J. M., and Gu, D. H. (2015). Transplantation of insulin-producing cells to treat diabetic rats after 90 % pancreatectomy. *World Journal of Gastroenterology*. 21(21): 6582-6590.
- Zhou, W., Wei, L., Xiao, T., Lai, C., Peng, M., Xu, L., ..., and Zhang, F. (2017). Diabetogenic agent alloxan is a proteasome inhibitor. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 488(2): 400-406.



Fotografías "observación microscopio de exudado vaginal" elaboradas por: Guadalupe Jiménez Flores, "imagen: freepik". La portada ha sido diseñada usando imágenes de Freepik.com

Evaluación de los métodos utilizados para el diagnóstico de vaginosis bacteriana en el Hospital Regional ISSSTE Puebla

Evaluation of methods used for the diagnosis of bacterial vaginosis in the Hospital Regional ISSSTE Puebla

Guadalupe Jiménez-Flores¹, Jesús Flores-Tlalpa¹, Alejandro César Ruiz-Tagle², Claudy Lorena Villagrán-Padilla^{2*}

RESUMEN

La vaginosis bacteriana (VB) es una alteración frecuente de la microbiota vaginal en mujeres en edad reproductiva. El diagnóstico puede ser efectuado aplicando criterios clínicos o por la evaluación de los morfotipos bacterianos presentes en la tinción de Gram realizada a la secreción vaginal o mediante procedimientos microbiológicos, los cuales se desarrollaron como una alternativa al diagnóstico clínico, reemplazándolo paulatinamente. El objetivo del presente trabajo fue determinar la efectividad de los métodos de Amsel e Ison-Hay, para el diagnóstico de vaginosis bacteriana, empleando el método de Nugent como estándar. En este estudio se analizaron 305 muestras de secreción vaginal de pacientes del Hospital Regional ISSSTE Puebla. Las muestras se procesaron y analizaron para el diagnóstico de VB, siguiendo las recomendaciones de los métodos de Amsel, Nugent e Ison-Hay. El análisis de los resultados indicó un 12.8 % por Nugent, 31.1 % de VB por el método de Amsel y 36.7 % por Ison-Hay; sugiriendo que ambas técnicas muestran una alta tasa de falsos positivos. La sensibilidad para el método de Amsel e Ison-Hay fue de 97.44 %, la especificidad fue de 78.57 % y 72.18 % para Amsel e Ison-Hay, respectivamente. En conclusión, dado a los resultados obtenidos y a las mínimas diferencias entre los métodos analizados, se recomienda realizar los criterios de Amsel, seguidos de la observación de la tinción de Gram del flujo vaginal para la valoración de la microbiota por el método de Ison-Hay, para tener un mejor diagnóstico de VB, cuando no se emplea el método de Nugent.

PALABRAS CLAVE: vaginosis bacteriana, especificidad, sensibilidad.

ABSTRACT

Bacterial vaginosis (BV) is a frequent alteration of the vaginal microbiota in women of reproductive age. The diagnosis can be made by applying clinical criteria or by the evaluation of bacterial morphotypes present in Gram stain performed to vaginal secretion or by microbiological procedures, which were developed as an alternative to clinical diagnosis, gradually replacing it. The objective of this work was to determine the effectiveness of the Amsel and Ison-Hay methods, used for the diagnosis of bacterial vaginosis using the Nugent method as a standard. In this study, 305 samples of vaginal discharge from patients of the ISSSTE Puebla Regional Hospital were analyzed. The samples were processed and analyzed for the diagnosis of BV following the recommendations of the Amsel, Nugent and Ison-Hay methods. The analysis of the results indicated 12.8 % by Nugent, 31.1 % of BV by the Amsel method and 36.7 % by Ison-Hay; suggesting that both techniques show a high rate of false positives. The sensitivity for the Amsel and Ison-Hay method was 97.44 %, the specificity was 78.57 % and 72.18 % for Amsel and Ison-Hay, respectively. In conclusion, given the results obtained and the minimal differences between the analyzed methods, it is recommended to perform the Amsel criteria, followed by the observation of Gram staining of the vaginal flow for the assessment of the microbiota by the Ison-Hay method, to have a better diagnosis of BV, when the Nugent method is not used.

KEYWORDS: bacterial vaginosis, sensitivity, specificity.

*Correspondencia: claudy.villagran@correo.buap.mx/ Fecha de recepción: 13 de mayo de 2019/ Fecha de aceptación: 26 de septiembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) Puebla, Puebla, México. ²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, Ciudad Universitaria, edificio FCQ9, 14 sur y avenida San Claudio s/n, Puebla, Puebla, México, C. P. 72000.

INTRODUCCIÓN

La vaginosis bacteriana (VB) se define como una alteración de la microbiota vaginal, en la cual hay disminución de los lactobacilos, aumento de las bacterias anaerobias obligadas, y presencia de microorganismos como *Gardnerella vaginalis*, *Mobiluncus* sp o *Mycoplasma*. Esta infección se caracteriza por la ausencia de síntomas inflamatorios y por un aumento en la secreción vaginal, generalmente de color blanco grisáceo y mal olor (Mejía-Pérez y col., 2015). Además de la microbiota común, los métodos de biología molecular han permitido identificar microbiota específica, como los géneros *Alloscardovia*, *Bifidobacterium*, o *Dialister* (van-Den-Munckhof y col., 2019). Es la causa más común de problemas vaginales, constituyendo un tercio de las infecciones vulvovaginales (López y col., 2016), y se presenta con mayor frecuencia en mujeres entre 15 a 44 años (Morales, 2015). La infección asintomática es la forma más común, en la literatura mundial se reporta con una frecuencia entre 11 % y 48 % (Cardona-Arias y col., 2015). En los Estados Unidos de América (E.U.A.), un estudio con 21 millones de pacientes con infección vaginal registró un 29.2 % de prevalencia de VB asintomática, y solamente el 15.7 % presentó sintomatología (García, 2007). La prevalencia de VB es mayor en países subdesarrollados, y es frecuente en estudios con sexoservidoras y en clínicas de infecciones de transmisión sexual (ITS) (Martínez, 2013). A pesar de que se considera una infección de tipo universal, su prevalencia en E.U.A. en mujeres afroamericanas es mayor (De-la-Calle y De-la-Calle, 2009). Los factores de riesgo relacionados con la VB son polémicos e incluyen un nivel socioeconómico y/o de instrucción bajo, aumento en la frecuencia de coitos, múltiples parejas sexuales e infecciones vaginales previas (García, 2007; López y col., 2016). Por otro lado, algunos factores que reducen el riesgo de padecer VB son el uso del preservativo, la ingesta de calcio y vitamina A y la anticoncepción hormonal (García, 2007). Además, se considera que la prevalencia de VB es alta, en parte debido a la falta de sin-

tomatología y a la baja especificidad de los métodos de diagnóstico (Cancelo y col., 2012).

El diagnóstico de VB es un tema muy discutido. La principal razón es la existencia de diferentes metodologías diagnósticas. Algunas consideran exclusivamente el examen clínico, y dado el elevado porcentaje de pacientes asintomáticas se genera cierta inexactitud. La prevalencia de VB puede variar según la técnica diagnóstica empleada (Arnold y col., 2014).

Históricamente, Amsel fue el primero en proponer un método diagnóstico para la VB, el cual, considera la observación de parámetros clínicos, y requiere la demostración de tres de los cuatro criterios: 1. Flujo blanco-grisáceo, homogéneo, delgado y pegado a las paredes vaginales, 2. Presencia de células clave, 3. pH mayor a 4 y 4.5. Liberación de aminas volátiles (olor “a pescado”), producido al mezclar la secreción vaginal con hidróxido de potasio al 10 % (Adu-Sarkodie e Ison, 2014). Los criterios de Amsel son más subjetivos que la información aportada por la tinción de Gram, e infecciones como la tricomoniasis pueden compartir algunas de esas características (Romero y Andreu, 2016). El método de Nugent consiste en la evaluación de los morfotipos bacterianos presentes en la secreción vaginal después de una tinción de Gram. Durante la VB se puede observar una disminución de bacilos rectos Gram positivos compatibles con *Lactobacillus*, aumento de cocos y bacilos Gram variables, compatibles con *Gardnerella*, y de bacilos Gram negativos curvados (*Mobiluncus*), así como también células clave (células del epitelio vaginal con cocobacilos adheridos) y ausencia de leucocitos (Romero y Andreu, 2016).

La metodología desarrollada por Nugent y col. (1991), consiste en asignar un puntaje que va del 0 al 10 en la escala de evaluación de la microbiota vaginal; esta escala cuantifica los siguientes morfotipos bacterianos: bacilos rectos Gram positivos (*Lactobacillus* sp), bacilos pequeños Gram negativos (*Gardnerella vaginalis*) y bacilos Gram negativos curvos (*Mo-*

biluncus sp). En la técnica de Nugent se realiza un extendido del exudado vaginal teñido por el método de Gram y se observa al microscopio (100 X), y con base en el número de elementos de cada morfotipo por campo se asigna un valor de 0 a 4. El detalle de la interpretación se muestra en la Tabla 1 (Adu-Sarkodie e Ison, 2014). Para la interpretación, se considera la puntuación total asignada, y si el valor es de 7 a 10 puntos se interpreta como sugestivo de VB, de 4 a 6 puntos se considera microbiota intermedia y de 0 a 3 se considera normal (Morales, 2015). En muchos países, es el método más aceptado para el diagnóstico de VB. Se le considera la prueba de oro, y en diversos estudios realizados se observa que presenta mayor sensibilidad y especificidad que los criterios de Amsel (Arnold y col., 2014). Entre sus ventajas, se encuentra que, al agregar la categoría de microbiota intermedia pierde la dicotomía frente al método de Amsel, y que toma en cuenta la microbiota vaginal y no las características clínicas de la paciente (Martínez, 2013). Tiene como desventajas no considerar otras especies bacterianas que pueden ser causantes de VB y que no pueden ser discriminadas por la tinción de Gram, además de que aún no se establece cuál es la importancia de las puntuaciones intermedias (Romero y Andreu, 2016), y con frecuencia se argumenta que el cálculo de la puntua-

ción es un poco complejo (García, 2007). La aplicación de los criterios de Nugent en el diagnóstico de VB es efectiva en mujeres en edad fértil, en el periodo entre la menarquia y la menopausia. En la mujer prepuberal o menopáusica, es normal la disminución de lactobacilos, y en particular, para la mujer menopáusica no hay aumento de la microbiota anaeróbica (Martín y col., 2008).

Otro método cualitativo para el diagnóstico de VB es el desarrollado por Ison y Hay en 2002. Al igual que el método de Nugent, utiliza la observación microscópica de la tinción de Gram, sin embargo, no realiza un conteo exacto de los morfotipos, sino la proporción relativa de los diferentes morfotipos compatibles con lactobacilos y los compatibles con VB. Ison-Hay los clasifica en 5 grados: 0 grados: ausencia de bacterias y presencia de células epiteliales; grado I (microbiota normal): solo morfotipos de lactobacilos; grado II (Microbiota intermedia): mezcla de morfotipos bacterianos y disminución de lactobacilos; grado III (VB): ausencia o escaso número de lactobacilos, con microbiota bacteriana mixta; y grado IV: presencia de células epiteliales recubiertas solamente con cocos Gram positivos (Adu-Sarkodie e Ison, 2014). El grado 0 se observa en aquellas mujeres que han tenido un tratamiento antibiótico intravaginal y el IV se encuentra en mu-

■ **Tabla 1. Criterios de Nugent para la evaluación de la microbiota vaginal.**

Table 1. Nugent criteria for the evaluation of the vaginal microbiota.

Puntaje	Morfotipos observados por campo		
	Bacilos rectos Gram positivos (<i>Lactobacillus</i> sp)	Bacilos curvos Gram variables (<i>Mobiluncus</i> sp)	Cocobacilos Gram variables (<i>Gardnerella vaginalis</i> / <i>Bacteroides</i>)
0	> 30	0	0
1	5 a 30	1 a 4	< 1
2	1 a 4	> 5	1 a 4
3	< 1		5 a 30
4	0		> 30

Ponderación: Un puntaje de 0 a 3 corresponde a una microbiota normal, de 4 a 6 intermedia, y de 7 a 10 corresponde a vaginosis bacteriana.

Fuente: Adu-Sarkodie e Ison (2014).

jeres que están colonizadas por cocos Gram positivos como estreptococos y lactobacilos en número reducido (Adu-Sarkodie e Ison, 2014). Tiene entre sus ventajas analizar la proporción de las especies bacterianas, tanto de los lactobacilos como de las especies implicadas en la VB, es menos complicado, y realiza una clasificación precisa de la microbiota, que permite la exclusión de aquellas pacientes que no están cursando con VB (Martínez, 2013). En la actualidad se dispone de pruebas moleculares para el diagnóstico de VB. Aunque su costo es relativamente elevado, resultan rápidas, reproducibles y con una alta especificidad para identificar bacterias como *Gardnerella* (García-Agudo y col., 2013; Romero-Morelos y col., 2019). Sin embargo, el diagnóstico microbiológico, basado en el examen microscópico de la secreción vaginal, ha demostrado ser un método confiable, rápido y con una buena reproducibilidad y con una mejor relación costo-beneficio (Santos y col., 2017).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de los métodos de Amsel e Ison-Hay para el diagnóstico de vaginosis bacteriana, empleando como método de referencia el sistema de Nugent.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de la población

Se trabajó con 1 500 mujeres que acudieron a consulta ginecológica al Hospital Regional del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) Puebla, de México, durante los meses de enero a diciembre 2017. Se tenía una prevalencia esperada de 25 % de VB, por lo que se requirió de un tamaño de muestra $n = 300$. Se tomaron 305 muestras de pacientes aleatorias, que cumplieran con los requisitos previos al estudio, como consentimiento informado, orden médica con diagnóstico presuntivo de vaginosis, y quienes al agendar su cita, fueron instruidas para presentarse a la toma de muestra sin realizarse duchas vaginales, espumas o tratamientos vaginales, abstinencia sexual de 48 h, no estar en periodo

de menstruación, y sin tratamiento con antibióticos 72 h antes del estudio.

El protocolo de investigación fue revisado y autorizado por los Comités de Investigación y Ética en Investigación del Hospital Regional ISSSTE Puebla (número de registro 094. 2019).

Instrucciones

Antes de la toma de muestra, se les realizó una encuesta a las 305 mujeres, la cual fue diseñada y aprobada para este proyecto, con el propósito de reunir información sobre la sintomatología que presentaba la paciente, así como estado civil, inicio de la actividad sexual, uso de preservativo, uso de duchas vaginales, embarazos y nivel académico. Se les indicó en qué consistía la toma de muestra vaginal, y se siguió con el protocolo correspondiente a dicha toma. Para obtener la muestra del exudado vaginal, se introdujo el espejo vaginal, se deslizaron 3 hisopos sobre las secreciones en el fondo posterior de la vagina, y se observó el aspecto y color de la secreción vaginal. Durante el periodo enero a diciembre de 2017, se analizaron las 305 muestras de secreción vaginal.

Determinación de pH

La determinación del pH se realizó inoculando una tira de papel pH con la secreción vaginal por medio de un hisopo. Para la prueba de aminas se hizo un extendido en una laminilla con el hisopo en solución salina isotónica (SSI) y se mezcló con unas gotas de hidróxido de potasio (KOH) al 10 %, después, se verificó la producción del olor característico reconocible por los analistas.

Células clave

Para la búsqueda de células clave de acuerdo con los criterios de Amsel, se mezcló una gota de secreción vaginal y SSI en un portaobjetos, y se examinó “en fresco” al microscopio (Carl Zeiss®, Primo Star, Gottingen, Alemania) con el objetivo de 40X.

Tinción

Para el examen microscópico, se hizo un exten-

dido en portaobjetos con el hisopo, se secó al aire y se fijó con calor emitido por mechero. Posteriormente, se tiñó siguiendo la técnica de tinción de Gram, y se observó al microscopio con el objetivo de inmersión (100X). Por último, se cuantificó cada morfotipo bacteriano de acuerdo con los criterios de Nugent e Ison-Hay.

Análisis de las pruebas diagnósticas

Para la determinación de los parámetros que describen una prueba diagnóstica: sensibilidad, especificidad y valores predictivos, se construyeron tablas de contingencia, considerando el resultado del diagnóstico (positivo o negativo de los métodos de Amsel e Ison-Hay) y las pruebas diagnósticas, precisando como estándar de oro la prueba de Nugent. Se calcularon con base en las fórmulas (Bravo-Grau y Cruz, 2015), y de acuerdo con el tamaño de la muestra. Se consideró un inter-

valo de confianza de 95 % y un error de 5 %. Los estudios clínicos se realizaron en el laboratorio; la obtención de la muestra de exudado vaginal, y su análisis, se llevó a cabo por el personal químico del laboratorio de microbiología.

RESULTADOS

El análisis clínico y microscópico de las muestras de secreción vaginal mostró la diversa microbiota vaginal, y con base en los diferentes criterios se identificaron como microbiota normal 210 muestras (68.9 %) según el método de Amsel, 181 (59.3 %) por Nugent, y 117 (38.4 %) por Ison-Hay (Tabla 2). El número de muestras determinadas como VB por Amsel, fue de 95 (31.1 %), por Nugent de 39 (12.8 %) e Ison-Hay de 112 (36.7 %) (Tablas 3a y 3b). La microbiota intermedia, considerada por Nugent e Ison-Hay fue 85 (27.9 %) y 18 (5.95 %) (Tabla 2), respectivamente. Con ba-

■ **Tabla 2. Clasificación de la microbiota vaginal por los criterios de Amsel, Nugent e Ison-Hay.**
Table 2. Classification of the vaginal microbiota by the Amsel, Nugent and Ison-Hay criteria.

Método	Número de muestras clasificadas en cada categoría
Nugent	
Microbiota normal	181 (59.3 %)
Microbiota intermedia	85 (27.9 %)
Vaginosis bacteriana	39 (12.8 %)
Total	305
Amsel	
Microbiota normal	210 (68.9 %)
Vaginosis bacteriana	95 (31.1 %)
Total	305
Ison-Hay	
Grado I. Microbiota normal	117 (38.4 %)
Grado II. Microbiota intermedia	18 (5.9 %)
Grado III. Vaginosis bacteriana	112 (36.7 %)
Grado IV. Microbiota compuesta por cocos Gram positivos	21 (6.9 %)
Grado 0. Presencia de células, ausencia de bacterias	37 (12.1 %)
Total	305

■ Tabla 3a. Tabla de contingencia considerando el resultado diagnóstico por el método de Amsel tomando el método de Nugent como referencia.

Table 3a. Contingency table considering the diagnostic result by the Amsel method taking the Nugent method as a reference.

		Nugent criterio de referencia		
		Positivo	Negativo	Total
Resultado método de Amsel	Positivo	38	57	95
	Negativo	1	209	210
	Total	39	266	305

■ Tabla 3b. Tabla de contingencia considerando el resultado diagnóstico por el método de Ison-Hay tomando el método de Nugent como referencia.

Table 3b. Contingency table considering the diagnostic result by the Ison-Hay method taking the Nugent method as a reference.

		Nugent criterio de referencia		
		Positivo	Negativo	Total
Resultado método de Ison-Hay	Positivo	38	74	112
	Negativo	1	192	193
	Total	39	266	305

se en los criterios de Ison-Hay, la microbiota se asignó a 2° más, grado IV (microbiota compuesta por cocos Gram positivos) con 21 muestras (6.9 %) y en grado 0 (presencia de células, ausencia de bacterias) 37 (12.1 %).

El cálculo de la sensibilidad, especificidad, y parámetros tales como el número de pacientes correctamente diagnosticados, valor predictivo positivo y negativo, se muestran en Tabla 4. La comparación de los diferentes parámetros entre los métodos de Amsel e Ison-Hay, tomando en cuenta al método de Nugent como el estándar de oro, muestra que la prevalencia de la infección fue del 12.79 %. La sensibilidad para Amsel e Ison-Hay fue de 97.44 %, la especificidad fue de 78.57 % para Amsel y de 72.18 % para Ison-Hay. La exactitud del método (Bravo-Grau y Cruz, 2015) para detectar pacientes con VB fue de 80.98 % y 75.41 % para Amsel e Ison-Hay, respectivamente. El valor predictivo positivo para Amsel fue de 40 % y para Ison-Hay de 33.93 %, mientras que el valor predictivo negativo fue de 99.52 % para Amsel y de 99.48 %

para Ison-Hay. A partir de la información proporcionada por las pacientes, se observó que los síntomas mostrados con mayor frecuencia en las pacientes diagnosticadas con VB fueron dolor en el bajo vientre (56 %), prurito (41 %), y ardor vulvar (33 %) (Tabla 5).

La VB fue diagnosticada principalmente en pacientes de 15 a 44 años (74 %). No fue observada en pacientes menores de 15 años (Tabla 6). En cuanto al nivel de estudios, las encuestadas con VB contaban con estudios de nivel medio superior (46 %) y de licenciatura (44 %). En cuanto a la actividad sexual, una gran parte (59 %) de las 39 pacientes, manifestó una actividad sexual de 6 a 20 años, y otra parte indicó tenerla de más de 20 años (33 %) (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Desde las primeras descripciones de la VB, el diagnóstico de esta enfermedad ha sido controvertido, Amsel propone un método diagnóstico basado en criterios clínicos. Este método ha sido muy utilizado debido a su fácil reali-

■ Tabla 4. Análisis de la sensibilidad y especificidad de los métodos de Amsel e Ison-Hay para el diagnóstico de vaginosis bacteriana.

Table 4. Analysis of the sensitivity and specificity of the Amsel and Ison-Hay methods for the diagnosis of bacterial vaginosis.

	Amsel	Ison-Hay
Variable	% (IC _{95%} *)	% (IC _{95%})
Prevalencia de la enfermedad	12.79 (9.35 a 17.18)	12.79 (9.35 a 17.18)
Pacientes correctamente diagnosticados	80.98 (76.03 a 85.14)	75.41 (70.11 a 80.06)
Sensibilidad	97.44 (84.92 a 99.87)	97.44 (84.92 a 99.87)
Especificidad	78.57 (73.05 a 83.25)	72.18 (66.31 a 77.40)
Valor predictivo positivo	40.00 (30.24 a 50.58)	33.93 (25.42 a 43.56)
Valor predictivo negativo	99.52 (96.97 a 99.98)	99.48 (96.70 a 99.97)
Cociente de probabilidad positivo	4.55 (3.59 a 5.76)	3.50 (2.87 a 4.28)
Cociente de probabilidad negativo	0.03 (0.00 a 0.23)	0.04 (0.01 a 0.25)

*IC_{95%} Intervalo de confianza de 95 %.

■ Tabla 5. Principales síntomas mostrados por las pacientes con vaginosis bacteriana.

Table 5. Main symptoms shown by patients with bacterial vaginosis.

Síntomas	n= 39 (%)
Dolor bajo vientre	22 (56)
Prurito	16 (41)
Ardor vulvar	13 (33)
Dispareunia	11 (28)
Disuria	9 (23)

■ Tabla 6. Características demográficas de las pacientes diagnosticadas con vaginosis bacteriana.

Table 6. Demographic characteristics of patients diagnosed with bacterial vaginosis.

Característica	n = 39 (%)	n total = 305 (%)	Tasa
Edad			
< 15 años	0	10 (3 %)	0
15 a 44 años	29 (74)	158 (52 %)	18.3
> 44 años	10 (26)	137 (45 %)	7.2
Nivel académico			
Analfabeta	0	3 (1 %)	0
Primaria	3 (8)	27 (9 %)	11.1
Secundaria	1 (2)	17 (5 %)	5.8
Medio superior	18 (46)	75 (25 %)	24.0
Licenciatura o equivalente	17 (44)	183 (60 %)	9.2
Años de actividad sexual			
< 1 año	0	13 (4 %)	0
1 a 5 años	3 (8)	11 (3 %)	27.2
6 a 20 años	23 (59)	146 (48 %)	15.7
> 20 años	13 (33)	135 (45 %)	9.6

zación, sin embargo, algunos de sus criterios como el flujo vaginal abundante puede ser causado por *Candida* spp y la prueba de aminas positiva por microorganismos como *Trichomonas vaginalis*, ambos causantes de vaginitis (Arnold y col., 2014). Por su parte, Nugent propone un método en el que se cuantifican los morfotipos bacterianos involucrados en la infección; la puntuación obtenida lo asigna a una categoría que establece si la microbiota presente es normal, intermedia o característica de una VB. Aunque este método desde su validación se ha colocado como el estándar de oro para el diagnóstico de VB (Santos y col., 2017), requiere del recuento de diferentes tipos de bacterias, lo que lo hace más lento para un laboratorio clínico, y requiere de personal mejor calificado para su implementación (Keane y col., 2005). En la actualidad, el método de Ison-Hay es de los más utilizados, dada a su sencillez y menor tiempo de realización. Este método incluye 2 grados más que el de Nugent, grado IV, que es un microbiota compuesta por cocos Gram positivos, y 0 grados, en el que hay presencia de células epiteliales y ausencia de bacterias. Los grados añadidos permiten una mejor discriminación de la microbiota vaginal (Martínez y col., 2011).

A partir de los resultados, se observa que el método de Ison-Hay diagnosticó a un mayor número de pacientes con VB (112), que el método de Amsel (95) y Nugent (39), sin embargo, este método podría estar sobrevalorando el número de pacientes que realmente poseen este padecimiento, lo que se corrobora con un mayor número de diagnósticos falsos positivos (74), mientras que por Amsel se observaron 57, por lo que en este método se reportó un mayor porcentaje de exactitud del diagnóstico, un 5.57 % más que el de Ison-Hay; así como una especificidad de 6.39 %, sobre el método de Ison-Hay. En cuanto al valor predictivo negativo, se observaron valores muy altos para ambos métodos, 99.52 % para Amsel y 99.48 % para Ison-Hay. El porcentaje de pacientes que efectivamente no presentaron VB se incluyeron entre

todos los que dieron un resultado negativo, lo que puede deberse a la baja prevalencia de la enfermedad (12.79 %), en contraste, el valor predictivo positivo fue mucho mayor, 40 % para Amsel y 33.93 % por Ison-Hay.

La capacidad del sistema de puntuación de Nugent para el diagnóstico de la VB ha sido evaluada por diferentes autores (Rodríguez y col., 2014; Santos y col., 2017). Tafner y col. (2015) detectaron una prevalencia del 43 % en un grupo de adolescentes embarazadas, y López y col. (2016) determinaron en un estudio realizado con 6 322 mujeres en 20 ciudades del Perú una prevalencia del 23.7 %, ambas mayores que los resultados de este trabajo.

En un estudio de Rodríguez y col. (2014), consideraron el método de Nugent como la prueba de oro para el diagnóstico de la VB, ya que supera en sensibilidad y especificidad a la metodología basada en los criterios clínicos de Amsel. Sin embargo, aún no se adopta de manera universal en todos los laboratorios diagnósticos.

En una investigación sobre los métodos empleados para el diagnóstico de VB, por Keane y col. (2005), en clínicas de medicina genitourinaria del Reino Unido, reportaron que de 99 clínicas, 24 usaron el método de Nugent, 8 el de Spiegel, 33 el procedimiento de Ison-Hay y 34 un procedimiento diferente (Martínez y col., 2011). Los autores recomiendan al método de Ison-Hay con la finalidad de adoptar un método universal, pero sin avalar de forma científica la superioridad de alguno de los procedimientos (Keane y col., 2005; Martínez y col., 2011). Por último, Martínez y col. (2011), realizaron una comparación de los criterios de Nugent y Spiegel para el diagnóstico de VB, y aplicaron el método de Ison-Hay para los resultados discordantes, y concluyeron que los sistemas propuestos por Spiegel, Nugent e Ison-Hay son comparables para realizar un diagnóstico de VB.

En este trabajo, se confirmó que la infección se manifiesta frecuentemente de manera asinto-

mática, el 31 % de la población diagnosticada con VB no refirió ninguna sintomatología. Por su parte, la literatura mundial reporta el 48 % de infecciones asintomáticas (Cardona-Arias y col, 2015). Las pacientes que presentaron sintomatología describieron principalmente dolor en el bajo vientre (56 %) y prurito (41 %).

Del análisis demográfico, se observó que el grupo etario donde la infección fue más frecuente es en el rango de edad que corresponde a la etapa fértil de la mujer (74 %), un porcentaje mayor al determinado para el total de 305 pacientes analizadas para este grupo (52 %). García (2007) reportaron un resultado semejante, sin embargo, la prevalencia de VB en mujeres en edad reproductiva varía dependiendo de las características demográficas y culturales del país (García, 2007). Por otro lado, la tasa de mujeres con VB en la etapa fértil fue de 18.3 %, más alta que la de mujeres > 44 años (7.2 %), lo que podría deberse a una mayor actividad sexual, ya que dentro de este grupo hay mujeres más jóvenes, que inician su vida sexual.

Dentro de los factores que predisponen a la población a presentar VB, se mencionan el tener un estado socioeconómico o de instrucción bajo (García, 2007), múltiples parejas sexuales, así como el inicio temprano de la vida sexual (López y col., 2016). En el presente estudio, las mujeres diagnosticadas con VB declararon cursar estudios de educación media superior (46 %) y licenciatura o equivalente (44 %), mientras que en la población total estudiada, se registró un porcentaje menor en nivel medio superior (25 %), y mayor en nivel licenciatura (60 %).

No se observó una relación entre la prevalencia de VB y un nivel instruccional bajo. Sin embargo, la tasa de mujeres con VB con nivel medio superior (24 %), fue mayor que la tasa de mujeres con nivel de licenciatura (9.2 %), lo que podría deberse a que las primeras tienen menos experiencia en el cuidado de su salud, ya que en esta etapa escolar, se supone que la mayoría de ellas de-

bieran ser más jóvenes que las mujeres de licenciatura. Cabe mencionar que el lugar en donde se realizó este estudio atiende a derechohabientes trabajadoras del estado mexicano, por lo que estas poseen mayoritariamente estudios de licenciatura o equivalente. En cuanto a la actividad sexual, los resultados de este trabajo coinciden con la información que señala la literatura, al considerar como un factor predisponente la frecuencia de actividad sexual, y el número de parejas sexuales (López y col., 2016), el cual no fue considerado en este trabajo. En cuanto a la actividad sexual de las mujeres, la tasa de 1 a 5 años (27.2 %) fue mucho mayor a la tasa de 6 a 20 años (15.7 %) y > de 20 años (9.6 %), lo que podría asociarse a que las mujeres que tienen menos años de actividad sexual, son mujeres mayores de 15 años, en etapa de preparatoria, que inician su vida sexual, por lo que, como ya se mencionó tienen menos experiencia en el cuidado de su salud y posiblemente tengan una mayor actividad sexual, que las mujeres de más edad. Dado a los resultados obtenidos y a las mínimas diferencias entre los métodos comparados, para obtener un mejor diagnóstico de VB, se recomienda realizar los criterios clínicos de Amsel, seguidos de la observación microscópica de la tinción de Gram del flujo vaginal para la valoración de la microbiota por el método de Ison-Hay. No se descarta la creación de un nuevo método que combine los puntos más importantes de cada método para el diagnóstico de VB.

CONCLUSIONES

De los 3 métodos evaluados en este estudio, Ison-Hay es el que clasifica un mayor número de muestras en el grado III, positivo para vaginosis bacteriana (VB), y dada su sensibilidad, posee una capacidad para detectar enfermos, similar al método de Amsel, sin embargo, la especificidad del método de Ison-Hay es menor que la del método de Amsel, por lo que tiene menor capacidad de discriminar a pacientes sin la enfermedad de VB. El método de Amsel posee un porcentaje mayor de pacientes correctamente diagnosticada-

dos, sin embargo, el método de Ison-Hay a través de sus 5 grados proporciona una valo-

ración más amplia de la microbiota vaginal y no se limita al diagnóstico de vaginosis.

REFERENCIAS

- Adu-Sarkodie, Y. e Ison, C. (2014). Vaginosis bacteriana. En M. Unemo (Ed.), *Diagnóstico de laboratorio de las infecciones de transmisión sexual, incluida la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana* (pp. 89-93). Ginebra, Suiza: Publicaciones de la OMS.
- Arnold, M., González, A. y Carbonell, T. (2014). Diagnóstico de vaginosis bacteriana. Aspectos clínicos y estudios microbiológicos. *Revista Médica Electrónica*. 36(3): 325-338.
- Bravo-Grau, S. y Cruz, Q. J. (2015). Estudios de exactitud diagnóstica: Herramientas para su Interpretación. *Revista Chilena de Radiología*. 21(4): 158-164.
- Cancelo, M., Beltrán, D., Calaf, J., Campillo, F., Cano, A., Guerra, J. y Neyro, J. (2012). Protocolo Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia de diagnóstico y tratamiento de las infecciones vulvovaginales. *Progresos de Obstetricia y Ginecología*. 56(5): 278-284.
- Cardona-Arias, J., Valecia-Arredondo, M., Suárez-Henao, J. y Herrera-Posada, D. (2015). Prevalencia de vaginosis bacteriana en usuarios de una institución prestadora de servicios de salud de Medellín Colombia. *Investigaciones Andina*. 17(30): 1151-1165.
- De-la-Calle, I. y De-la-Calle, M. (2009). Vaginosis bacteriana. *Medicina clínica*. 133(20): 789-797.
- García-Agudo, L., De-la-Calle, I. J., Román, E. M., Aznar, M. P. y Rodríguez, I. M. (2013) Diagnóstico de vaginitis-vaginosis mediante hibridación con sondas de ADN. *Ginecología y Obstetricia de México*. 81(4):195-200.
- García, P. (2007). Vaginosis bacteriana. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*. 53(3):167-171.
- Keane, F., Maw, R., Pritchard, C., and Ison, C. A. (2005). Methods employed by genitourinary medicine clinics in the United Kingdom to diagnose bacterial vaginosis. *Sexually transmitted infections*. 81(2): 155-157.
- López, T., Chiappe, M. y Cárcamo, C. (2016). Prevalencia de vaginosis bacteriana y factores asociados en 20 ciudades del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 33(3): 1-7.
- Martín, R., Soberón, N., Vázquez, F. y Suárez, J. E. (2008). La microbiota vaginal: composición, papel protector, patología asociada y perspectivas terapéuticas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 26(3):160-167.
- Martínez, M., Ovalle, A., Gaete, A., Lillo, E., De-La-Fuente, F., Araneda, F., ... y Salinas, H. (2011). Comparación de los criterios de Nugent y Spiegel para el diagnóstico de vaginosis bacteriana y análisis de los resultados discordantes por el método de Ison y Hay. *Revista Médica de Chile*. 139(1): 66-71.
- Martínez, W. (2013). Actualización sobre vaginosis bacteriana. *Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología*. 39(4): 427-441.
- Mejía-Pérez, D., Ángel-Müller, E., Rodríguez-Hernández, A., Ruiz-Parra, A., Tolosa-Ardila, J. y Gaitán-Duarte, H. (2015). Características operativas del diagnóstico clínico con y sin pruebas de consultorio (pH y prueba de aminas) para el diagnóstico de vaginosis bacteriana, en pacientes sintomáticas en Bogotá, Colombia. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*. 66(4): 253-262.
- Morales, P. G. (2015). Aspectos clínicos y diagnóstico de laboratorio de la vaginosis bacteriana. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 14(5): 611-623.
- Nugent, R., Krohn, M., and Hillier, S. (1991). Reliability of Diagnosing Bacterial Vaginosis is Improved by a Standardized Method of Gram Stain Interpretation. *Journal of Clinical Microbiology*. 29(2): 297-301.
- Rodríguez, M., González, A. y Carbonell, T. (2014). Diagnóstico de vaginosis bacteriana. Aspectos clínicos y estudios microbiológicos. *Revista Médica Electrónica*. 36(3): 325-338.
- Romero, D. y Andreu, A. (2016). Vaginosis bacteriana. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*. 34(3):14-18.
- Romero-Morelos, P., Bandala, C., Jiménez-Tenorio, J., Valdespino-Zavala, M., Rodríguez-Esquivel, M., Gama-Ríos, R. A., ..., and López-Romero, R. (2019). Bacterias relacionadas con vaginosis bacteriana y su asociación a la infección por virus del papiloma humano. *Medicina Clínica*. 152(1): 1-5.
- Santos, F. R., Casado, M. P. y Méndez, J. O., Martínez, M. V., Jiménez, A. D y Cordoví, A. L. (2017). Efectividad del sistema de puntuación de Nugent en el diagnóstico de vaginosis bacteriana. *Archivo Médico de Camagüey*. 21(6):729-739.
- Tafner, C., Marconi, C., Garcia, C., Cassamassimo, M., Oliveira, A., Cunha, M., and Guimarães-da-Silva, M. (2015). Bacterial vaginosis in pregnant adolescents: proinflammatory cytokine and bacterial sialidase profile. Cross-sectional study. *São Paulo Medical Journal*. 133(6): 465-470.
- van-Den-Munckhof, E. H., van-Sitter, R. L., Boers, K. E., Lamont, R. F., te-Witt, R., le-Cessie, S., ..., and Leverstein-van-Hall, M. A. (2019). Comparison of Amsel criteria, Nugent score, culture and two CE-IVD marked quantitative real-time PCRs with microbiota analysis for the diagnosis of bacterial vaginosis. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 38(5): 959-966.



Elaborada por: Evelia Reséndiz Balderas

Análisis del discurso y desarrollo de la noción de número en preescolar y el uso de las TIC

Discourse analysis, development of number sense in preschool education and ICT use

Evelia Reséndiz-Balderas

RESUMEN

Los niños desarrollan habilidades matemáticas en situaciones escolares y no escolares desde edades muy tempranas. El objetivo de esta investigación fue analizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en preescolar, donde se encuentra inmersa la noción de número, y por otro lado, el uso de las TIC para el desarrollo de esta noción. La investigación fue de tipo cualitativa y de corte etnográfico, tomando en cuenta el análisis del discurso escolar respecto a la enseñanza de la noción de número. Se tomó como referencia a Piaget y a Vygotsky, debido a que los niños atraviesan diversas y específicas etapas conforme a sus capacidades e intelecto, y los niños aprenden mediante la interacción social. Se identificaron tres principios de enseñanza para favorecer el desarrollo de la noción de número y del conocimiento lógico matemático del niño: la creación de todo tipo de relaciones, la cuantificación de objetos y la interacción social con compañeros y maestras. Con ello, se desarrolla el significado compartido para la noción de número y el uso de la matemática, culturalmente situados en escenarios cotidianos.

PALABRAS CLAVE: educación preescolar, discurso, noción de número.

ABSTRACT

Children develop mathematical skills in school and non-school settings from an early age. The objectives of this study were to analyze: the discourse during teaching-learning processes in which number sense was included and the role of ITC to develop this sense. The research method was a qualitative ethnography where the school discourse employed during the teaching of number sense was analyzed. Piaget and Vygotsky's constructs were used as a theoretical framework since children undergo diverse and specific development stages according to their skills and intellect, and they similarly learn through social interaction. Three teaching principles were identified that favored logical mathematical thinking and number sense: the creation of all types of relationships, the quantification of objects, and social interaction with classmates and teachers. These principles lead to the development of a shared understanding of number sense and the use of mathematics, culturally situated in everyday settings.

KEYWORDS: preschool education, discourse, number sense.

*Correspondencia: erbalderas@docentes.uat.edu.mx / Fecha de recepción: 11 de julio de 2018 / Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2019
Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria de Educación y Humanidades, Centro Universitario Adolfo López Mateos, edificio de Gestión Del Conocimiento, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149.

INTRODUCCIÓN

Las matemáticas tienen como objetivo en los primeros años de escolaridad, desarrollar en los alumnos capacidades que les permitirán desenvolverse adecuadamente en situaciones cotidianas. Esta formación inicial puede llegar a condicionar sus oportunidades laborales e ingreso monetario durante la adultez (Fernández y col., 2016; Siegenthaler y col., 2017). Es importante considerar, que dado que el conocimiento matemático se ha constituido y vive socialmente en ámbitos escolares y no escolares (como el mercado, la industria, los laboratorios científicos y muchos otros espacios), su difusión dentro del sistema de enseñanza le obliga a una serie de modificaciones que afectan directamente su estructura y funcionamiento, a la vez que también se afectan las relaciones establecidas entre los estudiantes y el profesor (Reyes-Gasperini y Cantoral, 2019). Es debido a esta necesidad, que el Programa Sectorial de Educación de acuerdo a la Secretaría de Educación Pública (SEP, 2013b), establece como parte de sus prioridades: “Impulsar la

educación científica y tecnológica como elemento indispensable para la transformación de México en una sociedad del conocimiento” (p. 15). Para lograr el cumplimiento de dicho objetivo, la SEP (2013a), recomendó en el Plan de Estudios 2011 de Preescolar, la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación como una herramienta que contribuya la enseñanza del docente.

Fuenlabrada (2005) mencionó que, uno de los objetivos principales de la SEP, en sus distintos planes de estudio es el desarrollo de la autonomía en los niños sobre su control del aprendizaje. El Programa de Estudios 2011 del nivel Preescolar (SEP, 2013a), se organiza en 6 campos formativos (Tabla 1) que permiten identificar en qué aspectos del desarrollo y del aprendizaje se concentran las actividades escolares en ese periodo.

Para esta investigación, se retomó el campo formativo del pensamiento matemático, que se organiza en dos elementos que guardan

■ **Tabla 1. Campos formativos.**

Table 1. Formative fields.

Campo formativo	Aspectos en que se organizan
Lenguaje y comunicación	• Lenguaje oral • Lenguaje escrito
Pensamiento matemático	• Número • Forma, espacio y medida
Exploración y conocimiento del mundo	• Mundo natural • Cultura y vida social
Desarrollo físico y salud	• Coordinación, fuerza y equilibrio • Promoción de la salud
Desarrollo personal y social	• Identidad personal • Relaciones interpersonales
Expresión y apreciación artística	• Expresión y apreciación musical • Expresión corporal y apreciación de la danza • Expresión y apreciación visual • Expresión dramática y apreciación teatral

Fuente: SEP (2012, p. 40).

relación con la construcción de nociones matemáticas elementales: forma, espacio y medida, y el número (SEP, 2013a). Otro apartado importante es el de las competencias, que influyen en los aprendizajes que se desean impartir, es decir, lo que se espera que cada alumno conozca en términos de saber, saber hacer y saber ser. En el campo formativo del pensamiento matemático existen varias competencias, que se indican en la Tabla 2.

Para los fines de esta investigación se abordó la competencia: “utiliza los números en situaciones variadas que implican poner en práctica los principios del conteo”, perteneciente al apartado de Número. Únicamente se trabajará dicha competencia, ya que el conteo y la utilización de los números son habilidades matemáticas fundamentales para la vida escolar.

Los niños desde edades muy tempranas (3 a 6 años, cuando cursan el nivel preescolar) tienen un acercamiento en su entorno con el número, incluso sin ser conscientes de

ello. Vergnaud (2010), afirmó que, durante la educación básica, la noción matemática de mayor importancia para los estudiantes es la noción de número. Cardoso y Cerecedo (2008), mencionaron que la enseñanza de competencias matemáticas en situaciones escolares posee dos atributos principales. El primero, refiriéndose a la habilidad de utilizar los números en situaciones que les permitan la resolución de problemas de su vida diaria. Mientras que, en el segundo, se enfoca en la capacidad de lograr el entendimiento y la interpretación de conocimientos matemáticos más abstractos y de mayor complejidad. Para Cantoral (2019), el problema educativo no es de la constitución de objetos abstractos, sino el de su significación compartida para el uso culturalmente situado. Por tanto, su objetivo no estará en modificar, reorganizar o reestructurar la enseñanza de conceptos y procedimientos algorítmicos de las matemáticas, con el objetivo de lograr el aprendizaje, sino, en poner en juego un conjunto de prácticas socialmente compartidas en el mundo de experiencias del aprendiz, dentro y fuera

■ **Tabla 2. Pensamiento matemático.**
Table 2. Mathematical thought.

Aspectos en los que se organiza el campo formativo		
Competencias	Número	Forma, espacio y medida
	Utiliza los números en situaciones variadas que implican poner en práctica los principios del conteo.	Construye sistemas de referencia en relación con la ubicación espacial.
	Resuelve problemas en situaciones que le son familiares y que implican agregar, reunir, quitar, igualar, comparar y repetir objetivos.	Identificar regularidades en una secuencia, a partir de criterios de repetición, crecimiento y ordenamiento.
	Reúne información de criterios acordados, representa gráficamente dicha información y la presenta.	Construye objetos y figuras geométricas tomando en cuenta sus características.
		Utiliza unidades no convencionales para resolver problemas que implican medir magnitudes de longitud, capacidad, peso y tiempo, e identidad, para qué sirven algunos instrumentos de medición.

Fuente: SEP (2012, p. 57).

del aula, y a lo largo de todas las actividades de su vida diaria.

Los niños, al contar objetos suelen saltarse unos y seguir contando otros. Esto demuestra que, ellos no sienten la necesidad lógica de ordenar los objetos de una manera estructurada para validar que su proceso es correcto. Los niños, al ingresar al preescolar, presentan dificultades para realizar operaciones de razonamiento. Según Kamii (2003) al mostrarles un número escrito y tener el mismo número de figuras a un lado, ellos sí los relacionan, pero si las figuras son invertidas, cuando su forma cambia o el contexto se altera, la enseñanza puede verse afectada.

Para este trabajo, se utilizaron dos teorías para el análisis de las situaciones de clase. La primera, es la teoría de Piaget (1973), que menciona que los niños atraviesan por distintas etapas conforme a su madurez cognitiva y capacidades, para percibir las relaciones. La segunda teoría sostiene que los niños aprenden mediante la interacción social (Vygotsky, 2000). La interacción con otros contribuye para que los niños sean capaces de apropiarse de formas de pensar y de convivir de una determinada sociedad. Estas teorías ayudan a comprender los procesos cognitivos en los que se encuentran los alumnos del nivel preescolar, también, para entender e interpretar el rol que juega la socialización de los estudiantes con los demás actores educativos y con el contexto que los rodea.

De acuerdo con Vygotsky (1984): “Todas las funciones psicointelectivas superiores aparecen dos veces en el curso del desarrollo del niño”; primero, en la sociedad (actividades intersíquicas); y después, en el plano individual (funciones intrapsíquicas). Señala el autor que, un ejemplo de ello es el lenguaje, que surge “como medio de comunicación entre el niño y las personas que lo rodean”, y luego se transforma en un lenguaje interno, es decir, el pensamiento in-

terno del niño. Vygotsky añadió que, “estas interrelaciones son también el origen de los procesos volitivos del niño”, por ejemplo, el sentido moral, que de acuerdo con Piaget, es favorecido por la cooperación.

Duek (2010) hace un análisis de la Teoría del Desarrollo Cognitivo postulada por Piaget. Dicha teoría está conformada por cuatro etapas (Tabla 3), definidas por un periodo aproximado de tiempo, y con características específicas de desarrollo cognitivo. Para esta investigación, la etapa preoperacional tiene especial importancia, debido a que los estudiantes del nivel preescolar se encuentran precisamente en esta etapa.

Por otro lado, las computadoras se han convertido en una herramienta útil para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, jugando también un rol cultural esencial para la sociedad actual. Investigaciones como las realizadas por Pérez (2014) y Lezcano y col. (2017) validan estas afirmaciones, debido a que comprobaron que la utilización orientada de softwares especializados contribuye significativamente para las clases de matemáticas en todos los niveles educativos, ya que los estudiantes presentaron una mayor motivación, dinamismo y rendimiento en clase. La utilización de software educativo puede ser beneficioso para estudiantes y docentes en la construcción de conocimiento. Por eso, en los últimos años, ha surgido un conjunto de investigaciones cuyo propósito es comprobar las bondades y debilidades de la implementación de las tecnologías en las matemáticas (Fernández y col., 2017).

El objetivo de esta investigación fue analizar, por un lado, los procesos de enseñanza-aprendizaje en preescolar, en los que se encuentra inmersa la noción de número, y por otro lado, el uso de un software para reafirmar lo visto en clase.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un Centro de Desarrollo Infantil (Cendi), ubicado en una zo-

■ **Tabla 3. Teoría del desarrollo cognitivo de Piaget.**
Table 3. Piaget's theory of cognitive development.

Etapa	Edad Aproximada	Características
Sensoriomotora	0 a 2 años	Este periodo ocurre antes del desarrollo del lenguaje, y se caracteriza por una inteligencia práctica, mediante acciones y percepciones concretas. Este es un periodo “de ejercicio de los reflejos y las reacciones del niño o niña que están relacionadas con sus tendencias intuitivas”.
Preoperacional	2 a 7 años	Se consolida el lenguaje, existe un desarrollo del comportamiento social y emocional, y se tiene un aprendizaje basado en la imitación y la asimilación. El juego y la imitación son de suma importancia en esta edad, debido a que “el pensamiento mágico y el egocentrismo estarían muy presentes en esta etapa”.
Operaciones concretas	7 a 12 años	El niño ya puede realizar operaciones concretas, además es capaz de “considerar otros puntos de vista; puede razonar sobre el todo y las partes simultáneamente, puede reproducir una secuencia de eventos y construir series en diferentes direcciones”.
Operaciones formales	12 años-adultez	Se logra un nivel de atracción y resolución de situaciones de mayor complejidad, sin la necesidad de estar frente a los objetos. Los niños y niñas ya han desarrollado “un pensamiento lógico y formal, hipotético-deductivo”.

Fuente: Duek, (2010: pp. 803-804).

na urbana en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. La muestra fue de 23 alumnos, de los cuales, 9 eran niñas y 14 niños. Todos pertenecían al grupo de preescolar 3° “A” y sus edades oscilaban de los 5 a 6 años. Se seleccionaron estos participantes debido a que en este grado los niños estudian la noción de número, y se inician en la competencia que la incluye (utilizan los números en situaciones variadas que implican poner en práctica los principios de conteo).

La investigación fue de tipo cualitativa, de corte etnográfico y toma como referente el análisis del discurso escolar. La etnografía aplicada en educación tiene el objetivo de comprender los significados y sentidos que se encuentran presentes para los actores

educativos de las situaciones escolares. Esta metodología se encuentra dentro de las líneas de investigación cualitativas. En general, tiene la finalidad de concentrarse en el conjunto de hechos que se llevan a cabo durante las prácticas educativas entre docentes y alumnos.

El discurso como comunicación se origina y desarrolla en estrecha relación con el estudio de la interacción didáctica, en la relación docente-alumno-contenido. Esta perspectiva se apoya en la noción de comunicación y en la consideración de que la función primordial del lenguaje es la comunicación humana. Es decir, el lenguaje se concibe como un vehículo de comunicación. Es debido a lo anterior, que el análisis del

discurso matemático escolar es de suma importancia para el entendimiento de la realidad escolar. Sierpinska (1994), estableció una diferencia entre las explicaciones científicas y las didácticas. Las científicas, cuyo objetivo es llegar a unas bases conceptuales del entendimiento; y las didácticas, que se dirigen a unas bases familiares del entendimiento (una imagen o sólo algún conocimiento previo y experiencias), frecuentemente son llamadas así en el ámbito de la enseñanza. Estas se tomarán en cuenta para el estudio. Otra investigación enfocada en la interacción verbal en el aula es la realizada por Bartolini (1998), con un experimento de enseñanza de coordinación de perspectivas espaciales, y discute una metodología de análisis para las transcripciones.

En este trabajo, se consideraron 6 etapas, empleando una metodología similar a la utilizada por Reséndiz (2004): recopilación de datos, elaboración de registros de la observación, el análisis y discusión de los resultados obtenidos, síntesis e interpretación global, integración de los productos de la investigación, y la redacción del informe correspondiente.

Dentro del salón de clases, se observaron y grabaron las sesiones donde se trabajó con la noción de número, las estrategias y materiales que se utilizan para las explicaciones; cuando la maestra lo consideraba pertinente, trasladaba a los niños a un centro de cómputo (2 niños por computadora), donde a través del software *Gateando con el ratón*, realizaban algunas actividades de conteo. Para encontrar la respuesta correcta lo hacían a través del ensayo y error.

En los estudios cualitativos, a diferencia de los cuantitativos, el análisis de datos no tiene vías de salida muy definidas, como la aplicación de un método o de algoritmos de procesamiento a los datos recopilados. Una de las dificultades radica, precisamente, en la determinación de un método. En este apartado se presentan las categorías de análisis

con las que se elaboraron interpretaciones y estudios en direcciones específicas. De los momentos abordados, se decidió atender a las situaciones que se repiten y que permiten inferir algunas reglas de la interacción en el aula, así como recoger y analizar otras de excepción, como también se señala en Candela (1999).

Las categorías de análisis se construyeron mediante la conceptualización del fenómeno y la categorización de su análisis, mediante el acercamiento directo con el espacio escolar (Reséndiz, 2004). Se buscó que coincidieran con los objetivos, campos formativos, y competencias planteados, tanto en los planes y programas de estudio, como en los objetivos del software *Gateando con el ratón*.

El programa lúdico-didáctico *Gateando con el ratón*, recopila materiales didácticos multimedia para el desarrollo de las habilidades matemáticas en la educación preescolar. Este programa fue creado por Rodríguez y Norato (2004), en conjunto con el Centro Estatal de Tecnología Educativa de la Secretaría de Educación de Tamaulipas, quienes intervinieron con bases firmes en el desarrollo de ideas y la conformación de los contenidos digitales del proyecto educativo. En el programa *Gateando con el ratón* se trabaja mediante módulos. En total hay siete módulos que contienen actividades, para que los alumnos puedan aprender mediante el juego (ensayo y error), y estas actividades (Tabla 4) contienen acciones de conteo.

De acuerdo con Hernández y col. (2014: 7-8), la revisión de la literatura “puede complementarse en cualquier etapa del estudio y apoyar desde el planteamiento del problema hasta la elaboración del reporte de resultados [...] En la investigación cualitativa a veces es necesario regresar a etapas previas”. Por ello, las categorías de análisis pueden surgir de los datos mismos (transcripciones), pero también de la revisión teórica. Se complementaron mediante una aproximación inicial a los datos recolectados.

■ **Tabla 4. Actividades del programa: Gateando con el Ratón.**
Table 4. Activities of the program: Crawling with the mouse.

Nombre de la actividad	Objetivo
Conoce (los números)	- La primera actividad muestra los números con los dedos de las manos, con números y figuras. - Los niños a través de la vista empiezan a conocer y a distinguir la cantidad de elementos.
Escucha y asocia (sonidos e ilustraciones)	- En la actividad se debe de unir con una línea los números que muestra el software con la figura de la mano, y si es correcta dice Muy bien o Es Correcto, pero si no es correcta no se dice nada, debido a que en este nivel al niño no se le pueden decir palabras negativas como no. El niño seguirá intentando hasta que pase al siguiente nivel. - En esta actividad, el software ya incluye el sonido, propiciando que además de la motricidad se utilice el oído.
Asocia (ilustraciones)	- Esta actividad muestra animales y los debe relacionar a través de una línea con la figura de la mano, que hace referencia a algún número con los dedos. - Los niños en esta actividad empiezan a razonar y asociar la cantidad de elementos con la cantidad de dedos que tiene la mano.
Relaciona correctamente (ilustraciones)	- Relaciona los dedos de las manos que hacen referencia a números y une con una línea a las fichas de dominó que tengan la misma cantidad de puntos. - Cuando los niños unen las figuras de forma correcta el software emite un sonido de Muy bien o Es correcto, lo que motiva al niño a seguir participando.
Relaciona correctamente (números e ilustraciones)	- Relaciona figuras de las manos haciendo referencia con los dedos a números y con los números que aparecen a un costado. - Aquí, además de ver cuántos dedos tiene la mano, está aprendiendo la simbología del número.
Escucha y asocia (sonidos con ilustraciones)	- Relaciona con una línea lo que dice el software con la figura de animalitos. - Interpreta lo que dice el sonido para posteriormente asociarlo con la cantidad de elementos dentro del círculo.
Relaciona correctamente (ilustraciones)	- Relaciona las figuras de las manos que con los dedos hacen referencia a números, con los recuadros que están divididos. - De esta forma, al niño, se le van cambiando las figuras o elementos para que comprenda que, aunque el diseño cambie, la cantidad sigue siendo la misma.
Arma el rompecabezas	- Es la estrategia de un rompecabezas desordenado, que contiene todas las figuras, haciendo referencia a un número; en todos los casos, figura, mano y dados. - Los niños refuerzan lo que se ha visto a través de las actividades, pero además debe de razonar sobre el orden que llevan las piezas.
Escribe cuántos hay (símbolos con números)	- El escolar debe ver la cantidad de elementos que tienen las manos y escribir el número que señala. - En este nivel ya interpretan la cantidad de elementos con la simbología que representa el número. - El niño debe contar las figuras de los animalitos dentro del círculo y escribir el número que corresponde.
Escucha y escribe	Escucha lo que dice el software y debe escribir el número que corresponda.

Fuente: Rodríguez y Norato (2004).

Las categorías de análisis son:

- El número, valor y la forma de las monedas
- El número, su significado y signo.
- La asociación de los números y la cantidad de billetes
- El valor de las monedas.

Análisis de las estrategias

En este apartado se analizan las estrategias usadas en el aula seleccionada para el estudio, así como el software empleado en el logro de la competencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número, valor y la forma de las monedas (la creación de todo tipo de relaciones y la interacción social)

En la sesión de clase, se pudo ver que la maestra fomentó activamente la participación y que los alumnos relacionaron los números mediante las monedas. También se observó que la maestra, al frente de los niños, reafirmó en el pintarrón lo mencionado por los alumnos; repitió lo que ellos dijeron, para reforzar el contenido de la clase. Se transcribe, a continuación, el extracto de una sesión de clase:

Maestra (M): A ver, existen monedas, ¿de qué cantidad?

Alumno (Ao 5): De un peso

M: De un peso.

Ao 4: De dos pesos.

M: (Las dibuja en el pintarrón.) La de dos pesos es un poco más grande; existen monedas de dos pesos [...] ¿Hay monedas de tres pesos?

Todos (T): Sí, no.

M: No [...] Hay una moneda, ¿de cuánto?

T: De cuatro. De cinco.

M: De cinco.

Ao 4: (Se levanta y le pide el plumón a la maestra; dibuja en el pintarrón). Es una pequeña, así, mira, muy pequeña, que tiene el número diez.

M: Ah, hay una moneda muy pequeñita (hace la forma con la mano), que tiene el nú-

mero diez, pero ahí no son diez pesos, son diez centavos.

¿Existen monedas de cinco pesos? ¿Quién quiere pasar?

T: (Se ponen de pie, levantan la mano). Yo. Yo.

M: (Los tranquiliza). En orden, en orden. Tú ya pasaste, siéntate allá [...] (Ao 6, pasa al pintarrón a dibujar el número 5).

Los fragmentos presentados en este trabajo son tomados de Reséndiz y col. (2014).

La maestra pregunta de qué cantidad existen monedas, para que ellos respondan (es importante señalar que la investigación se realizó en México, la moneda empleada fue el peso mexicano); uno contesta que de un peso, a lo cual la maestra responde con las mismas palabras para reforzar el conocimiento; posteriormente, otro niño afirma de dos pesos y entonces la maestra dibuja las monedas que corresponden a cada número, logrando que mediante su dibujo se destaque el número y la forma. La maestra comienza la secuencia, haciendo una evaluación inicial, preguntando a los alumnos por el tipo de monedas que conocen. La maestra adquiere un papel muy importante, porque es la mediadora entre el contexto en el que se desenvuelven los niños, las herramientas y los estímulos en beneficio del desarrollo de ellos. En la interacción social, se pone en juego un conjunto de prácticas socialmente compartidas (noción de número) en el mundo de experiencias del niño dentro y fuera del aula. Sfard (2002) mencionó que el discurso a enseñar se desarrolla con base en los discursos de los niños, que ya poseen conocimiento: el maestro nunca parte de cero. Es por eso que propone un método comunicacional para la cognición, en el que se estudia un sistema que permite estar en sintonía con las interacciones donde se origina el cambio. La interacción social con compañeros y maestra anima a los niños a intercambiar ideas. Vygotsky (2000) sostenía que lo que los niños pueden hacer en las interacciones sociales, con

el tiempo, pasa a formar parte de sus repertorios independientes.

Después, los niños quieren dibujar en el pintarrón alguna de las monedas, la maestra accede, siempre buscando que todos participen y es aquí cuando surge una nueva interrogante: al hacer 2 monedas que tienen el mismo número, la maestra les señala con sus manos y haciendo la forma manifiesta que sí hay otra moneda de diez, pero que es más pequeña y que se trata de centavos.

Los niños van mencionando cómo son las monedas, las relacionan con su tamaño y destacan que, aunque algunas de las monedas tienen el mismo número, su cantidad es diferente. En esta parte se refuerza el tema de los números y las formas, pasando a los infantes al pintarrón, para que dibujen las monedas y le pongan la cifra que les corresponde, de acuerdo con el tamaño que tienen. De este modo, se le enseña al niño la forma que tienen las monedas y el número.

Piaget (1973) señaló que los infantes, mediante la utilización de palabras e imágenes mentales, aprenden a relacionarse de una manera mucho más compleja con su ambiente. Esto quiere decir que los niños relacionaron las formas y el valor porque ya los conocían; tal vez por ir a la tienda o escuchar hablar del dinero en su vida diaria, entre otras situaciones. Así se logra que el niño relacione las imágenes que tenía en su mente con el tema visto en el aula. La creación de todo tipo de relaciones, anima al niño a estar atento y a establecer todo tipo de relaciones entre toda clase de objetos, acontecimientos y acciones. El niño construye el número a partir de todos los tipos de relaciones que crea entre los objetos. La construcción social del conocimiento, se constituye mediante procesos deliberados para el uso compartido de conocimiento. Se trata de mecanismos constructivos y de carácter social, que producen interacciones, explícitas o implícitas, entre mente, conocimiento y cultura (Cantoral y col., 2014).

El número, su significado y signo (la cuantificación de objetos y la interacción social)

La participación, al igual que la clase, es guiada por la maestra. Los niños, después de conocer las formas en las que se usa el dinero, deben identificar el signo de pesos que lo representa, (\$) en este caso, para que lo asocien a los números y definan, entonces, que van a trabajar con una representación del dinero. Los niños aprenden que el símbolo de pesos es el que le da valor al número. Ellos mismos comentaron que sólo debe leerse o decirse el número, sino que también es bueno mencionar el valor que representa. Así se interpreta en el siguiente extracto:

M: (Se vuelve y escribe en el pintarrón). Rectángulo: los billetes reales son en rectángulo [...] ¿qué tiene este billete?

Ao 2: (Levanta la mano para participar). Una "s" y un palito.

M: (Escribe en el pintarrón y deletrea para los niños). Una "s" y un palito; y ¿eso qué significa?

Ao 7: El signo.

M: El signo, ¿de qué?

Ao 8: De número, para que no nada más diga peso o uno. [...]

M: ¿La moneda también tendrá el signo de pesos?

T: No.

M: Sí, sí, porque estamos hablando de [...] pesos.

Ao 6: Signos.

M: De pesos.

[...]

M: Ahora vamos a ver los billetes. Los billetes tienen forma de una figura geométrica que es un [...]

T: Rectángulo.

M: Rectángulo.

Ao 4: Ése se parece a un robot con ojos de dinero.

M: (Está dibujando en el pintarrón). Mmm [...] le ponemos el signo de pesos porque vamos a manejar pesos [...] ¿Quién conoce los billetes?

La maestra empieza a dibujar rectángulos en el pintarrón para preguntarles a los niños

cómo son los billetes reales, a lo cual uno de ellos responde describiendo el signo y, entonces, otro de sus compañeros señala que a ese símbolo se le denomina signo de pesos y sirve para que un número adquiriera un valor.

Se cuestiona a los alumnos si las monedas tendrán este signo y todo el grupo responde que no; entonces la maestra los corrige diciéndoles que también las monedas lo tienen, debido a que tienen un valor y por eso deben tener el signo de pesos. En esta actividad la maestra buscó desarrollar el aprendizaje esperado, porque “utiliza objetos, símbolos propios y números para representar cantidades, con diferentes propósitos y en diversas situaciones”.

En la anterior transcripción se aprecia que algunos de los estudiantes comentan sus experiencias personales y aprendizajes previos. Es en este sentido, que se debe retomar la afirmación de Vygotsky (2000: 192), respecto de la relación desarrollo/aprendizaje: “el aprendizaje del niño comienza mucho antes del aprendizaje escolar. El aprendizaje escolar jamás parte de cero. Todo aprendizaje del niño tiene una prehistoria. Bartolini (1998) añade que el nuevo conocimiento matemático (individual o compartido) que se construye en el aula se da por medio de las interacciones y conversaciones entre profesores y alumnos. Dicho autora menciona que el doble movimiento, entre el sentido personal de un concepto y el significado matemático compartido, resulta crucial para que el aprendizaje se lleve a cabo; el papel del maestro y los estudiantes determina su surgimiento. La interacción social con compañeros y maestra anima a los niños a intercambiar ideas.

En este apartado, los alumnos identifican que los billetes, las monedas y su número adquieren un valor cuando están acompañados del signo de pesos. Esto comprueba lo dicho por Piaget (1973), que los niños empiezan a entender palabras más complejas en su periodo preoperatorio; esto resalta cuando ellos entienden cómo es y para qué sirve

el dinero. La cuantificación de objetos anima al niño a pensar sobre los números y las cantidades de objetos, cuando tienen significado para él.

La asociación de los números y la cantidad de billetes (la creación de todo tipo de relaciones y la interacción social)

La maestra dibujaba en el pintarrón tres rectángulos, poniéndoles el signo de pesos, esto para que los alumnos pudieran identificar la cantidad de billetes manejados, posteriormente sentaba a los alumnos en el piso, en forma de media luna, para preguntarles cuáles eran los números que tenían los billetes.

A continuación, se mostrará un extracto de clase en donde los alumnos comienzan a relacionar los números para tener cantidades mayores a 2 cifras:

M: Hay billetes, ¿de qué cantidad? (Detiene la clase para tranquilizar a los alumnos).

Ao 3: De un peso.

Ao 4: De mil pesos.

M: (Manda sentar a los niños que andan de pie).

¡Siéntate, siéntate!

Ao 5: De ochocientos pesos.

M: Hay billetes de veinte pesos. ¿Quién sabe escribir el número veinte?

T: Yo. Yo.

M: (Pasa al pintarrón). A ver, Alumna 1 (Aa 1); vamos a dejar a Aa 1. En el de arriba, escribe el número veinte.

Ao 3: Maestra ya sé dónde está la cámara.

M: Ya, guarda silencio.

Ao 4: No alcanza, no alcanza.

M: Bueno en el de abajo; ahí: veinte pesos.

Ao 5: Un veinte, un dos y uno [...]

M: Muy bien. Hay otro billete que es de cincuenta pesos, ¿cómo se escribe el cincuenta?

T: (Levantando la mano para participar). ¡Yo! ¡Yo!

M: A ver, ¿cómo se escribe? [...] a ver Aa 2, Aa 2 no ha pasado. ¿Cómo se escribe el cincuenta? Aa 2: cinco y cero.

M: Un cinco y un cero, muy bien; en el de

arriba, a ver si alcanzas. Un cinco y un cero, muy bien. Hay otro billete de cien pesos.

T: (Hablan a la vez, intentan pararse y levantan la mano). ¡Yo! ¡Yo!

M: No, no, a ver: primero me tienen que decir cómo se escribe el cien. Desde su lugar.

Ao 4: Un uno y un cero, y un cero.

La maestra les pregunta a los alumnos si quieren participar, y permite que de uno en uno pasen al pintarrón a escribir las cantidades a los billetes, con la condición de que antes de pasar, digan cómo se forman. Para que los alumnos entren en confianza, la maestra se sienta en el piso con ellos. La creación de todo tipo de relaciones animan al niño a estar atento y a establecer todo tipo de relaciones entre toda clase de objetos, acontecimientos y acciones. La interacción social con compañeros y maestra, anima al niño a intercambiar ideas con sus compañeros. En este sentido, Cantoral (2016) dice que la sociopistemología considera a las prácticas sociales como la base del conocimiento, en la medida en que son el sustento y la orientación para llevar a cabo una construcción social del conocimiento matemático. Al contextualizar las problemáticas, los educandos tendrán herramientas para poder dar significado a los procedimientos que tienen que seguir. Con la estrategia, la prioridad es rescatar los conocimientos matemáticos del estudiante, identificando sus usos en escenarios de lo cotidiano, donde se rescate el conocimiento de la gente, del que aprende. En este sentido, para Vygotsky (2000) los escenarios sociales crean zonas de desarrollo próximo, que al principio operan no sólo en las interacciones cooperativas, pero, gradualmente, los procesos suscitados se internalizan, se convierten en parte del logro evolutivo independiente del niño.

Una vez que la maestra concluyó la actividad que llevaba por nombre “La tiendita”, acudió con los alumnos al centro de cómputo para realizar actividades que puedan reforzar el ejercicio anterior.

Centro de cómputo

Se trabajan las actividades con el software, los primeros números por vía visual directa, además de escuchar y asociar los sonidos con los dedos, asociar el número de dedos con el número de figuras, relacionar figuras con los dedos, relacionar correctamente números y dedos, asociar la figura con el sonido, armar rompecabezas, imagen para escribir cuántos dedos hay, imagen para escribir cuántos objetos hay (Tabla 4), donde se busca que asocien imágenes de cada número con los instrumentos más usados en la escuela: los dedos de las manos, las regletas y los puntos de los dados.

Esta transcripción, corresponde al arribo de los alumnos al centro de cómputo para iniciar la clase con la maestra:

MC: Van a tomar la actividad de arriba, que dice (1 al 4), y ahí comienzan a trabajar.

Ao 1: ¿Aquí, maestra, aquí?

MC: Sí, ahí. Si tienen alguna duda, levantan su mano para preguntar; acuérdense que los deditos, el dibujo que viene ahí, nos va indicando la cantidad.

Los estudiantes comienzan la manipulación del software usando la estrategia de ensayo y error, esto permite intentarlo las veces que sean necesarias hasta que encuentren con la respuesta correcta, lo ven como un juego. La primera actividad muestra los números con los dedos de las manos, con números y figuras. Los niños a través de la vista empiezan a conocer y a distinguir la cantidad de elementos. Una vez que se obtiene la respuesta se prosigue al siguiente nivel. Con el pasar de las actividades, la mayoría de los niños se fueron familiarizando con el software. Cuando los estudiantes presentaban dificultades para la comprensión de las actividades, eran auxiliados inmediatamente por la maestra del salón de cómputo, para la resolución de sus dudas. Así eran las sesiones en el centro de cómputo, se dejaba a los niños que jugaran contestando mediante ensayo y error, de relacionar, escuchar, escribir, relacionar, asociar, etc.

La maestra colocaba a dos niños por computadora para que se apoyaran. Al respecto, Vygotsky (2000) mencionó que cuando los estudiantes trabajan en equipo, tienen la oportunidad de enriquecer sus aprendizajes por medio del trabajo colaborativo.

Los niños en las sesiones en el centro de cómputo, usan estrategias de conteo, también relacionan formas geométricas con los dedos de las manos, asocian la figura y la motricidad. De la competencia “utiliza los números en situaciones variadas que implican poner en práctica los principios de conteo”, se puede decir que en el centro de cómputo están poniendo en práctica el conteo a través a través de las diferentes actividades. La noción de número se va mostrando a través de diferentes formas, como es la relación, asociación, identificación y correspondencia, conforme van recorriendo las actividades. Es evidente que, en este trabajo, la observación de estos procesos no tuvo el tiempo necesario, para adentrarse en la manera en que cada alumno se aproxima al aprendizaje, pero es relevante considerarla, porque en el futuro será incluida en otra investigación.

El valor de las monedas (la cuantificación de objetos)

Para esta parte de la actividad, la maestra titular pega una cartulina al frente y se sienta en el piso con los niños. Empieza preguntando cómo son las monedas y ellos responden; posteriormente, pasan a la cartulina y dibujan la moneda con el signo de pesos y los números que le corresponden.

Para definir aún más el número, la maestra forma equipos y les pone la actividad de realizar las monedas con hojas de cartulina y plumones. Al hacer el trabajo en equipo, los estudiantes tienen la posibilidad de apoyarse, corregirse y cuestionarse. Vygotsky (1984) argumentó que las actividades compartidas ayudan a los niños a interiorizar las formas de pensamiento y conducta de su sociedad, a apropiarse de ellas. La mediación peda-

gógica adquiere un papel muy importante, ya que habrá de considerar el contexto en el que se desenvuelven los niños, sus características, necesidades de aprendizaje, los propósitos que plantea el programa de estudios, así como las competencias y/o saberes que pretende desarrollar (Reyes y Garza, 2019).

M: Y, a ver: ¿todas las monedas son del mismo tamaño?

T: Maestra, no.

M: ¿Qué figura geométrica tiene la moneda?

T: Pequeñita, chiquita.

M: Pero ¿qué figura geométrica?

Ao 4: (En el aire, traza un círculo con su mano). Circular.

M: Ah, muy bien; bueno, aquí tengo la moneda. Miren: son de diferente tamaño; la más pequeña, ¿cuánto vale?

T: Uno.

M: Uno. Después, ¿sigue [...]?

T: Dos, tres. M: Tres, ¿hay alguna moneda de tres?

T: No.

M: ¿De qué sigue?

Ao 5: Cinco.

M: ¿Y por último [...]?

T: Cinco, diez.

M: (Invita a los niños a participar en la dinámica de dibujar el número de las monedas en el pintarrón). ¿A ver, Ao 9 qué valor tiene esa moneda?

Ao 9: De un peso.

M: De un peso; ahora, vamos a ver la moneda que vale dos pesos. A ver Aa 3, pásale a escribir el número dos en la moneda de dos pesos. ¿Cuál crees tú que sea la de dos? (Aa 3 señala la moneda donde va a escribir el dos). Muy bien, muy bien. ¿Quién me ayuda con la moneda de cinco pesos?

T: ¡Yo! ¡Yo!

M: A ver, Aa 4, pasamos a Aa 4 (Pasa al pintarrón); ayúdame con la moneda de cinco pesos [...] ¿Está correcto ese número?

T: No, no.

M: Hay que modificarlo (Los alumnos intentan corregir).

Ao 1: Yo ya sé.

M: A ver, Ao 1, ahí, a un ladito, volvemos a escribir; está bien, Aa 4, nada más que lo hiciémos al revés. El cinco otra vez. No (Señala a otra moneda más grande). No, en la otra, donde escribió Aa 4, abajo.

Ao 6: (Se acerca a ayudar a su compañero). Mira, aquí Ao 1.

M: Ahí, ándale, ahí; vamos a escribir el valor número cinco.

Ao 6: (Señala y apoya a su compañero). Como este, pero al revés.

M: Ahorita le vamos a tapar el número que está al revés. A ver, quien esté en su lugar es el que me va a ayudar con el valor de la moneda de diez. A ver Aa 5, pásale Aa 5: la moneda más grande, ¿cuánto vale?

T: Diez.

M: Diez pesos; vamos a escribir el número diez, muy bien, Aa 5. La moneda más grande vale diez pesos. A ver, Ao 9, ¿qué billetes hicimos el día de ayer? Ao 1: nos sentamos en nuestro lugar.

En esta actividad, la maestra empieza por describir los diferentes tamaños y formas que tienen las monedas, dejando en claro que las más pequeñas tienen menor valor. Se muestra uno de los aprendizajes: “identifica el orden de los números en forma escrita, en situaciones escolares y familiares”. La profesora refuerza los contenidos que habían adquirido anteriormente haciendo un recorrido por las diversas monedas que existen, logrando que los niños participen en el diseño y su número, para lograr la correspondencia y el valor que tiene cada una con su respectiva cifra.

Otro punto importante es que la actividad, en todo momento fue guiada por la maestra, aunque también les daba cierta libertad, estuvo presente en todo el proceso de aprendizaje. Vygotsky (1984) mencionó que durante el proceso de aprendizaje, los adultos siempre deben dirigir el aprendizaje de los niños, para que este pueda dominar o interiorizar dicho conocimiento. La importancia de que actúen otras personas en el desarrollo del niño se torna particularmente evidente en aque-

llas situaciones en las que el aprendizaje es un resultado claramente deseable de las interacciones sociales. En la escuela, por lo tanto, donde el aprendizaje es el objetivo de un proceso que se propone guiar hacia un determinado tipo de desarrollo, se privilegia la intervención deliberada. La intervención del profesor desempeña, pues, un papel central en la trayectoria de los individuos que pasan por la escuela.

La supervisión de la maestra y la interacción entre estudiantes que fueron observadas en este trabajo, son elementos fundamentales en la construcción y desarrollo de la noción de número. La mediación del docente adquiere un papel muy importante, ya que considera el contexto en el que se desenvuelven los niños, sus necesidades de aprendizaje y los propósitos que plantea el plan de estudios de preescolar, así como las competencias y saberes que pretende desarrollar.

Fuenlabrada (2009) y Hernández y Pérez (2018) coinciden en que las educadoras deben propiciar la confrontación con problemas, debido a que esto es fundamental para el desarrollo de nociones matemáticas. Resolver problemas en situaciones que les son familiares y que implican agregar, reunir, quitar, igualar, comparar y repetir, son algunos de los procesos de enseñanza y aprendizaje identificados, que contribuyen al desarrollo de la noción de número. En este tipo de actividades se permite que los estudiantes formen sus propias conjeturas racionales, mediante la utilización de contenidos que pueden emplear en situaciones de su contexto inmediato (Cardoso y Cerecedo, 2008).

Cabe destacar que las sesiones del aula van más allá de sólo enseñar la utilización de los números; es una actividad más compleja, ya que permite que los infantes sean más críticos porque, además de conocer la representación del dinero, interpretan que el número no tiene valor monetario sin el signo de pesos. La cuantificación de objetos, anima al niño a pensar sobre los números y las cantida-

des de objetos cuando tienen significado para él y la interacción social con compañeros y maestra, también animan al niño a intercambiar ideas con sus compañeros. Los estudiantes al establecer relaciones y comparaciones de todo tipo, ya sean entre objetos, formas, figuras, tendrán la posibilidad de fortalecer y desarrollar su pensamiento lógico-matemático (Kamii, 2003).

CONCLUSIONES

En este trabajo se identificó, que, para favorecer el desarrollo de la noción de número y del conocimiento lógico matemático del niño, se emplean tres principios de enseñanza: la creación de todo tipo de relaciones, donde se anima al niño a estar atento y a establecer todo tipo de asociaciones entre las diferentes clases de objetos, acontecimientos y acciones; la cuantificación de objetos, donde se anima al niño a pensar sobre los números y las cantidades de objetos cuando tienen significado para él; la interacción social con compañeros y maestros, donde se anima al niño a intercambiar ideas con sus compañeros. Las negociaciones en situaciones de con-

flicto son especialmente adecuadas para el desarrollo de nociones matemáticas. Resolver problemas en situaciones que le son familiares y que implican agregar, reunir, quitar, igualar, comparar y repetir, son algunos de los procesos de enseñanza y aprendizaje identificados que contribuyen al desarrollo de la noción de número. Por otro lado, la utilización de software educativo puede ser de gran ayuda en el aprendizaje de las matemáticas, debido a que las actividades representaban un reto para los niños, brindándoles la posibilidad de reforzar y consolidar habilidades de conteo, mediante la utilización de sonidos, movimientos, figuras, haciendo que los estudiantes se sientan motivados. Los principios de enseñanza para el desarrollo de la noción de número en preescolar permite trabajar la significancia compartida para el uso de la matemática culturalmente situada. Con esta estrategia, la prioridad consiste en rescatar los conocimientos matemáticos de los niños, identificando sus usos en escenarios de lo cotidiano donde se rescata el conocimiento de ellos, y se reafirma el de los otros niños.

REFERENCIAS

- Bartolini, M. (1998). Verbal interaction in the mathematics classroom: A Vygotskian análisis. In H. Steinbring, M. G. Bartolini, and A. Sierpiska (Eds.), *Lenguaje and communication in the mathematics classromm*. (pp. 65-84). Reston: NCTM.
- Candela, A. (1999). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. México: Paidós. 34-44 Pp.
- Cantoral, R. (2016). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa. Estudios sobre construcción social del conocimiento*. México: Gedisa. 379 Pp.
- Cantoral, R. (2019). Socio-Epistemology in Mathematics Education. In S. Lerman (Ed.). *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer Nature: Hidelberg, Germany. (pp. 356).
- Cantoral, R., Reyes-Gasperini, D. y Montiel, G. (2014). Socioepistemología, Matemáticas y Realidad. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*. 7(3): 91-116.
- Cardoso, E. y Cerecedo, M. (2008). El desarrollo de las competencias matemáticas en la primera infancia. *Revista Iberoamericana de Educación*. 47(5): 1-11.
- Duek, C. (2010). Infancia, desarrollo y conocimiento: los niños y niñas y su socialización. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, niñez y juventud*. 8(2): 799-808.
- Fernández, A., Molina-Correa, V. y Oliveras, M. (2016). Estudio de una propuesta lúdica para la educación científica y matemática globalizada en infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 13(2): 373-383.
- Fernández, I., Riveros, V. y Montiel, G. (2017). Software educativo y las funciones matemáticas. Una estrategia de apropiación. *Omnia*. 23(1): 9-19.
- Fuenlabrada, I. (2005). ¿Cómo desarrollar el pensamiento matemático en los niños de preescolar? La importancia de la presentación de una actividad. *Curso de Formación y Actualización Profesio-*

nal para el Personal Docente de Educación Preescolar. México. *SEP-Subsecretaría de Educación Básica, Dirección General de Desarrollo Curricular*. 1: 279-296.

Fuenlabrada, I. (2009). *¿Hasta el 100? ¡No! ¿Y las cuentas? Tampoco. Entonces ¿Qué?* México: SEP. 65 Pp.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México: Editorial McGraw Hill Education. 613 Pp.

Hernández, J. y Pérez, G. (2018). Estrategias para favorecer la habilidad del conteo en niños de nivel Preescolar. *Perspectivas Docentes*. 28(64).

Kamii, C. (2003). *El número en la educación preescolar*. Madrid: A. Machado Libros. 32 Pp.

Lezcano, M., Benítez, L. y Cuevas, A. (2017). Usando TIC para enseñar Matemática en preescolar: El Circo Matemático. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 11(1): 168-181.

Pérez, J. (2014). Empleo del software educativo y su eficiencia en el rendimiento académico del cálculo integral en la Universidad Peruana Unión, filial Tarapoto. *Apuntes Universitarios. Revista de Investigación*. 4(1): 43-56.

Piaget, J. (1973). *La representación del niño en el mundo*. Madrid: Morata. 101 Pp.

Reséndiz, E. (2004). *La variación en las explicaciones de los profesores en situación escolar*. Tesis de doctorado, Cinvestav, México. [En línea]. Disponible en: <http://funes.uniandes.edu.co/5620/1/ResendizLavariacionAlme2006.pdf>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.

Reséndiz, E., Correa, S., Medina, K., Nava, C. y Llanos, R. (2014). La enseñanza aprendizaje del número en preescolar y el uso de las TIC. En P. Lestón, (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp. 2159-2167). México, DF: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.

Reyes-Gasperini, D. y Cantoral, R. (2019). ¿Cómo evaluar la construcción social del conocimiento matemático? *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*. 4(1): 217-225.

Reyes, C. y Garza, A. (2019). *¡Juego, valoro y aprendo en preescolar 2! Situaciones didácticas*. México: Trazo Impresión. 8-9 Pp.

Rodríguez, O. y Norato, A. (2004). Imagen para conocer números (Ilustración). [En línea]. Disponible en: <http://www.gateandoconelraton.com/inicio/>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.

SEP, Secretaría de Educación Pública (2013a). Programa de estudio 2011. Guía para la Educadora. Educación Básica. Preescolar. México. [En línea]. Disponible en: http://www.siteal.iipe.unesco.org/sites/default/files/mex_-_educacion_preescolar_.pdf. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.

SEP, Secretaría de Educación Pública (2013b). Programa sectorial de educación 2013-2018. México. [En línea]. Disponible en: http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/4479/4/images/PROGRAMA_SECTORIAL_DE_EDUCACION_2013_2018_WEB.pdf. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.

Sfard, A. (2002). Learning mathematics as developing a discourse. In R. Speiser and C. Maher (Eds.), *Proceedings of conference of PME-NA* (pp. 23-44). Columbus: Clearing House for Science, Mathematics, and Environmental Education.

Siegenthaler, R., Casas, A., Mercader-Ruiz, J. and Herrero, M. (2017). Habilidades matemáticas iniciales y dificultades matemáticas persistentes. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*. 3(1): 233-241.

Sierpiska, A. (1994). *Understanding in mathematics. Studies in mathematics education*. Londres: The Falmer Press: 59-84 Pp.

Vergnaud, G. (2010). *El niño, las matemáticas y la realidad: Problemas de la enseñanza de las matemáticas en la escuela primaria*. México: Trillas. 111 Pp.

Vygotsky, L. (1984). Aprendizaje y desarrollo intelectual en edad escolar. *Revista de infancia y Aprendizaje*. 27(28): 70-92.

Vygotsky, L. (2000). *Pensamiento y habla*. Buenos Aires: Colihue. 191-208. Pp.



Jóvenes y tecnologías digitales. Diagnóstico del uso y apropiación de plataformas digitales en la zona conurbada del sur de Tamaulipas

Youth and digital technologies. Diagnosis of the use and appropriation of digital platforms in the conurbation area of southern Tamaulipas

María Consuelo Lemus-Pool*, César Bárcenas-Curtis, José Alberto Gómez-Issasi

RESUMEN

En México, existen diversos estudios sobre qué hacen los jóvenes en la red y cómo interactúan en estos entornos; no obstante, en lo referente al sur de Tamaulipas, no existen investigaciones específicas que aborden las características de estas prácticas. El objetivo de este trabajo fue diagnosticar el uso y apropiaciones de plataformas digitales entre jóvenes de la zona sur de Tamaulipas, México, en su calidad de estudiantes del nivel medio superior y superior. La metodología es cuantitativa, a partir de un diseño no-experimental descriptivo. Se diseñó una muestra estadísticamente representativa de los municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira, con un 95 % de nivel de confianza; a partir de la que se aplicó un cuestionario que obtuvo la participación de 1 222 jóvenes, en el que, se evaluó la intensidad de uso y perfil de navegación de diversas plataformas digitales, como páginas de información general, de intercambio de información o productos, redes sociales digitales, páginas educativas y de aprendizaje, así como de entretenimiento y diversión. Los hallazgos muestran que los procesos de uso y apropiación de estos entornos están mediados por 2 elementos fundamentales: un componente técnico, referido a los recursos de interactividad que provea la propia plataforma; y un componente sociocultural que remite a la historia de vida, el capital social y cultural, la personalidad y capacidad expresiva, así como las habilidades digitales de los jóvenes. Este estudio, desde lo local, permite observar la homogeneidad en el uso y apropiación de las plataformas digitales de los jóvenes, al tener un sentido pasivo en cuanto al empoderamiento a través de estas herramientas, para aprovechar los potenciales identificados de habilidades digitales, colaboración y producción de contenidos.

PALABRAS CLAVE: juventud, apropiación, tecnologías digitales, interacción.

ABSTRACT

In Mexico, several studies exist about what young people do on the web and how they interact in these environments; however, concerning southern Tamaulipas, there are no specific studies that address the characteristics of these practices. The objective of this work is to present a diagnosis of the uses and appropriations of digital platforms among young people in the southern region of Tamaulipas, Mexico, among high school and college students. The methodology is quantitative, based on a descriptive non-experimental design. A statistically representative sample from the municipalities of Tampico, Ciudad Madero, and Altamira, was designed with a 95 % accuracy and a margin of error of +/- 2 %. A questionnaire was developed and administered to a sample of 1 222 young students, in which the intensity of use and navigation profile of various digital platforms was evaluated. These platforms include general information pages, information or product exchange, digital social networks, educational and learning sites, as well as entertainment. The findings show that two fundamental elements mediate the processes of use and appropriation of digital platforms: a technical component, related to the interactivity resources provided by the platform itself, and a socio cultural component that relates to the life story, social and cultural capital, personality and expressive capacity, as well as the digital skills and intrinsic motivations of young people. In conclusion, this study allows us to problematize the phenomenon of the appropriation of digital platforms from the local level and to propose intervention routes that take advantage of the identified potential of digital skills, collaboration and content production.

KEYWORDS: youth, appropriation, digital technologies, interaction.

*Correspondencia: clemus@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 30 de agosto de 2019/ Fecha de aceptación: 5 de diciembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Centro Universitario Tampico-Madero s/n, col. Universidad Poniente, Tampico, Tamaulipas, México, C. P. 89109.

INTRODUCCIÓN

El interés por conocer los procesos de acceso y la apropiación de las tecnologías digitales entre los jóvenes abarca cada vez más diversos campos de conocimiento, y se realiza para alcanzar múltiples metas de innovación en el ámbito educativo, laboral, de participación social y cultural (García-Canclini, 2017; Crovi, 2018). Estos tipos de estudios tienen como punto de partida una comprensión profunda de las bases del acceso, uso y apropiación que presentan ciertos grupos sociales, en un contexto determinado.

Respecto al uso de las plataformas digitales por parte de los jóvenes, la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares de México (INEGI, 2019a) señala que las tres principales actividades se pueden clasificar en el rubro de entretenimiento (90.5 %), comunicación (90.3 %) y obtención de información (86.9 %). No obstante, estas interacciones suelen ser más complejas que la simple navegación para fines lúdicos, de socialización o académicos, ya que se concatenan con una más amplia gama de agencias, colaboración e intercambio de recursos (Lago-Martínez, 2015).

La revisión de la literatura académica muestra que existen 3 áreas clave respecto a la apropiación de las tecnologías digitales por parte de los jóvenes: 1) el ámbito de la interacción con los medios de comunicación; 2) la línea educativa, que aborda las transformaciones académicas que las TIC han generado en estos espacios; y 3) la dimensión cultural de estos procesos, que involucra cambios en las formas de comunicación, socialización, participación y acción colectiva.

En primer lugar, en lo referente al ámbito de los medios de comunicación, destacan investigaciones que plantean una transformación en la frecuencia y proporción de noticias que los jóvenes consumen a partir de su navegación en redes sociales digitales

(López y Gómez, 2014; López y col., 2014; García y col., 2017). También se han desarrollado tipologías de usuarios para identificar las percepciones de la influencia de este consumo en procesos de empoderamiento y participación social (Gavilán y col., 2017). En el ámbito de la publicidad y la mercadotecnia, la investigación referente a los medios de comunicación ha procurado discernir cómo las pautas de navegación interaccionan con marcas o programas específicos (Lacalle, 2013; Frutos y col., 2014; Martínez-Costa y col., 2019). Sin embargo, dentro de este primer ámbito de investigación, los que más han sobresalido son los estudios sobre usos y gratificaciones de la navegación que los jóvenes realizan en las diversas plataformas digitales (Pang, 2016; Gutiérrez-Rentería y col., 2017), centrándose en identificar motivaciones e intenciones de uso (Kaba y Touré, 2014; Giraldo y col., 2017; Thomas y col., 2017; Dhir y col., 2018), así como las tendencias de consumo de dispositivos, aplicaciones o plataformas en función de aspectos como el género, la edad, el nivel educativo e incluso el país de residencia (López y col., 2014; Langer y col., 2017).

El principal planteamiento que destaca en esta vertiente es la transformación de los usuarios jóvenes en su calidad de audiencias (García-Canclini, 2017), buscando reconectar a estos nuevos perfiles con los medios de comunicación tradicionales (Azurmendi, 2018). Asimismo, buscando espacios de participación y creación de contenidos por parte de lo que se ha nombrado como “prosumidor” (Fernández y col., 2018; Arribas y col., 2019), o bien, ponderando los procesos de interacción lúdica con los contenidos mediáticos (Torrego y Gutiérrez, 2016; Wang y Edwards, 2016; Pedrero y col., 2019).

En una segunda línea de investigación, se encuentra el escenario educativo. Este ámbito de estudio ha conllevado planteamientos más críticos respecto a cuáles son las transformaciones del proceso educativo, al contar con la presencia de tecnologías di-

giales y entornos virtuales en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, también destacan estudios que ponen en relieve las nuevas capacidades cognitivas que se desarrollan al interactuar con la tecnología fuera de la escuela (Fuente y col., 2019; Parodi y col., 2019; Vizcaíno y col., 2019), y cómo pueden potenciarse estos aprendizajes dentro de las aulas (Gutiérrez-Portlán y col., 2018).

La temática sobre jóvenes, tecnologías digitales y educación es en sí misma un campo de estudio. Los aspectos que se han abordado van desde la brecha digital (Sánchez-Antolín y col., 2014), la alfabetización digital (Drotner y Kobbernagel, 2014; Sánchez y col., 2017), los cambios positivos y negativos en el rendimiento académico y el aprendizaje (Allen y col., 2014; García-Martín y Cantón-Mayo, 2019), así como también las diversas dimensiones que involucra el uso de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en un aula (Arriaga y col., 2016; Winocur y Sánchez, 2018; Aparici y col., 2019).

Finalmente, también es relevante la dimensión cultural de la apropiación de la tecnología digital. Desde el ámbito académico, ha sido relevante comprender qué relaciones, capacidades y destrezas se desarrollan en el contexto del ocio y el tiempo libre, existiendo numerosos estudios que se centran en las pautas de sociabilidad y habilidades digitales en dichos contextos, a través de plataformas como videojuegos, redes sociales digitales y páginas web informativas (Muros y col., 2013; Valdemoros y col., 2017; Vasco y Serrano, 2017; Crovi, 2018; Muñoz y Segovia, 2019). Asimismo, ha sido relevante para esta línea de investigación el abordar los procesos de construcción de identidad y la formación de comunidades (Wang y Edwards, 2016; Lemus, 2017; 2018; Santana y col., 2019), ya que permiten una diversidad de procesos de expresión, participación social e incluso de activismo digital en determinados escenarios y contextos.

Ya sea en su calidad de audiencias, usuarios, consumidores-productores de contenidos, estudiantes o simples sujetos, es posible afirmar que los jóvenes han protagonizado una serie de cambios en la forma de consumir, estudiar, trabajar, interactuar o relacionarse, a partir de la variable digital (Aparici y col., 2019). En la multiplicidad de hallazgos que se han identificado, es posible reconocer tendencias comunes, pero también rupturas que se relacionan con un aspecto significativo y pocas veces examinado: la dimensión contextual de estos jóvenes (Ekman, 2015; Richardson y Milovidov, 2019). En este sentido, la relevancia de realizar estudios sobre el uso y apropiación de las tecnologías digitales radica en ponderar y evaluar las nuevas prácticas culturales que están desarrollándose a partir de los contextos locales de estos jóvenes y el sentido de las nuevas habilidades de colaboración, producción de contenidos e innovación. La importancia de la perspectiva cuantitativa, permite diagnosticar el nivel de acceso, intensidad de uso y perfiles de navegación, ya que con base en este conocimiento es posible diseñar procesos de acompañamiento que hagan significativas dichas prácticas.

En México, existen diversos estudios sobre uso y apropiación de tecnologías digitales entre los jóvenes, y casi todos fueron efectuados desde su condición de estudiantes. Se han realizado este tipo de aproximaciones desde la perspectiva cuantitativa en la Ciudad de México (Crovi y Lemus, 2016; Garay-Cruz, 2016), el estado de México (Ortiz-Henderson, 2015; Ortiz-Henderson y Romero, 2016), Sonora (González-Lizárraga y López-González, 2015; González-Lizárraga, 2016) y Veracruz (López-González, 2016; López-González y col., 2017), así como desde marcos cualitativos (Winocur y Sánchez, 2018) y estudios mixtos (Ortiz-Henderson y Garay, 2015). Sin embargo, en Tamaulipas —y más específicamente en la zona sur del estado— aún existe una carencia de información sobre el tema en la literatura científica.

El objetivo del presente trabajo fue diagnosticar el uso y apropiación de plataformas digitales que presentan jóvenes de la zona conurbada del sur de Tamaulipas, México, a partir de sus patrones de uso y perfiles de navegación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología desarrollada es cuantitativa, a partir de un diseño no-experimental, transeccional y descriptivo. El periodo de estudio fue de noviembre 2018 a marzo 2019.

En cuanto al instrumento, fue de elaboración propia, estructurado a partir de preguntas cerradas y de opción múltiple, de tipo autoadministrado, es decir, que fue contestado directamente por el propio joven sin mediación de un encuestador. Para alcanzar el objetivo de proveer un diagnóstico de uso y apropiación, los reactivos se centraron en evaluar los patrones de acceso y conectividad a Internet de los siguientes aparatos: radio, televisión, teléfono celular, consola de videojuegos, tableta y computadora. Asimismo, el uso de diversas plataformas, a partir de dos indicadores:

1) En primer lugar, la intensidad del uso, a través de una escala de valoración de cinco puntos, que iba de 1. No uso, 2. Esporádicamente, 3. Regularmente, 4. Frecuentemente y 5. Siempre.

2) Asimismo, se indagó el perfil de navegación, empleando una escala de cuatro niveles, en la cual se pidió que marcara la opción que más representaba su navegación habitual en la plataforma evaluada, la cual iba de 1. Solo visualizo, 2. Reenvío información, 3. Participo, comento o reenvío el contenido, y 4. Elaboro mi propio contenido.

Las investigaciones sobre el acceso y la frecuencia o intensidad de uso son habituales al momento de desarrollar estudios sobre la apropiación de las plataformas digitales, ya que son el primer indicador del tipo de relación que tienen los jóvenes con estos en-

tornos (Giraldo y col., 2017; Rodríguez-Gómez y col., 2018; Muñoz y Segovia, 2019). Sin embargo, es aún incipiente la perspectiva cuantitativa sobre el perfil de navegación que se desarrolla dentro de la red. Por lo anterior, en esta investigación se proponen estos indicadores como base del diagnóstico de apropiación. La base teórica del perfil de navegación se basa en los hallazgos de Crovi (2016), quien propuso un “ciclo de interacción” de cuatro niveles en las redes sociales digitales: visualizar, trasladar, modificar y crear, el cual se vincula a otros indicadores cualitativos y a los niveles de acceso y uso. Para la validación de contenido, criterio y constructo de este instrumento se llevó a cabo una revisión de expertos. Posteriormente, se realizó una prueba piloto entre 106 estudiantes de nivel superior, para validar la confiabilidad de las respuestas, y se aplicó el estadístico de alfa de Cronbach, obteniendo una puntuación promedio de 0.75 en los 57 reactivos analizados.

El marco muestral se elaboró con el listado de las instituciones de educación media superior y superior, de escuelas públicas y privadas de los municipios que conforman la zona conurbada del sur de Tamaulipas (Tampico, Ciudad Madero y Altamira). A partir de lo anterior, se diseñó una muestra estadísticamente representativa de la zona, con un 95 % de nivel de confianza que corresponde a 300 cédulas en escuelas públicas y privadas y 600 cédulas en media superior. El trabajo de campo permitió obtener 1 222 cédulas, con margen de error de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$ del muestreo planeado (Tabla 1). A través de un método aleatorio simple, se seleccionó una institución educativa de cada municipio, de cada nivel educativo y de cada tipo, y se aplicaron los cuestionarios dentro de la escuela a partir de una muestra incidental, es decir, en las áreas comunes de la institución, donde se solicitó la participación voluntaria de los estudiantes (Tabla 1). Los nombres de las escuelas participantes y las fechas de levantamiento de cada una se describen en la Tabla 2.

■ Tabla 1. Distribución muestral.
Table 1. Sample distribution.

Nivel	Tipo	Número de cédulas aplicadas			Total	Margen de error
		Tampico	Madero	Altamira		
Medio Superior	Pública	77	99	110	286	- 4.6 %
	Privada	79	106	110	295	- 1.6 %
Superior	Pública	104	110	110	324	+ 8.0 %
	Privada	118	91	108	317	+ 5.6 %
ZCST*	Total	378	406	438	1 222	+ 1.8 %

*Zona conurbada del sur de Tamaulipas.

■ Tabla 2. Escuelas seleccionadas y fechas de levantamiento de datos.
Table 2. Selected schools and data collection dates.

Nivel	Tipo	Municipio	Nombre de la escuela	Fechas de levantamiento
Medio Superior	Pública	Tampico	Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios No. 103	14/11/2018
		Ciudad Madero	Centro de Estudios Tecnológicos, Industrial y de Servicios No. 109	29/11/2018
		Altamira	Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios No. 105	13/11/2018
	Privada	Tampico	Preparatoria UVM (Universidad del Valle de México)	06/03/2019
		Ciudad Madero	Prepa Madero (Grupo Educativo Madero)	29/11/2018
		Altamira	Bachillerato Anáhuac (Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas)	04/02/2019
Superior	Pública	Tampico	Universidad Autónoma de Tamaulipas, campus Sur.	08/02/2019
		Ciudad Madero	Instituto Tecnológico de Ciudad Madero	19/02/2019
		Altamira	Universidad Tecnológica de Altamira	29/01/2019
	Privada	Tampico	Universidad del Valle de México	06/03/2019
		Ciudad Madero	Escuela Particular Normal Superior “Lic. Benito Juárez” A.C.	26/02/2019
		Altamira	IEST Anáhuac (Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas)	15/02/2019

En cuanto al tratamiento de los datos, la captura, limpieza y validación se realizó con el programa de Microsoft Excel, y posteriormente, se efectuaron los análisis estadísticos con el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences). En los hallazgos que se presentan a continuación se

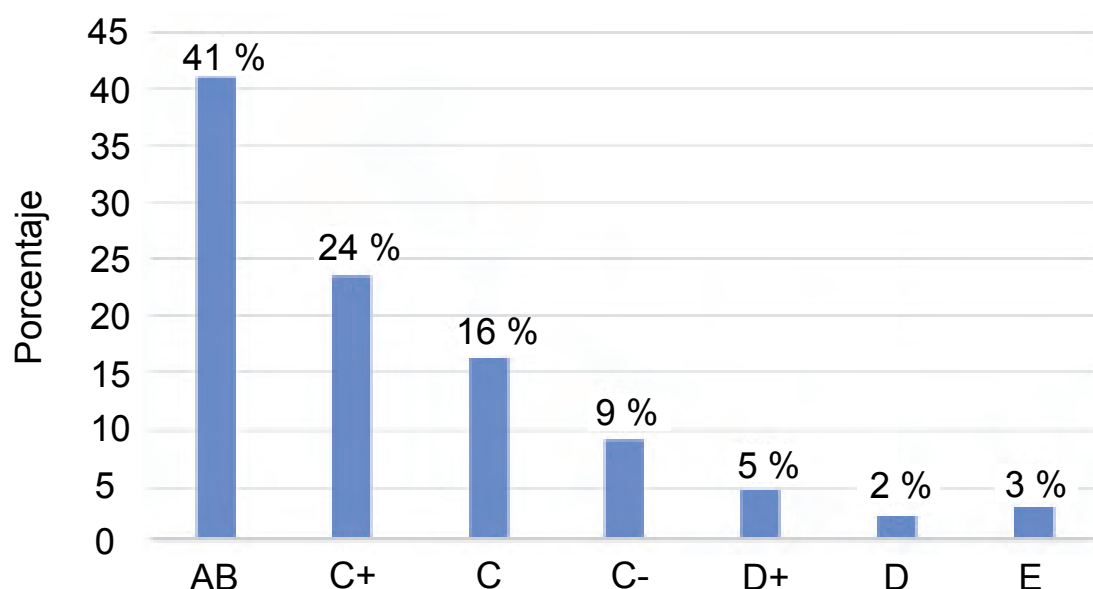
analizan los resultados descriptivos simples de las respuestas obtenidas en el acceso a las tecnologías digitales, la intensidad del uso y el perfil de navegación. El 48 % de los jóvenes pertenecía al nivel medio superior ($n = 581$) y el 52 % al nivel superior ($n = 641$). En cuanto al tipo de escuela, están distribuidos equitativamente según el tipo de institución educativa (públicas $n = 610$ y privadas $n = 612$). Los participantes presentan una media de 18 años, aunque el rango de edad oscila entre los 15 y los 29. La distribución por género fue de 54 % mujeres y 46 % hombres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sur de Tamaulipas posee una zona metropolitana integrada por los municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira. De acuerdo con el INEGI (2015), en estos tres municipios habitan 706 771 personas, de las cuales, los jóvenes de entre 15 y 29 años representan el 25 % (INEGI, 2019b). En cuanto a conexión y usuarios de Internet, la ciudad de Tampico está entre las más conectadas a nivel nacional, alcanzando a 7 de cada 10 personas, mientras que en los municipios

de Ciudad Madero y Altamira esta cifra es de 6 por cada 10 personas (INEGI, 2019a). Referente a las características socioeconómicas de los participantes, es posible observar que el 65 % de los jóvenes pertenecen a los dos estratos más altos (AB y C+), y se extienden hasta el 81 % de la población estudiada si se considera el nivel C, según la metodología de medición de la Asociación Mexicana de Agencias de Inteligencia de Mercado y Opinión Pública (AMAI, 2018). En términos generales, algunos estudios indican que los estratos de mayor nivel son los que tienen acceso a la educación media superior y superior en México (Tapia y Valenti, 2016; Blanco, 2017), tendencia que se ve corroborada en este estudio (Figura 1), ya que la población de bajos recursos representó solo el 19 %.

Existen trabajos que muestran una correlación positiva entre el nivel socioeconómico y el acceso a las tecnologías digitales (Crovi y Lemus, 2016), así como una mayor disposición a la participación social (Sola-Morales, 2017). Aunque los resultados no son concluyentes, es posible plantear que existen



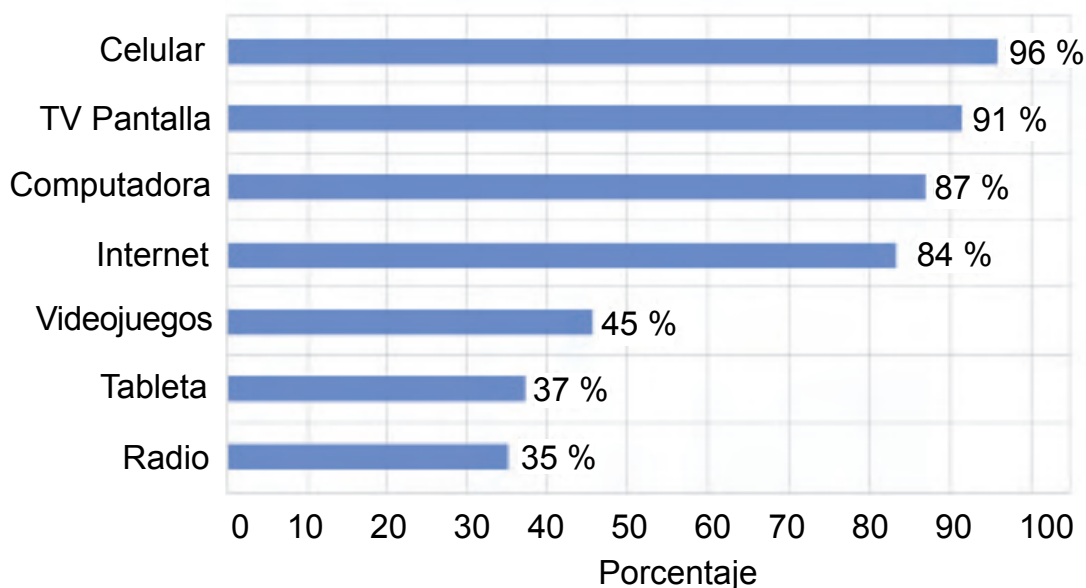
■ Figura 1. Nivel socioeconómico con base en AMAI (2018).
Figure 1. Socioeconomic status based on AMAI (2018).

tendencias comunes entre la actual generación de jóvenes, que tienen como horizonte de sentido o “espíritu de su tiempo” la posesión de tecnologías digitales, sea este proceso real o aspiracional (Crovi, 2016; 2018), por lo que las prácticas que convergen están mediadas por un aspecto clave: la condición de ser estudiante y el hecho de que la escuela provee en alguna medida un nivelador en términos de disponibilidad de TIC y habilidades para la navegación (Ortiz-Henderson y Garay, 2015; Ramírez-Martinell y Casillas, 2015; Winocur y Sánchez, 2018).

Un aspecto relevante en el estudio del uso y apropiación de las TIC es determinar el acceso que tienen las poblaciones de entrar a las tecnologías digitales en diferentes entornos. En este estudio, se encontró que es una tendencia general la conexión múltiple y ubicua, a partir de dispositivos propios. Los más relevantes fueron el celular (96 % posee un aparato propio, 72 % de tipo *smartphone*, 50 % con plan de datos), la televisión o pantalla (91 % posee una propia, 80 % con suscripción de paga y conexión a Internet), la computadora (87 % mencionó poseer una personal, 53 % indicó que es

de escritorio o PC, 73 % con conexión a Internet) e Internet (84 % señaló que su hogar paga este servicio). Menos relevantes fueron otras tecnologías —como los videojuegos, tabletas e incluso la radio—, ya que están presentes en menos de la mitad de los hogares (Figura 2). En este sentido, se puede plantear que el acceso es generalizado, y no constituye una variable predictora del nivel de interacción en la red.

Estudios previos han mostrado que los estados de México con cercanía a la frontera de Estados Unidos de América poseen circuitos de intercambio de tecnología más variados y a costos más accesibles, lo cual propicia que los jóvenes tengan mayores niveles de posesión de TIC y conectividad (González-Lizárraga y col., 2018). No obstante, en el presente trabajo se sostiene más bien el planteamiento de que esta condición se asocia con la etapa de vida de estos jóvenes, que están en una fase prioritariamente escolar, donde se les solicita contar con estas herramientas para las actividades académicas, y además, poseen un nivel socioeconómico que les permite tener acceso a la tecnología, por lo que esta con-



■ Figura 2. Disponibilidad de TIC de la población estudiada.

Figure 2. Availability of ICT of the sample population.

dición se refuerza debido a que forman parte de sus dinámicas de socialización y estatus, lo cual hace ver la posesión de estas herramientas digitales como imprescindibles (Langer y col., 2017).

Patrones de uso y perfiles de navegación en plataformas web

A partir de los indicadores elaborados sobre intensidad de uso y perfiles de navegación, se evaluaron diversos entornos digitales para fines lúdicos, educativos, de consumo y de socialización. En primer lugar, se analizaron las plataformas de información general, que permitieron conocer la familiarización con herramientas de búsqueda de datos, relevantes en la vida cotidiana de los jóvenes y fuera del contexto escolar, así como el uso de los entornos digitales que han resultado destacados en otros estudios sobre jóvenes y TIC, como el comercio electrónico (Nielsen, 2018; Arribas y col., 2019), la interacción con medios de comunicación (Vidales y Rubio, 2014; Catalina y col., 2015) y con marcas comerciales (San-Miguel y Sádaba, 2019), así como las páginas de instituciones, ya sea del sector público o privado. Los resultados muestran que la frecuencia de uso de este tipo de plataformas es ocasional, siendo los sitios de descarga de

contenido y los blogs o vlogs las menos empleadas. Por otra parte, las de mayor intensidad de uso son las páginas de medios de comunicación y los espacios de opinión (Figura 3).

En cuanto al tipo de navegación en estas mismas plataformas (entre aquellos que mencionaron emplearlas ya sea esporádicamente, de manera regular, frecuentemente o siempre) el perfil preponderante es el de visualización, que involucra visitar el sitio y navegar en él. Destacan con mayores niveles de interacción las páginas de comercio electrónico, en las que el 58 % mencionó participar en ellas activamente, comentando, comprando o intercambiando; asimismo, los sitios de descargas de contenidos con un 45 % (Figura 4). En términos generales, la producción de contenido propio es poco significativa, pero también destaca que este tipo de páginas no sean relevantes en la navegación de los jóvenes, puesto que comparten poca información sobre ellas. Lo anterior, puede relacionarse con la baja frecuencia de uso, ya que no las utilizan o lo hacen esporádicamente. Aunque cabe destacar, que aquellos que navegan de forma regular o frecuente tienen un perfil activo, ya que forman parte de alguna comunidad virtual,

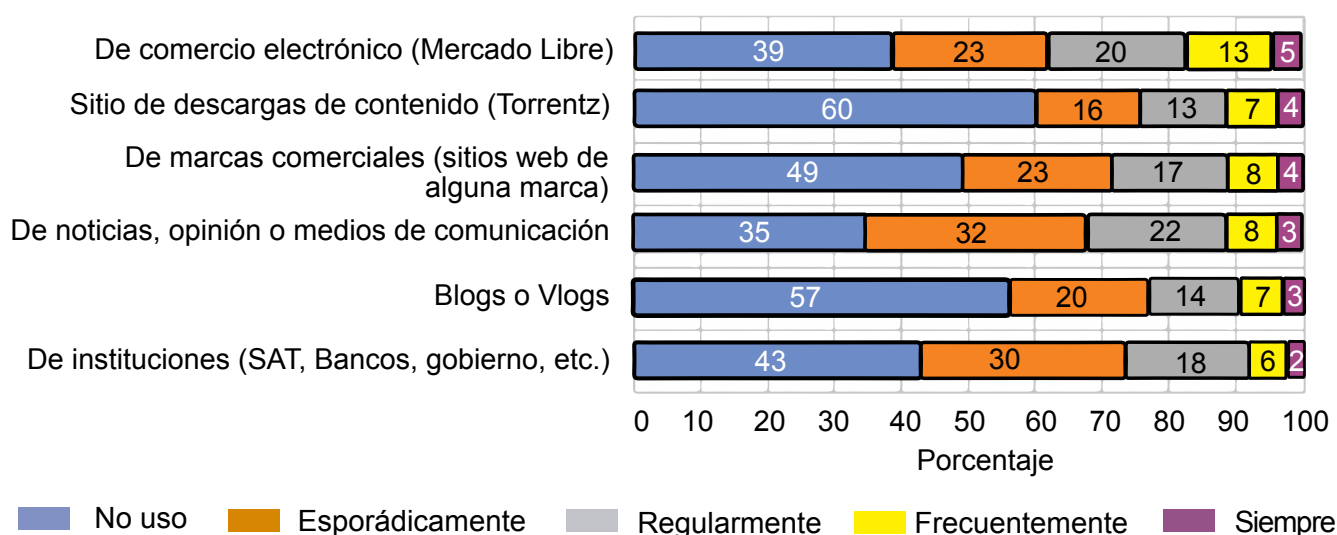
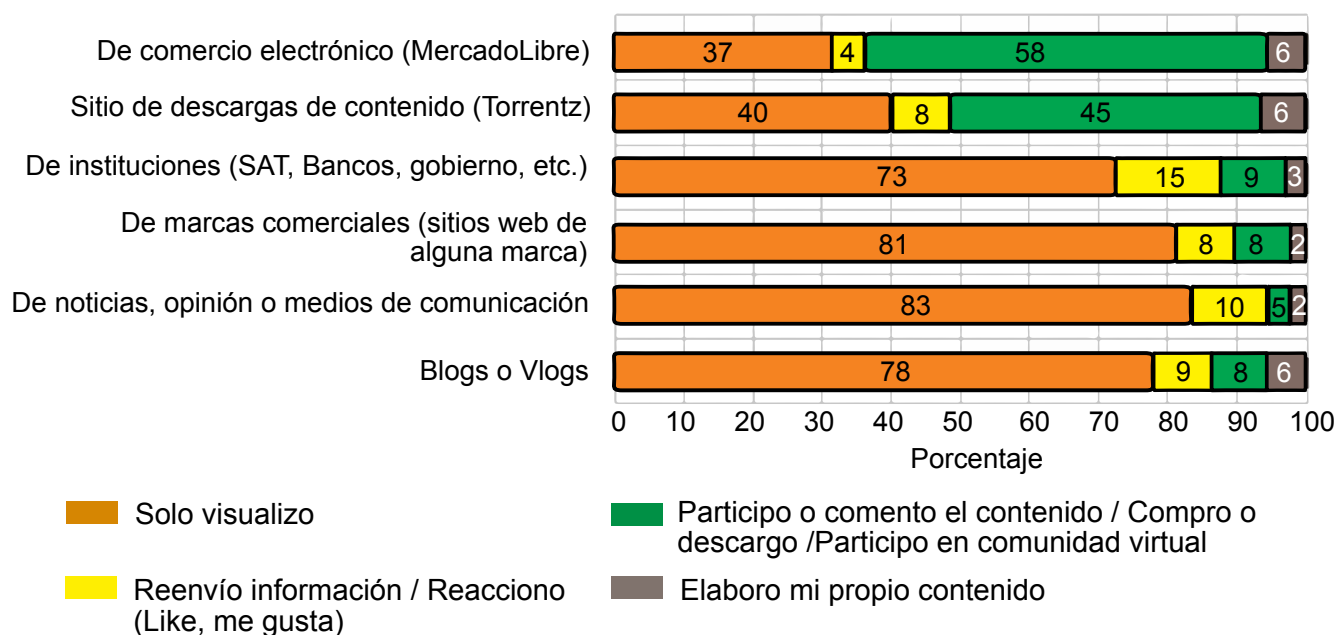


Figura 3. Frecuencia de navegación en plataformas generales.

Figure 3. Navigation frequency in general platforms.



■ **Figura 4. Tipo de navegación en plataformas generales.**

Figure 4. Type of navigation on general platforms.

realizan transacciones de información o bienes y elaboran sus propias publicaciones. En términos de habilidades digitales, esto muestra un potencial que claramente podría ser aprovechado en el contexto educativo, pues se trata de actividades que pueden ser significativas para las necesidades e intereses de estos jóvenes.

Otro aspecto relevante en cuanto a la navegación en las páginas de información general es que se ha comprobado que el tipo, la preferencia y duración de actividades dentro de la red, cambia conforme avanza la edad y la actividad preponderante de estos jóvenes (Rodríguez-Gómez y col., 2018; Martínez-Costa y col., 2019; Parodi y col., 2019). En este caso, al ser una población mayoritariamente dedicada a las actividades escolares, es probable que aún no incorporen este tipo de entornos a su navegación rutinaria.

En segundo lugar, se evaluaron las plataformas asociadas con el entretenimiento, la socialización y comunicación. Entre las principales, destaca la aplicación de WhatsApp

(92 % mencionó usarla siempre y frecuentemente), seguida de la red social digital, Facebook (83 %) y de páginas de videos y/o películas libres o gratuitas como YouTube (74 %), así como el portal de Netflix o páginas de videos y/o películas por suscripción (59 %). Por otra parte, las plataformas sociales con menos frecuencia de uso fueron Snapchat, los videojuegos en línea y Twitter (Figura 5).

Respecto al tipo de navegación en las plataformas lúdicas, estos entornos resultan más propicios para desarrollar niveles de interacción más altos. Sobre todo en las redes sociales digitales (Instagram, Facebook y Twitter), el perfil que navega en ellas se ubica en el nivel más alto de creación de contenido propio. También destaca una interacción propicia para el intercambio de contenido, la participación y el reenvío de información, en espacios como WhatsApp y los videojuegos en línea (Figura 6).

Los resultados permiten plantear un aspecto relevante al momento de tratar de comprender los perfiles de navegación de los jóvenes

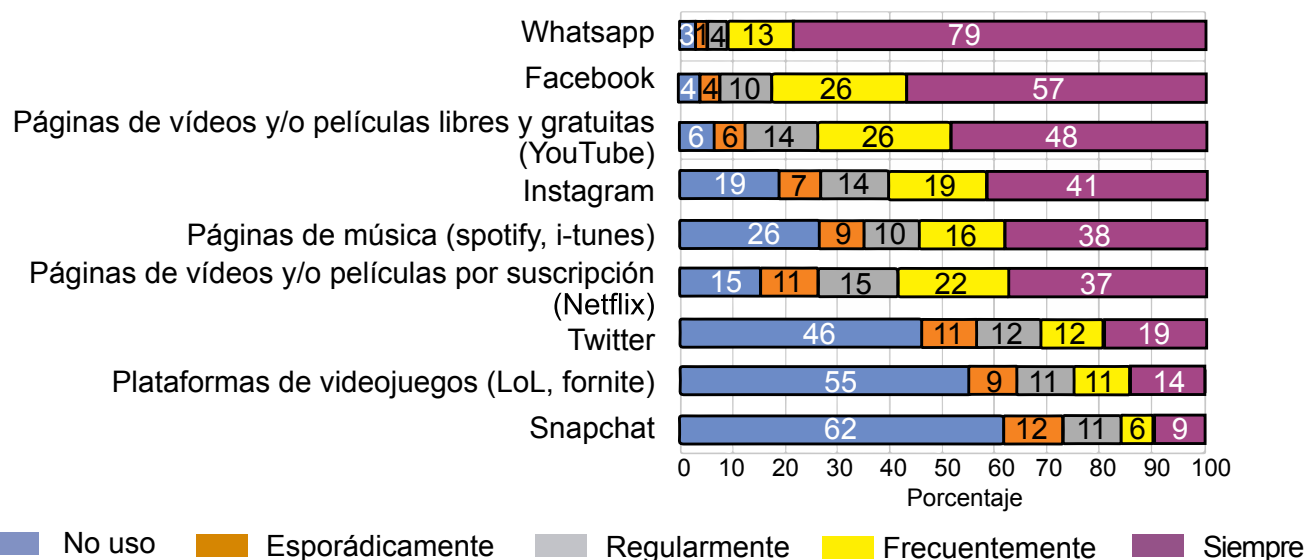


Figura 5. Frecuencia de navegación en plataformas de entretenimiento.
Figure 5. Navigation frequency on entertainment platforms.

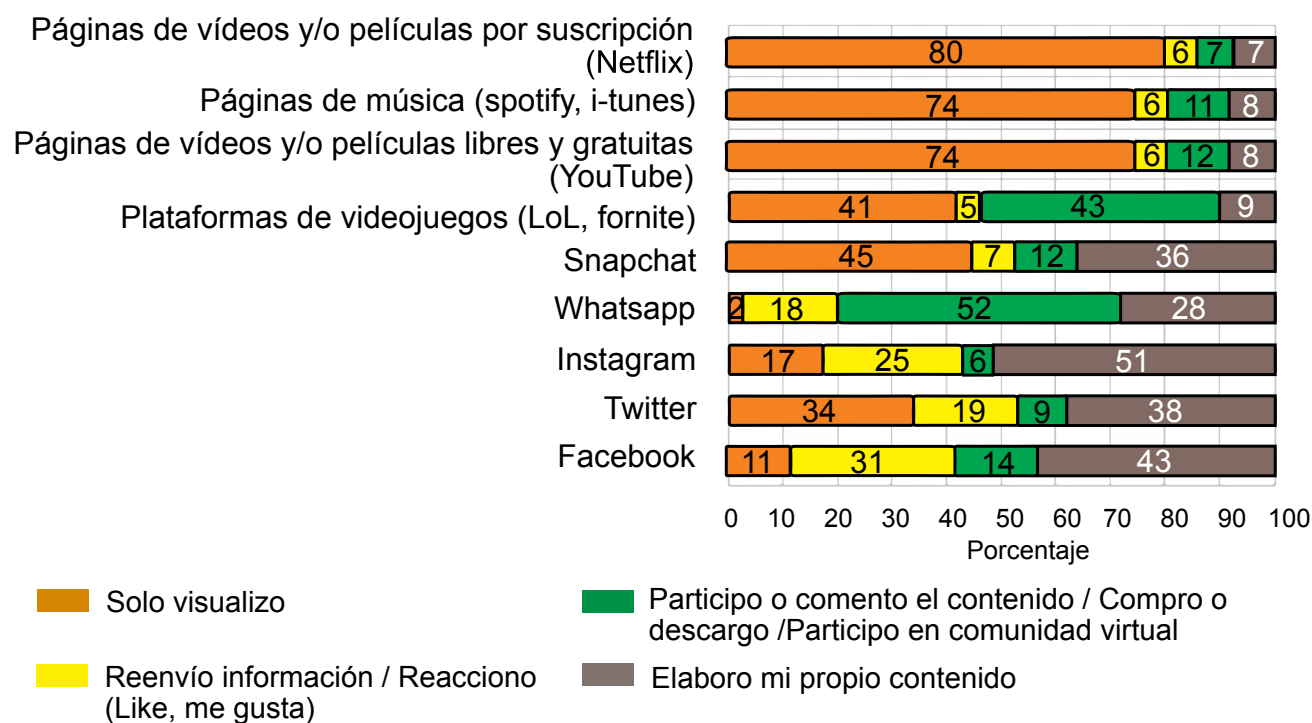


Figura 6. Tipo de navegación en plataformas de entretenimiento.
Figure 6. Type of navigation on entertainment platforms.

en las plataformas digitales: una parte de los procesos de interacción se definen por la propia arquitectura de la página y las posibilidades de interactividad e interacción que ofrecen. En este sentido, están programadas como entornos que proveen recursos, y motivadores, para la elaboración e intercambio de contenido; por otra parte, las páginas de

música y visualización de videos, ya sea por suscripción o libres (como YouTube), ofrecen mayores posibilidades de adoptar un rol de interacción o de consumo más pasivo. Por ejemplo, Facebook, que es usado por 8 de cada 10 jóvenes participantes en este estudio (57 % lo usa siempre y 26 % frecuentemente; Figura 5) con un perfil de navegación activo (43 % elabora sus propios contenidos para publicarlos en esa red social, 14 % participa comentando el contenido y 31 % reenvía información y reacciona a las publicaciones), es una plataforma que cuenta con herramientas que favorecen estrategias didácticas de trabajo en redes horizontales, con formas de comunicación sincrónicas y asincrónicas, que permiten la construcción de conocimiento, la deliberación y el intercambio de recursos diversos.

Estudios anteriores han mostrado un patrón similar a los hallazgos encontrados en el presente trabajo, en cuanto a las preferencias por este tipo de plataformas lúdicas, y su perfil preponderantemente activo, entre jóvenes mexicanos de diversos contextos urbanos, como la Ciudad de México (Crovi, 2016) e incluso los semi-rurales, como Lerma de Villada, Estado de México (Ortiz-Henderson, 2015).

Un aspecto sobresaliente de este tipo de navegación es la capacidad expresiva y creativa que se desarrolla como una habilidad inherente a estas plataformas. Las habilidades comunicativas que se requieren para socializar, participar en comunidades virtuales y realizar producciones más complejas —como convertirse en un líder de opinión digital o *influencer*— son transversales a estratos sociales y nivel socioeconómico (Fuentes y col., 2017; Elorriaga y Monge, 2018; Establés y col., 2019). Pese a que algunos estudios han generalizado la idea de que cualquier joven puede convertirse en una figura de este tipo (Scolari y Piñón, 2016; Suing y col., 2018), se plantea que este perfil con un alto nivel de actividad tiene como mediación una fuerte motivación o impulso a

la participación en aquellas prácticas que le resultan más significativas en términos de reconocimiento, adquisición de poder y estatus, así como pertenencia, ya que la construcción de la identidad resulta ser uno de los factores clave en esta etapa de la vida del joven, y todos estos elementos son inherentes al contexto y a la historia de vida del joven (Dhir y col., 2018; Flores y Garay-Cruz, 2018).

Lo anterior debe contextualizarse en un marco de prácticas sociales más amplio, donde la interacción en los entornos digitales converge con los intereses comerciales de las diversas plataformas que emplean los jóvenes. Los significados que le otorgan a estas prácticas creativas y expresivas también se relacionan directamente con formas de participación derivadas del consumo, de creación de comunidades virtuales con fines lúdicos, así como con la publicación de producciones propias que abonan a las actividades de las franquicias mediáticas y culturales transmedia (Aparici y García-Marín, 2018).

Por último, también se consultó respecto al uso de ciertas páginas que pueden emplearse con fines académicos, dentro de la escuela o para el aprendizaje extraescolar de los jóvenes. Los resultados permiten ver que esta otra tipología de escenarios digitales genera dinámicas de uso diferenciado. En primer lugar, los buscadores de documentos como el Google académico y otras bases de datos fueron los más relevantes en cuanto a frecuencia de uso (70 % refirió usarlos siempre y frecuentemente). Otras plataformas de construcción colectiva del conocimiento, como las *wikis* son usadas de manera regular, pero sólo con fines de visualización de contenidos (27 % comentó tener un uso regular y 40 % dijo usarlas siempre y frecuente). En estos hallazgos, también destaca que los espacios de aprendizaje no formal, como las páginas de tutoriales y consejos, que pueden ser relevantes por constituirse en comunidades de práctica y pro-

veer un acercamiento más lúdico a contenidos de diversa índole, tampoco resultaron ser plataformas tan importantes (27 % nunca la usa, y 18 % lo hace esporádicamente). En cuanto a las páginas web de las instituciones educativas, como aulas virtuales y cursos en línea, tampoco tienen mayor relevancia en la navegación de los participantes (36 % nunca la usa, y 19 % lo hace esporádicamente). Finalmente, los foros son las plataformas menos empleadas por estos jóvenes (44 % nunca los usa y 25 % esporádicamente) (Figura 7).

El tipo de navegación que se establece en este otro bloque de plataformas virtuales permite ver nuevamente a un perfil pasivo de consumo, y que únicamente se centra en la visualización de contenidos y el reenvío de información. Como se planteó anteriormente, por la propia naturaleza de la página y la disponibilidad de herramientas para el intercambio, son las aulas virtuales y cursos en línea, en las que se desarrolla un papel de usuario más activo, aunque en su mayoría se centran en realizar comentarios o aportaciones puntuales (Figura 8).

Estos resultados constatan que la apropiación de las tecnologías digitales tiene un fuerte componente de interacción social, el cual re-

sulta significativo en los entornos comunicativos y de socialización, como las redes sociales digitales. En el caso de las plataformas educativas evaluadas, es evidente que carecen de esa finalidad social que es importante para el joven en esta etapa de su vida, por lo que el potencial que ofrecen se ve reducido a la consulta de información y a la visualización de contenidos, en la mayoría de los casos. Por otra parte, estos hallazgos también podrían indicar que las instituciones educativas de este contexto local no cuentan con una estrategia clara de apropiación de TIC para innovar las prácticas de enseñanza-aprendizaje, lo cual requiere un diseño y acompañamiento activo e intenso (Kalman y col., 2013).

Al respecto, también cabe mencionar que las prácticas de apropiación de tecnologías digitales dentro del aula siempre han generado resultados controvertidos, ya que se pone en tela de juicio si estos recursos verdaderamente favorecen e incentivan prácticas escolares más colaborativas, horizontales o al menos propician mayor rendimiento escolar (Lago-Martínez, 2015; Morales, 2017). En los resultados de este trabajo es posible observar que la tendencia preponderante de los jóvenes, es a mantener un perfil de observador y a realizar una apropiación me-

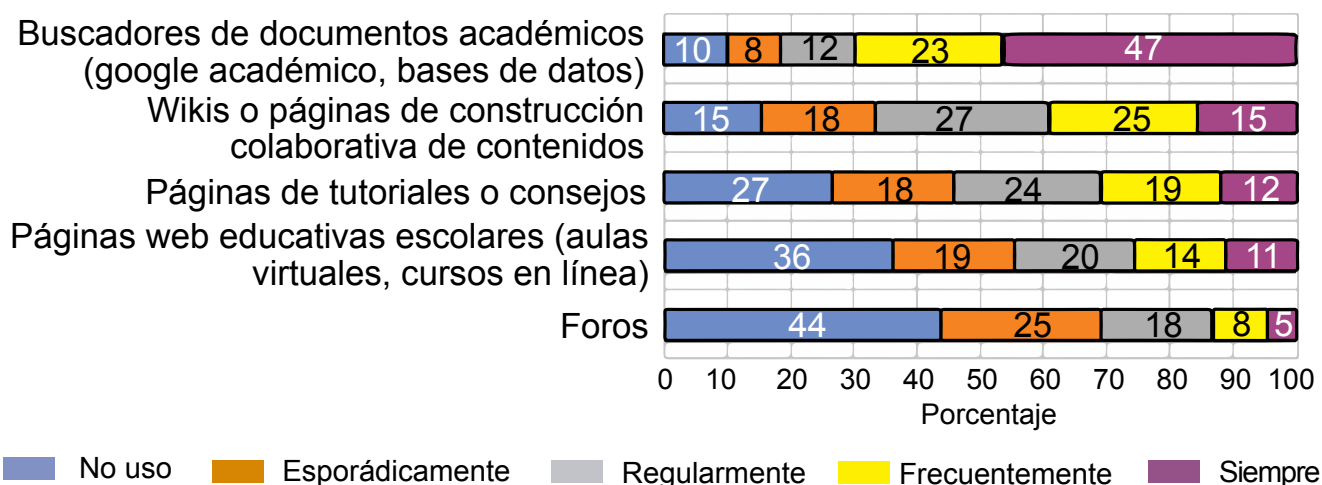


Figura 7. Frecuencia de navegación en plataformas educativas.
Figure 7. Navigation frequency in educational platforms.

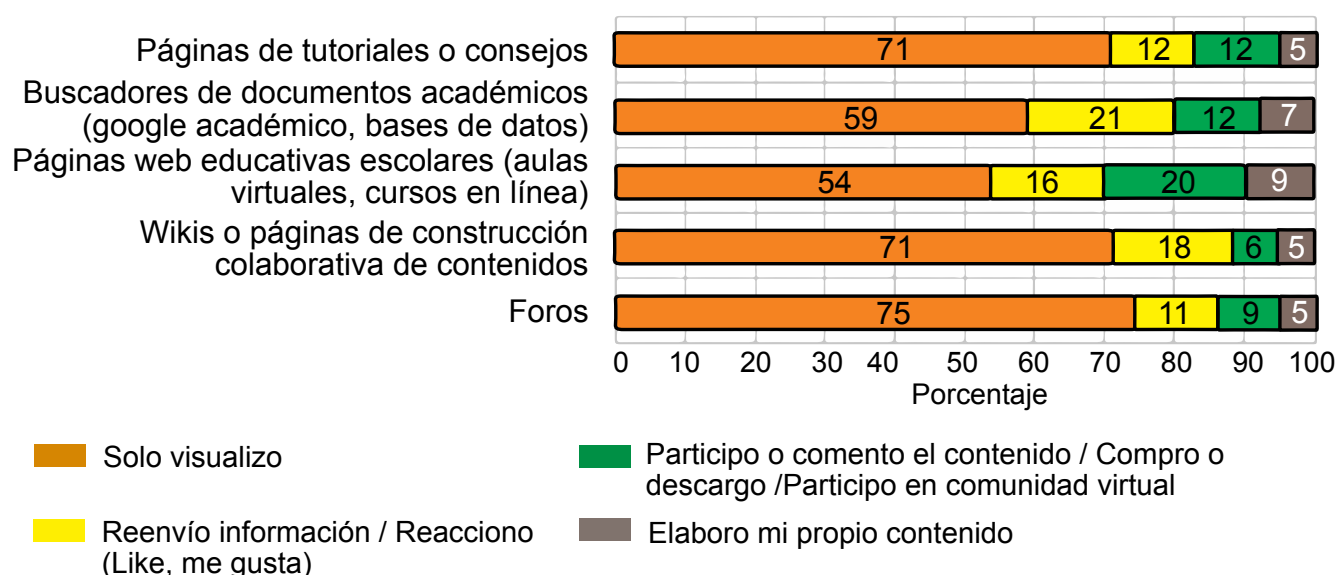


Figura 8. Tipo de navegación en plataformas educativas.

Figure 8. Type of navigation in educational platforms.

ramente pragmática de estos recursos. Desafortunadamente, estudios previos también llegan a la misma conclusión: los jóvenes no se apropian de las tecnologías digitales para fines educativos con la misma intensidad que para los fines lúdicos, de socialización y búsqueda de información (Crovi, 2016; Lemus, 2017; Morales, 2017; García-Martín y Cantón-Mayo, 2019). Lo anterior se vincula a múltiples factores: desde la alfabetización digital que se deriva del capital social y cultural de estos jóvenes (Fuente y col., 2019), la falta de diseño pedagógico en estos escenarios (Armella, 2016) o el hecho de que la navegación se mueva más por un marco afectivo y de sociabilidad, que aún no está presente en los actuales procesos de enseñanza-aprendizaje (Lemus, 2017).

De acuerdo con estudios como el de Boyd (2014), las transformaciones académicas que resultan de la apropiación de las tecnologías digitales se logran a partir del diseño de actividades que estén vinculadas con el contexto de los jóvenes, que reten sus capacidades y se propicien a través de la interacción. Por lo anterior, el papel que juegan las escuelas y los docentes en este proceso, es el de favorecer escenarios donde

sea posible pasar de ser consumidores de información a productores activos de conocimiento, concretando escenarios de aprendizaje reales, que involucren no sólo las habilidades técnicas y cognitivas del uso de la tecnología, sino también su componente socioemocional.

En términos generales, el conjunto de resultados permite ver que las plataformas más usadas por los jóvenes del sur de Tamaulipas son WhatsApp, Facebook, YouTube, y los buscadores de información (como Google), lo cual concuerda con los resultados nacionales del INEGI (2019a), que indica que las tres principales actividades en internet son de entretenimiento, comunicación y obtención de información. Aunque se trata de jóvenes con un acceso generalizado a las tecnologías digitales y un alto nivel de conectividad, el perfil de navegación se ubica en un nivel bajo, donde prevalecen las actividades de visualizar y reenviar información. Los hallazgos muestran que, aunque todos los participantes de este estudio cuentan con acceso a equipos de cómputo, *smartphones* y conectividad, independientemente de su nivel educativo, tipo de escuela o estrato social, los perfiles de navegación requieren acciones de

intervención para superar la brecha de participación que existe.

La globalización ha propiciado que existan modos de vida y prácticas de uso de las tecnologías digitales con rasgos cada vez más homogéneos. Sin embargo, cada contexto local se va configurando a partir de la cultura propia, en una estrecha interdependencia con lo global. Los estudios de carácter local cobran relevancia en tanto visibilizan los contextos socioculturales que dan sentido a la realidad de los jóvenes. Aunque los estudios cuantitativos difícilmente reflejan esta complejidad, sí permiten establecer datos de referencia que indiquen las potencialidades y las áreas de oportunidad a atender.

Sin estudios diagnósticos de base, las acciones de incorporación de TIC corren el riesgo de caer en posturas tecnodeterministas, que hagan creer que todos los jóvenes cuentan con las mismas capacidades y recursos para desarrollar un perfil activo en la producción de contenidos.

CONCLUSIONES

El diagnóstico de uso y apropiación de plataformas digitales en la zona conurbada del sur de Tamaulipas permitió establecer un an-

tecedente descriptivo de las tendencias de acceso, niveles y perfiles de uso que tienen los jóvenes estudiantes, con el fin de servir de valoración inicial de una diversidad de entornos digitales, para posteriores acciones de intervención en el escenario educativo, cívico o laboral. Se encontró una preponderancia de los patrones de interacción que se derivan de la propia arquitectura de interactividad de dichos entornos, sin visualización evidente con acciones de las instituciones de educación o de otras instancias gubernamentales, para generar procesos de apropiación que permitan el empoderamiento de los jóvenes a través de estas herramientas, la construcción de nuevo conocimiento o el trabajo colaborativo en redes descentralizadas y horizontales, lo cual es fundamental en el actual escenario laboral de la juventud. Se observó también que, sin acompañamiento y sin el diseño de actividades orientadas a esta meta, el uso y apropiación de las plataformas digitales tiene un sentido pasivo, orientado por el carácter comercial de la mayoría de los entornos evaluados. Los resultados obtenidos sobre el nivel y tipo de uso de las plataformas digitales muestran la necesidad de seguir apostando por acciones que favorezcan la construcción de habilidades digitales para hacer de la navegación una experiencia productiva y significativa.

REFERENCIAS

- Allen, K. A., Ryan, T., Gray, D. L., McInerney, D. M., and Waters, L. (2014). Social media use and social connectedness in adolescents: The positives and the potential pitfalls. *Australian Educational and Developmental Psychologist*. 31(1): 18-31.
- AMAI, Asociación Mexicana de Agencias de Inteligencia de Mercado y Opinión (2018). Nivel Socio Económico AMAI 2018. [En línea]. Disponible en: <https://nse.amai.org/nse/>. Fecha de consulta: 1 de octubre de 2019.
- Aparici, R. y García-Marín, D. (2018). Prosumidores y emirecs. Análisis de dos teorías enfrentadas. *Comunicar. Revista Científica de Educomunicación*. 26(55): 71-79.
- Aparici, R., García-Marín, D. y Díaz, N. (2019). Vampiros en la Red. El robo de la cultura juvenil. *Revista Latina de Comunicación Social*. (74): 197-213.
- Armella, J. (2016). Hacer docencia en tiempos digitales: Un estudio socio-pedagógico en escuelas secundarias públicas emplazadas en contextos de pobreza urbana. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*. 42(3): 49-67.
- Arriaga, A., Marcellán, I. y González, M. R. (2016). Las redes sociales: Espacios de participación y aprendizaje para la producción de imágenes digitales de los jóvenes. *Estudios Sobre Educación*. 30: 197-216.
- Arribas, A., Islas, O. y Gutiérrez, F. (2019). De prosumidores a observadores: una tendencia emergente en Internet y en los jóvenes ecuatorianos. Resultados del estudio del World Internet Project, Ecuador. *Revista Latina de comunicación Socialomunicación Social* 74:969-996.
- Azurmendi, A. (2018). Reconectar con la audiencia joven. Narrativa transmedia para la transformación de la

televisión de servicio público en España, Francia, Alemania y Reino Unido. *Revista Latina de Comunicación Social*. (73): 927-944.

Blanco, E. (2017). Los alumnos indígenas en México. Siete hipótesis sobre el rezago en los aprendizajes de nivel primario. *REICE: Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 15(3): 81-112.

Boyd, D. (2014). *It's complicated. The social lives of networked teens*. New Haven, CT.: Yale University Press. 288 Pp.

Catalina, B., García, A. y Montes, M. (2015). Jóvenes y consumo de noticias a través de Internet y los medios sociales. *Historia y Comunicación Social*. 20(2): 601-619

Crovi, D. (2016). *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes*. Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca. 222 Pp.

Crovi, D. (2018). *Prácticas comunicativas en entornos digitales*. Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca. 234 Pp.

Crovi, D. y Lemus, M. C. (2016). Jóvenes de la Ciudad de México interactuando en redes digitales. Saberes y percepciones. En D. Crovi (Ed.), *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes* (pp. 67-106). Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca.

Dhir, A., Kaur, P., and Rajala, R. (2018). Why do young people tag photos on social networking sites? Explaining user intentions. *International Journal of Information Management*. 38(1): 117-127.

Drotner, K. and Kobbernagel, C. (2014). Toppling hierarchies? Media and information literacies, ethnicity, and performative media practices. *Learning, Media and Technology*. 39(4): 409-428.

Ekman, B. (2015). *Handbook of Digital Communication*. New York, NY: NY Research Press. 192 Pp.

Elorriaga, A. y Monge, S. (2018). La profesionalización de los youtubers: El caso de Verdeliss y las marcas. *Revista Latina de Comunicación Social*. (73): 37-54.

Establés, M., Guerrero-Pico, M. y Contreras, R. (2019). Jugadores, escritores e influencers en redes sociales: procesos de profesionalización entre adolescentes. *Revista Latina de Comunicación Social*. (74): 214-236.

Fernández, A., Lazkano, I. y Eguskiza, L. (2018). Nativos digitales: Consumo, creación y difusión de contenidos audiovisuales online. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 26(57): 61-69.

Flores, B. y Garay-Cruz, L. M. (2018). Universitarios, desarrollo de habilidades digitales comunicativas. Del ámbito escolar y la vida cotidiana. En D. Crovi (Ed.), *Prácticas Comunicativas en entornos digitales* (pp. 97-112).

Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca. Frutos, B., Pretel, M. y Sánchez, M. (2014). La interacción de los jóvenes con las marcas en las redes sociales: hacia la presencia consentida y deseada. *adComunica, Revista Científica de Estrategias, Tendencias e Innovación en Comunicación*. (7): 69-86.

Fuente, J., Lacasa, P. y Martínez, R. (2019). Adolescentes, redes sociales y universos transmedia: la alfabetización mediática en contextos participativos. *Revista Latina de Comunicación Social*. 74: 172-196.

Fuentes, V., García, M. y Aranda, M. (2017). Grupos de clase, grupos de WhatsApp. Análisis de las dinámicas comunicativas entre estudiantes universitarios. *Prisma Social*. (18): 144-171.

Garay-Cruz, L. M. (2016). Estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional: ¿qué temas les interesan y cómo participan en redes sociales digitales? En D. Crovi (Ed.), *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes* (pp. 107-128). Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca.

García, A., Catalina, B. y Oliva, C. (2017). Estudio sobre frecuencia de búsqueda y consulta de noticias por parte de los jóvenes. *Documentación de las Ciencias de la Información*. 39(0): 283-298.

García-Canclini, N. (2017). Del consumo al acceso: Viejos y jóvenes en la comunicación. *Comunicação Mídia e Consumo*. 14(41): 10-30.

García-Martín, S. y Cantón-Mayo, I. (2019). Uso de tecnologías y rendimiento académico en estudiantes adolescentes. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(59): 73-81

Gavilán, D., Martínez, G. y Fernández, S. (2017). Universitarios y redes sociales informativas: Escepticos totales, moderados duales o pro-digitales. *Comunicar. Revista Científica de Educomunicación*. 25(53): 61-70.

Giraldo, S., Tejedor, S. y Carniel, R. (2017). Motivaciones de uso de las redes sociales de los estudiantes de periodismo de América Latina y España. *Informação & Sociedade*. 27(3): 191-203.

González-Lizárraga, M. G. (2016). Una aproximación a diversos elementos de la cultura digital en estudiantes: caso Universidad de Sonora. En D. Crovi (Ed.), *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes* (pp. 189-206). Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca.

González-Lizárraga, M. G., Hugues, E. y Becerra, M. T. (2018). El nivel socioeconómico y el dominio del idioma inglés, elementos de acceso y ampliación de la brecha en la cultura digital. En D. Crovi (Ed.), *Prácticas*

Comunicativas en entornos digitales (pp. 77-96). Ciudad de México: UNAM/La Biblioteca.

González-Lizárraga, M. G. y López-González, R. (2015). *Cultura digital en la Universidad de Sonora*. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora. 114 Pp.

Gutiérrez-Portlán, I., Román, M. y Sánchez, M. del M. (2018). Estrategias para la comunicación y el trabajo colaborativo en red de los estudiantes universitarios. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 26 (54):91-100.

Gutiérrez-Rentería, M. E., Santana, J. y Pérez, M. (2017). Smartphone: Usos y gratificaciones de los jóvenes en México en 2015. *Palabra Clave*. 20(1): 47-68.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Ciudad de México. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>. Fecha de consulta: 1 de octubre de 2019.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019a). En México hay 74.3 millones de usuarios de Internet. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/OtrTemEcon/ENDUTIH_2018.pdf. Fecha de consulta: 29 de octubre de 2019.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019b). Estadísticas a propósito del día internacional de la juventud. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/Juventud2019_Nal.pdf. Fecha de consulta: 29 de octubre de 2019.

Kaba, B. and Touré, B. (2014). Understanding information and communication technology behavioral intention to use: Applying the UTAUT model to social networking site adoption by young people in a least developed country. *Journal of the Association for Information Science & Technology*. 65(8):1662-1674.

Kalman, J., Guerrero, I. y Hernández, O. (2013). *El profe 2.0. La construcción de actividades de aprendizaje con tecnologías de la información, la comunicación y el diseño*. México: Editorial SM. 126 Pp.

Lacalle, C. (2013). *Jóvenes y ficción televisiva. Construcción de identidad y transmedialidad*. Barcelona, España: Universidad Abierta de Cataluña. 280 Pp.

Lago-Martínez, S. (2015). Los jóvenes, las tecnologías y la escuela. *Revista Integra Educativa*. 7(3):5-20.

Langer, C., Llobet, P., Dalmau, A., Wiart, J., Goedhart, G., Hours, M., ..., and Vrijheid, M. (2017). Patterns of cellular phone use among young people in 12 countries: Implications for RF exposure. *Environment International*. 107: 65-74.

Lemus, M. (2017). Jóvenes frente al mundo: Las tecnologías digitales como soporte de la vida cotidiana. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*. 15(1):161-172.

Lemus, M. (2018). Espacio y tiempo: articulaciones entre dimensiones virtuales y físicas. *Geograficando*. 14(1): 1-11.

López-González, R. (2016). Jóvenes estudiantes de la Universidad Veracruzana interactuando en red. En D. Crovi (Ed.), *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes* (pp. 169-188). Ciudad de México: UNAM/La Biblioteca.

López-González, R., Hernández, D. y Bustamante, J. (2017). *Las tecnologías digitales en los contextos educativos*. La voz de los estudiantes. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas/SocialTIC. 192 Pp.

López, N. y Gómez, L. (2014). La democratización del proceso comunicativo en radio: los jóvenes prosumidores. *Revista de Comunicación Vivat Academia*. (126): 31-53.

López, N., Gómez, L. y Redondo, M. (2014). La radio de las nuevas generaciones de jóvenes españoles: Hacia un consumo on line de música y entretenimiento. *Zer-Revista de Estudios de Comunicación*. 19(37): 45-64.

Martínez-Costa, M. P., Serrano-Puche, J., Portilla, I. y Sánchez-Blanco, C. (2019). La interacción de los jóvenes adultos con las noticias y la publicidad online. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(59):19-28.

Morales, S. (2017). Prácticas juveniles de apropiación tecno-mediática: qué hacen los estudiantes con las computadoras del Programa Conectar Igualdad. *Psicología Conocimiento y Sociedad*. 7(2): 86-109.

Muñoz, J. M. y Segovia, B. (2019). Como interactúan los adolescentes con los videojuegos? Preferencias y habilidades performativas. *Revista Latina de Comunicación Social*. (74): 360-282.

Muros, B., Aragón, Y. y Bustos, A. (2013). La ocupación del tiempo libre de jóvenes en el uso de videojuegos y redes. *Comunicar: Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación*. 20(40): 31-39.

Nielsen (2018). *La conectividad está revolucionando el estilo de vida de los consumidores*. [En línea]. Disponible en: <https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/Comercio20Conectado.pdf>. Fecha de consulta: 1 de octubre de 2019.

Ortiz-Henderson, G. (2015). *Educación, interculturalidad y tecnologías digitales Jóvenes del municipio de Lerma de Villada, Estado de México*. México: Juan Pablos

Editores. 168 Pp.

Ortiz-Henderson, G. y Garay, L. M. (2015). *Comunicación cultura y educación. Nueve aproximaciones al estudio de las tecnologías digitales*. México: Juan Pablos Editores. 256 Pp.

Ortiz-Henderson, G. y Romero, K. E. (2016). L@s jóvenes de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Lerma y su cultura digital. En D. Crovi (Ed.), *Redes sociales digitales. Lugar de encuentro, expresión e interacción para los jóvenes* (pp. 129-168). Ciudad de México: UNAM / La Biblioteca.

Pang, H. (2016). Understanding key factors affecting young people's WeChat usage: an empirical study from uses and gratifications perspective. *International Journal of Web Based Communities*. 12(3):262-278.

Parodi, G., Moreno, T., Julio, C. y Burdiles, G. (2019). Generación Google o Generación Gutenberg: hábitos y propósitos de lectura en estudiantes universitarios chilenos. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(58): 85-94.

Pedrero, L. M., Barrios, A. y Medina, V. (2019). Adolescentes, smartphones y consumo de audio digital en la era de Spotify. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(60):103-112.

Ramírez-Martinell, A. y Casillas, M. A. (2015). *Internet en Educación Superior*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas/SocialTIC. 206 Pp.

Richardson, J. and Milovidov, E. (2019). *Digital Citizenship Education Handbook*. Estrasburgo, Francia: Council of Europe Publishing. [En línea]. Disponible en: <https://rm.coe.int/16809382f9>. Fecha de consulta: 1 de octubre de 2019.

Rodríguez-Gómez, D., Castro, D. y Meneses, J. (2018). Usos problemáticos de las TIC entre jóvenes en su vida personal y escolar. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 26(56): 91-100.

San-Miguel, P. y Sádaba, T. (2019). Consumo de información de moda entre los/as Millenials. *Revista Prisma Social*. (24): 186-208.

Sánchez-Antolín, P., Ramos, F. J. y Blanco, M. (2014). Inequality in Education and New Challenges in the Use of Information and Communication Technologies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 116: 1519-1522.

Sánchez, L., Reyes, A. M., Ortiz, D. y Olarte, F. (2017). El rol de la infraestructura tecnológica en relación con la brecha digital y la alfabetización digital. *Calidad en la Educación*. 12(47):122-144.

Santana, L., Gómez, A. M. y Feliciano, L. (2019). Uso problemático del móvil, fobia a sentirse excluido

y comunicación familiar de los adolescentes. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(59): 39-47.

Scolari, C. y Piñón, J. (2016). Las narrativas transmedia en el mercado audiovisual latino de Estados Unidos. Actores, contenidos y estrategias. *Comunicación y Sociedad*. (27):13-52.

Sola-Morales, S. (2017). Abstención política y nuevas formas de participación política de los jóvenes: Análisis comparativo entre Chile y España. *Revista Latina de Comunicación Social*. (72): 629-648.

Suing, A., Salazar, G., and Ortiz, C. (2018). Are Latin American YouTubers Influential? En T. Antipova and A. Rocha (Eds.), *Digital Science. DSIC18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 341-348). Suiza: Springer International Publishing.

Tapia, L. A. y Valenti, G. (2016). Desigualdad educativa y desigualdad social en México. Nuevas evidencias desde las primarias generales en los estados. *Perfiles Educativos*. 38(151): 32-54.

Thomas, L., Briggs, P., Hart, A., and Kerrigan, F. (2017). Understanding social media and identity work in young people transitioning to university. *Computers in Human Behavior*. 76: 541-553.

Torrego, A. y Gutiérrez, A. (2016). Ver y tuitear: reacciones de los jóvenes ante la representación mediática de la resistencia. *Comunicar, Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación*. 24(47): 9-17.

Valdemoros, A., Sanz, E. y Ponce, A. (2017). Ocio digital y ambiente familiar en estudiantes de Educación Postobligatoria. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 25(50): 99-108.

Vasco, M. y Serrano, G. (2017). Ocio digital en los jóvenes en dificultad social. Bordon. *Revista de Pedagogía*. 69(2): 147-160.

Vidales, N. L. y Rubio, L. G. (2014). Nuevos hábitos de los jóvenes españoles y tendencias de futuro en el consumo de radio y televisión. *Historia y Comunicación Social*. 19: 327-340.

Vizcaíno, A., Contreras, P. y Guzmán, M. D. (2019). Reading and informal learning trends on YouTube: The booktuber. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*. 27(59): 95-104.

Wang, V. and Edwards, S. (2016). Strangers are friends I haven't met yet: a positive approach to young people's use of social media. *Journal of Youth Studies*. 19(9):1204-1219.

Winocur, R. y Sánchez, R. (2018). *Familias pobres y computadoras. Claroscuros de la apropiación digital*. Barcelona, España: Océano Travesía. 284 Pp.



Elaborada por: Mercedes Borja Bravo

Impacto económico de la adopción de tecnología para la producción de frijol en condiciones de temporal en el norte centro de México

Economic impact of technology adoption on bean production under rainfed conditions in northern central Mexico

Mercedes Borja-Bravo^{1*}, Venancio Cuevas-Reyes², Alejandra Velez-Izquierdo³

RESUMEN

La asignación de recursos públicos a la investigación agropecuaria es un factor de desarrollo para el sector agroalimentario del país, pero deben estar orientados eficientemente hacia la generación de productos tecnológicos que otorguen beneficios a la población. El objetivo de este trabajo fue evaluar el beneficio económico a nivel sistema de producción y sociedad, derivado de la inversión pública en investigación y desarrollo, del paquete tecnológico para la producción de frijol en zonas de temporal de la región norte centro de México. Para evaluar el impacto en los sistemas de producción, se aplicaron 42 encuestas a productores adoptantes del paquete tecnológico en municipios de Aguascalientes y San Luis Potosí; mientras que, para el impacto a nivel sociedad, se estimó el retorno económico que produjo la inversión pública utilizada en el proceso de generación y adopción de la tecnología en el periodo 2009a 2025. La medición se realizó a través del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (R B/C). El costo de producción de los adoptantes fue mayor en 36.3 % comparado con la tecnología tradicional; en tanto que, el rendimiento aumentó en 102 % y el ingreso neto incrementó en 322.6 %. A nivel sociedad, la evaluación reveló un VAN de \$ 10.9 millones, lo que representó 4.1 veces lo invertido en la generación de la tecnología. La R B/C fue de 5.1 y la TIR fue mayor a la tasa media real de rendimiento considerada (9.5 %). El desarrollo y transferencia del paquete tecnológico para la siembra de frijol representó una buena inversión de recursos públicos, beneficiando a la población y a los productores, porque incrementa la producción alimentaria y el ingreso neto del agricultor.

PALABRAS CLAVE: excedente económico, ingreso neto, cambio tecnológico, frijol, sector agroalimentario.

ABSTRACT

The allocation of public resources to agricultural research is a factor of development for the agri-food sector of the country and should be efficiently oriented towards the generation of technological products that provide benefits to the population. The aim of this work was to evaluate the economic benefit at a level of production system and society, derived from public investment in research and development of the technological package for dry bean crop production in rainfed areas in north central Mexico. To evaluate the impact on the production systems, 42 questionnaires were administered to users of the technological package in municipalities of Aguascalientes and San Luis Potosí. Likewise, in order to assess the impact at a society level, the economic return produced by the public investment used in the generation and adoption process of technology in the 2009 to 2025 period was estimated. The evaluation was performed through the net present value (NPV), the internal rate of return (IRR) and the cost benefit ratio (B/C R). The production cost for adopters was 36.3 % higher compared to traditional technology; however, the yield increased by 102 % and the net income increased by 322.6 %. At a society level, the evaluation revealed an NPV of \$ 10.9 million, which represented 4.1 times more than what was invested in the generation of technology; the B/C R was 5.1 and the IRR was higher than the real average rate of return considered (9.5 %). The development and transfer of the technological package for sowing beans represented a good investment of public resources, benefiting the population and producers, because it increases food production and farmers' net income.

KEYWORDS: economic surplus, net income, technological change, bean, food industry.

*Correspondencia: borja.mercedes@inifap.gob.mx/ Fecha de recepción: 22 de mayo de 2019/ Fecha de aceptación: 6 de diciembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Campo Experimental Pabellón del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 32.5 carretera Aguascalientes-Zacatecas, Apartado Postal 20, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, C. P. 20670. ²Campo experimental Valle de México del INIFAP, Texcoco, Estado de México, México. ³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria, Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP, Ajuchitlán Colón, Querétaro, México.

INTRODUCCIÓN

En países como México, la investigación agropecuaria se ha considerado como una herramienta generadora de cambio tecnológico para lograr el incremento en la producción de alimentos (Sonnino y Ruane, 2013). Hoy en día, la investigación agrícola ha tomado nuevas orientaciones, puesto que esta debe responder a problemáticas como la disminución de la pobreza rural, la generación de empleos y la inclusión del enfoque de género; además, ha mostrado una importante evolución a partir de la austeridad presupuestaria, de acuerdo a la información de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2004). Este último factor, propicia que los fondos públicos, destinados a la investigación y desarrollo tecnológico, sean cada vez más limitados, y deban ser plenamente justificados con la cuantificación de los impactos que se obtienen a partir de la adopción de las nuevas propuestas tecnológicas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es un Centro Público de Investigación (CPI) que desarrolla proyectos tendientes a resolver problemas del sector agropecuario y forestal; durante el 2018, el INIFAP tenía en operación 254 proyectos de investigación, de los cuales, el 60 % estaban enfocados al subsector agrícola, 18 % al pecuario, 13 % al subsector forestal y 9 % fueron multisectoriales (INIFAP, 2018a). De los proyectos de investigación se generan tecnologías de producto o de proceso que deben cumplir cuatro etapas (experimentación, validación, transferencia y adopción) para asegurar que están siendo utilizadas por los productores. Solo algunas de las tecnologías producidas logran ser plenamente adoptadas por los usuarios, ya que como lo señala Luna-Mena y col. (2016) y Robles y col. (2016), existen factores demográficos y técnico-productivos, así como, una red de relaciones sociales con distintos actores que influyen en el proceso de adopción. No obstante, es la adopción de la tecnología lo que provoca el retorno de la inversión realizada en la investi-

gación, y es a partir de la cuantificación del impacto económico de los productos o tecnologías obtenidas de la investigación como se puede conocer (González-Estrada y col., 2018).

La evaluación de impactos económicos es un tema de importancia para las instituciones que generan tecnología agropecuaria como el INIFAP, ya que es una forma de demostrar el beneficio socioeconómico de los productos resultantes de la investigación. Los impactos económicos pueden ser medidos en dos niveles; el primero, es al contabilizar los beneficios económicos que genera la adopción de una tecnología en la unidad de producción (Ugalde-Acosta y col., 2011; Ireta-Paredes y col., 2018), y el impacto se representa a través del cambio en el ingreso neto de los productores agropecuarios. En un segundo nivel, el impacto se mide en torno al beneficio económico que causa el uso de una tecnología en la sociedad; para este nivel existen diversos métodos que pueden ser utilizados, entre ellos destacan los métodos econométricos, de programación matemática y el de excedentes económicos; sobre el último, existe evidencia de su utilización en los trabajos realizados por Magalhães y col. (2004); Nozar (2007); Sánchez-Toledano y col. (2012) y González-Estrada y col. (2018), el cual se caracteriza por ser el que mejor se adapta para demostrar el impacto que produce una tecnología en el bienestar social a nivel país y tiene la ventaja de utilizar una menor cantidad de información, lo que lo hace factible para su aplicación.

En 2009, en el Campo Experimental Pabellón (CEPAB) del INIFAP, se generó una propuesta de tecnología sobre el manejo integral para la producción de frijol de temporal en la región semiárida del norte centro de México. La tecnología consiste en un paquete tecnológico integrado por varios componentes: 1) preparación de suelo con labranza vertical y horizontal con el uso del multirado; 2) cosecha de agua para la que se utilizan implementos agrícolas como el rodillo Aqueel® y la pileteadora; 3) siembra de

variedades mejoradas precoces, resistentes a sequía, plagas y enfermedades, como pinto Saltillo, con ciclo vegetativo de 90 d y grano de tamaño medio; 4) métodos de siembra con alta densidad de plantas a 3 y 4 hileras en surcos estrechos sobre camas de 1.52 m de ancho; 5) fertilización biológica (uso de biofertilizantes) y fertilización foliar; y 6) control oportuno de malezas y plagas (Osuna-Ceja y col., 2012). La finalidad de esta tecnología es incrementar la productividad en el cultivo de frijol en la región del altiplano semiárido del norte del país.

En el 2018, se registraron cerca de 70 productores que utilizan la tecnología propuesta de INIFAP en los municipios de Salinas de Hidalgo, Villa de Arriaga y Santo Domingo, del estado de San Luis Potosí; y El Llano, Asientos, Rincón de Romos, San Francisco de los Romo y Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, en una superficie de 300 ha. La tendencia sobre el uso de la tecnología por parte de los productores es creciente, debido a su efectividad para incrementar el rendimiento, la rentabilidad y competitividad del cultivo (Borja-Bravo y col., 2018).

Aun cuando la tecnología es aceptada por los productores de frijol, existen interrogantes sobre la misma: ¿el ingreso neto que obtienen las familias campesinas al sembrar frijol es mayor cuando utilizan el paquete tecnológico generado por INIFAP, en comparación con la tecnología tradicional? ¿En qué magnitud se ha recuperado la inversión pública destinada al desarrollo de la tecnología? La respuesta a estas interrogantes proporciona información a los actores que participan en el proceso de adopción de la tecnología.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el beneficio económico a nivel de sistema de producción y sociedad, derivado de la inversión pública en investigación y desarrollo de un paquete tecnológico para la producción de frijol en zonas de temporal, de la región norte centro de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo, la investigación se realizó en 2 etapas. En la primera, se consideraron actividades que permitieran medir el cambio en el ingreso neto de los productores de frijol que utilizaron el paquete tecnológico. La evaluación se realizó con productores adoptantes de la tecnología ubicados en los municipios de Asientos, Rincón de Romos, San Francisco de los Romo, Pabellón de Arteaga y El Llano en Aguascalientes; y en Salinas de Hidalgo, Villa de Arriaga y Santo Domingo en San Luis Potosí. Esta área se caracteriza por presentar latitudes en un rango de 1 700 m a 2 200 m sobre el nivel del mar (msnm); el clima es seco y semiseco, con precipitación pluvial promedio histórica de 400 mm a 500 mm en los municipios de Aguascalientes, entre 300 mm y 400 mm en Salinas y Santo Domingo y 600 mm en Villa de Arriaga. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017), la temperatura promedio anual es de 12 °C a 18 °C. En esta área se observa una arraigada tradición en la producción de la leguminosa, y se caracteriza por cultivar frijol en ambientes con temporal deficiente, donde la sequía causa bajos rendimientos en la producción de grano (Osuna-Ceja y col., 2013).

Para obtener la información, se aplicó una encuesta a los productores adoptantes que utilizaron la tecnología durante el ciclo agrícola P-V 2017 y 2018. En la encuesta, se utilizó un cuestionario de 53 preguntas, mismo que fue validado con 3 productores, lo que permitió realizar las correcciones correspondientes en el formato para su aplicación final. El tamaño de muestra se determinó mediante el diseño de Muestreo de Proporciones de Varianza Máxima (MPVM) (Infante y Zarate, 1990); la fórmula se expresa a continuación:

$$n = \frac{N p(1 - q)}{(N - 1) \left(\frac{\beta}{Z_{1-\alpha}} \right)^2 + p(1 - q)}$$

Donde:

n fue el tamaño de la muestra, N el tamaño de la población objetivo, igual a 70 productores, β fue la precisión en porcentaje (10 %) y $Z_{1-\alpha}$ el valor de confiabilidad al 95 % (1.64), p la probabilidad de fracaso (50 %) y q la probabilidad de éxito (50 %). El tamaño de la muestra fue de 35 productores, pero se realizaron 42 encuestas que representaron el 60 % de la población. La selección de los productores a encuestar se realizó por conveniencia, considerando a aquellos que tuvieran la disponibilidad de responder la encuesta y que emplearan la tecnología en sus unidades de producción.

La encuesta se centró en obtener información sobre los costos de producción del sistema de producción tradicional del productor y del sistema, cuando utiliza la tecnología, así como de aspectos relacionados al proceso de adopción. La aplicación de encuestas se realizó durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2018. La fase de campo comenzó en los municipios de San Luis Potosí, y posteriormente en los de Aguascalientes; para la aplicación de la encuesta, se visitó a cada uno de los productores en sus domicilios.

Para determinar el impacto económico a nivel sistema de producción, a través del cambio en el ingreso neto del productor, se calcularon los costos de producción, que con base en Ayala-Garay y col. (2014) y Carrillo-Martínez y col. (2019), fueron divididos en: a) costos directos, que contabilizaron el pago por fertilizantes químicos y orgánicos, plaguicidas, fungicidas, herbicidas, pago por labores mecanizadas y manuales y; b) costos indirectos, que incluyeron los gastos generales, como el combustible ocupado en el acarreo de la producción y costo de oportunidad de la inversión. Además, se consideraron los precios observados en insumos y mano de obra durante en el ciclo P-V 2018.

En la estimación del costo total por ha se consideraron r productores de frijol que usan

i insumos en su proceso de producción, y se calculó con la siguiente fórmula:

$$CT_r = \sum_{i=1}^I [p_{ri} \times x_{ri}]$$

Donde:

CT es el costo total de producción desembolsado por el productor r ; p_{ri} es el precio del insumo i que paga el productor r ; x_{ri} es la cantidad de insumo i que compra y usa el productor r .

Para estimar el ingreso por ha se utilizó el precio de venta del frijol en 2018, y el rendimiento promedio reportado por los productores. La fórmula para la estimación fue la siguiente:

$$IT_r = p_r \times y_r$$

Donde:

IT es el ingreso total que obtiene el productor r ; p_r es el precio de venta recibido por el productor r ; y_r es el rendimiento obtenido por el productor r . El ingreso neto del productor r es la diferencia entre el ingreso total y el costo total de producción, esto es:

$$IN_r = [p_r \times y_r] - \sum_{i=1}^I [p_{ri} \times x_{ri}] = IT_r - CT_r$$

La variación del ingreso neto de los productores (VINP) se estimó de la siguiente manera:

$$VINP = \left[\frac{IN_{rti} - IN_{rtt}}{IN_{rtt}} \right] \times 100$$

Donde:

IN_{rti} es el ingreso neto del productor r al utilizar la tecnología INIFAP (ti); IN_{rtt} es el ingreso neto del productor r al utilizar la tecnología tradicional (tt).

En la segunda etapa, se evaluó el beneficio económico que genera la inversión pública en investigación agrícola, para ello, se utilizó el enfoque del concepto del excedente económico basado en la teoría del bienestar Marshaliano, mediante la técnica del beneficio costo (Rodrigues-de-Alencar y col., 2004). Para realizar esta fase se consideraron las va-

riantes en el enfoque del excedente económico propuestas por Dias y col. (2008), quienes señalaron que la elasticidad de la oferta depende del tipo de impacto de la innovación tecnológica, es decir, si la innovación provoca un aumento de la producción visible en mayores rendimientos o mayor superficie sembrada, se considera una curva de demanda perfectamente elástica y una curva de oferta vertical.

La estimación del retorno económico de la investigación se basó en la comparación de los costos de inversión de la misma y el cambio en el ingreso que provocó la adopción de la tecnología generada por INIFAP en el excedente económico de los productores que la adoptaron. La medición se realizó a través del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (R B/C) para el flujo de los fondos que surgen de ambos conceptos.

La información que se requirió fue la referente a los costos que implicó el proceso de investigación y transferencia de tecnología. Los costos fueron los siguientes: 1) costo de personal que se refiere a la remuneración anual bruta del personal implicado en la generación y transferencia de la tecnología; 2) costo de la investigación, donde se consideró el porcentaje del presupuesto asignado para la ejecución del proyecto en el cual se generó la tecnología; 3) depreciación del capital, que correspondió a la depreciación anual de los bienes de capital del centro de investigación, en el cual se generó la tecnología y que fueron empleados en la generación de la tecnología; 4) costo de administración, que implicó el pago del personal administrativo, así como gastos fijos (vigilancia, limpieza, teléfono, energía eléctrica, internet, agua, entre otros) del centro de investigación (CEPAB) donde se generó la tecnología; 5) costo de transferencia de la tecnología, donde se consideraron los costos realizados por el centro de investigación para difundir y divulgar la adopción de la tecnología evaluada (material impreso y accio-

nes de capacitación a productores y técnicos). Los costos fueron obtenidos mediante una entrevista personal estructurada al investigador del INIFAP, responsable y generador de la tecnología, en la cual se preguntó sobre aspectos relacionados con el proyecto de investigación, investigadores e instituciones participantes, personal de apoyo empleado, materiales y equipo utilizado y actividades realizadas en la etapa de transferencia de la tecnología. También, se realizó una consulta personal a tres administrativos del CEPAB, y consulta en bases de datos sobre entregables del área técnica y desempeño institucional del Sistema Institucional de la Gestión Integral (SIGI) del INIFAP (2018b).

El beneficio económico se estimó con diferentes variables; primero, se calculó la ganancia unitaria al comparar el ingreso del productor, obtenido con el uso de la tecnología tradicional y con la nueva tecnología. La ganancia unitaria se estimó con la siguiente fórmula:

$$G = (R_{tn} - R_{tt}) * P_x$$

Donde:

G es la ganancia unitaria, R_{tn} es el rendimiento obtenido con la tecnología nueva, R_{tt} es el rendimiento obtenido con la tecnología tradicional, P_x es el precio de venta del productor. La información se obtuvo para el periodo 2012 a 2018, y provino de reportes técnicos y bitácoras de los investigadores implicados en la generación, validación y transferencia de la tecnología, y se complementó con información obtenida en la encuesta a productores.

Otra variable que se determinó fue el porcentaje de participación del INIFAP en el proceso de investigación; con respecto a este valor, según Dias y col. (2008) señalaron que no puede ser mayor a 70 %, ya que existen otras instancias e instituciones que intervienen en el proceso; por tal motivo, se realizó un consenso entre los investigadores generadores y transferidores de la tec-

nología, y determinaron utilizar el valor máximo propuesto (70 %) como el porcentaje en el que se le atribuye al instituto la generación y transferencia de la tecnología nueva.

Otra variable fue la superficie de siembra en la que se utilizó la tecnología, dicha información fue proporcionada por los extensionistas que brindan asistencia técnica a productores de frijol en los municipios del área de estudio para el periodo 2012 a 2018. Sin embargo, para estimar el flujo de beneficios económicos, se consideró la superficie adoptada con la tecnología para el periodo 2012-2025, y para obtener la información faltante, se parametrizó la curva sigmoidea (González-Estrada y col., 2018) que representará la superficie de adopción para los años posteriores a 2018. Para la parametrización del modelo, se consideraron 1 500 ha como la superficie potencial de aplicación de la tecnología, que representa la superficie total de los productores que han recibido asistencia técnica sobre el paquete tecnológico por parte de los extensionistas que operan en el área de estudio.

El costo y beneficio de la tecnología fue actualizado y se tomó la tasa de descuento de 9.5 % propuesta por González-Estrada y col. (2018), quienes la describen como la tasa media real de rendimiento, libre de impuestos, que recibe el capital en forma de inversión de portafolio y como inversión nacional y extranjera directa.

Finalmente, con los flujos de costos y beneficios actualizados se estimaron los indicadores del VAN, que es la suma de los flujos netos actualizados a la tasa de interés social, la TIR, que es la tasa que reduce a cero el flujo corriente de beneficios netos del proyecto y la R B/C, que representa el resultado de dividir la suma del flujo de beneficios actualizados entre la suma del flujo de costos actualizados (González y Wood, 2006; González-Estrada y col., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Impacto económico a nivel de sistema de producción

Los productores de la región de estudio se caracterizaron por cultivar una superficie promedio de 7.9 ha de frijol por temporal. El 75.5 % de ellos siembra la variedad pinto Saltillo, y el resto combina las variedades flor de mayo, flor de junio y negro. En el sistema tradicional, los productores realizaban siembras en surcos a una distancia aproximada de 80 cm; las prácticas de fertilización, manejo de plagas, enfermedades y maleza eran poco comunes, ya que esto elevaba los costos de producción y al sembrar en condiciones de secano, el riesgo de no recuperar la inversión era alta. El costo de producción que implica el sistema tradicional de los productores fue de \$ 5 239 por ha (Tabla 1), y las labores mecanizadas y manuales representaron el mayor porcentaje del costo total, 36.5 % y 30 % respectivamente; el resto fue atribuido a la compra de insumos

■ **Tabla 1. Variación en el ingreso neto de los productores de frijol que utilizan la tecnología INIFAP.**
Table 1. Variation in the net income of bean producers using INIFAP technology.

Concepto	Tecnología tradicional	Nueva tecnología	Diferencia	Porcentaje
Costo de producción (\$/ha)	5 239	7 141	1 902	36.3
Costo medio de producción (\$/kg)	10.6	7.1	- 3.5	- 33
Rendimiento (T/ha)	495	1 000	505	102
Precio de venta del productor (\$/kg)	12.8	12.8	0	0.0
Ingreso bruto (\$/ha)	6 240	13 293	7 053	113.0
Ingreso neto (\$/ha)	1 375	5 811	4 436	322.6

agrícolas (semilla y agroquímicos) y combustible. El rendimiento de grano que obtuvieron los productores con la tecnología tradicional fue en promedio de 495 kg/ha (Tabla 1).

Al utilizar la nueva tecnología, los productores de frijol siembran en camas; a una distancia entre surcos de 40 cm a 30 cm (3 o 4 hileras), por lo que la densidad de plantas es mayor, en promedio 140 000 por ha. Esto representa el 56 % más que en el sistema tradicional, que es de 90 000 plantas por ha. El costo de producción de frijol con la nueva tecnología fue un 36.3 % mayor (\$ 7 141), comparado con el costo de la tecnología tradicional (Tabla 1); los mayores incrementos fueron en los rubros de semilla por la siembra de mayor densidad de plantas, mano de obra y labores mecanizadas. El rendimiento obtenido con la nueva tecnología osciló entre los 600 kg/ha y 1 800 kg/ha, y el promedio fue de 1 000 kg/ha, que significó el 102 % más que el obtenido con la tecnología tradicional (Tabla 1). El incremento del rendimiento lo explicaron Osuna-Ceja y col. (2012), como un efecto positivo a la mayor densidad de plantas que propone la nueva tecnología. Esto permite tener mayores índices de cobertura y área foliar, favoreciendo la conservación de humedad del suelo, menor crecimiento de malezas y mayor captación de energía solar. Otros factores que influyen es la cosecha de agua *in situ* y el genotipo de la planta.

Con la nueva tecnología se observó que los costos de producción totales incrementaron, pero el costo medio de producción por kg de frijol disminuyó; por lo tanto, el aumento en el rendimiento por el uso de la nueva tecnología y la disminución del costo medio de la producción por kg de frijol, son variables que reflejan una mayor productividad de los sistemas de producción. Según Ayala-Garay y col. (2013), una mejor productividad radica en que los costos medios de producción disminuyan, y que los rendimientos se mantengan o incrementen. Esta situación repercute directamente en la ganancia unitaria del productor. Así mismo, los autores expresaron

que la disminución del costo medio se puede alcanzar al hacer un buen uso de la tecnología que incrementa el rendimiento.

Los ingresos netos obtenidos por la producción de frijol, aumentaron en 322.6 %, lo que indica que la nueva tecnología les permite a los productores obtener mayores ganancias netas que repercutirán directamente en el ingreso total obtenido en las unidades de producción y las familias rurales de la región de estudio; y este incremento en el ingreso neto, es derivado de la mayor productividad que alcanza la producción de frijol en temporal, al realizar las prácticas agronómicas que comprende el paquete tecnológico. Ante la cuantificación del incremento del ingreso neto de los productores por la implementación de la tecnología podrán recomendar y motivar a otros productores para que la usen.

El impacto económico que la tecnología ha tenido a nivel sociedad se estimó con los costos necesarios para el desarrollo de la investigación y transferencia de tecnología que realizó la institución (Tabla 2). Las principales actividades de generación de la tecnología se llevaron a cabo de 2009 a 2012. La mano de obra (pago de sueldos a investigadores y personal de apoyo) es un rubro que se contabilizó en el gasto de investigación y representó el 79.2 % del total de este concepto durante los 4 primeros años. Estos resultados coinciden con los reportados por González-Estrada y col. (2018), quienes calcularon un gasto promedio de personal investigador y de apoyo de 86 % en la generación de otras tecnologías de INIFAP. A partir de 2011, se inició el proceso de transferencia de tecnología, el cual duró hasta 2016 y representó el 21.94 % en el total de la inversión realizada para la generación de la tecnología (Tabla 2).

El beneficio económico bruto que generó la tecnología durante el periodo 2012 a 2018 fue de 1 791 000 (Tabla 3). La ganancia unitaria y la ganancia neta fueron estimadas, la dife-

■ **Tabla 2. Costos de la investigación y transferencia de la tecnología (\$).**

Table 2. Costs of research and transfer of technology (\$).

Año	Gasto por investigación*	Depreciación de capital	Costos de administración	Costos de transferencia	Total
2009	517 264	82 092	30 875	0	630 231
2010	837 231	82 092	30 875	0	950 198
2011	404 031	82 092	30 875	89 000	605 998
2012	197 748	82 092	30 875	312 882	623 597
2013	0	0	15 438	103 000	118 438
2014	0	0	7 719	109 000	116 719
2015	0	0	3 859	54 000	57 859
2016	0	0	3 859	18 000	21 859

*El gasto de investigación incluyó el gasto de personal investigador y personal contratado (técnicos y auxiliares de campo); además del costo de los insumos empleados en la generación de la tecnología (análisis de laboratorio, experimentos, insumos agrícolas, entre otros).

rencia es que esta última es la aportación monetaria por hectárea de la tecnología al considerarse únicamente el porcentaje de participación del instituto en la generación y transferencia tecnológica, en este caso 70 %. Finalmente, la ganancia neta se multiplicó por la superficie de tierra en la que la tecnología se utilizó, lo que dio como resultado el beneficio económico bruto.

En la superficie que se utilizó, se muestra el nivel de adopción actual de la nueva tecnología; se obtuvo el proceso de adopción futuro que tendrá la tecnología para la pro-

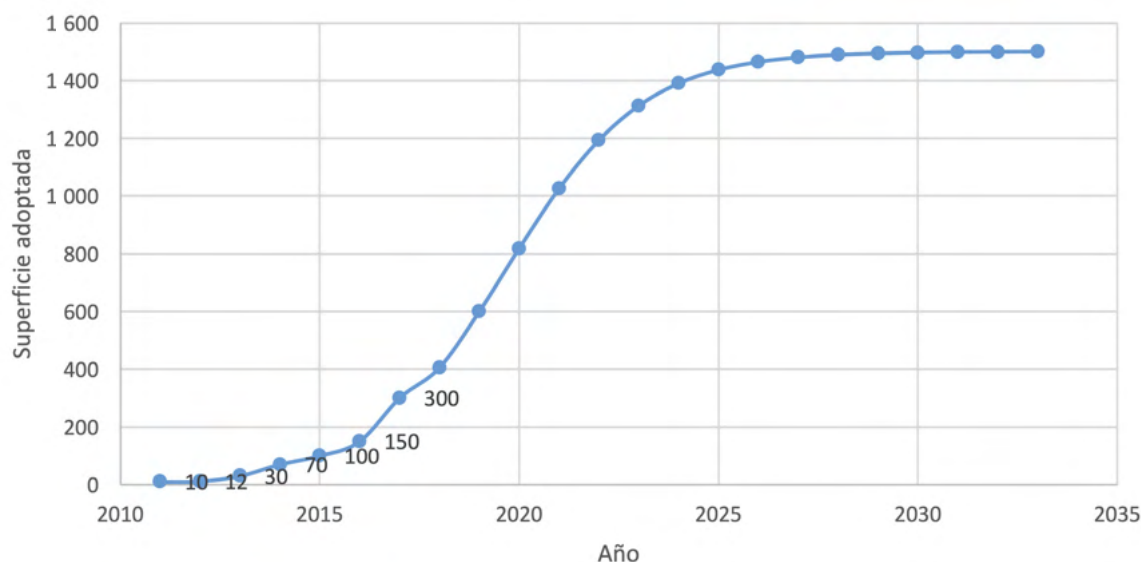
ducción de frijol en temporal, con base en los resultados obtenidos en campo (Figura 1). La adopción de la tecnología se ha realizado de manera paulatina, ya que como señalan Salas-González y col. (2013), esta comienza con el primer conocimiento y termina cuando el individuo incorpora a su sistema de trabajo la innovación, con la finalidad de elevar la productividad física de su predio y la rentabilidad económica de su sistema de producción.

La tecnología evaluada en este estudio tuvo un proceso de generación de 4 años y el pro-

■ **Tabla 3. Beneficios económicos brutos de la tecnología.**

Table 3. Gross economic benefits of technology.

Año	Número de productores adoptantes	Ganancia unitaria	Ganancia neta (INIFAP)	Área de adopción	Beneficio económico
		\$/ha		ha	\$
2012	3	3 240	2 268	10	22 680
2013	11	2 376	1 663	12	19 958
2014	20	2 300	1 610	30	48 300
2015	28	3 700	2 590	70	181 300
2016	45	11 160	7 812	100	781 200
2017	55	9 300	6 510	150	976 500
2018	70	8 528	5 970	300	1 791 000



■ **Figura 1. Superficie de adopción de la tecnología para la producción de frijol en temporal (ha).**

Figure 1. Technology adoption surface for beans production in rainfed conditions (ha).

ceso de adopción de la tecnología inició en 2012. Entre los factores limitantes para que los productores adoptaran la tecnología se distinguió la falta de maquinaria adecuada para realizar el método de siembra y la captación de agua de lluvia *in situ*; además, la falta de recursos económicos para la compra de una mayor cantidad de semilla.

Según los resultados obtenidos en la encuesta, en el 2018, el 51.1 % de los productores tenían 2 años de conocer la tecnología y el 70 % de ellos, la habían utilizado en los ciclos agrícolas de 2017 y 2018, el 20 % la había utilizado durante 3 años y solo el 10 % de los entrevistados la usaron por más de 5 años. Los resultados dan lugar a suponer que la superficie de frijol donde se utilice la tecnología estará en crecimiento para los años posteriores a 2018, y se estabilizará a partir del 2025. Estas características del proceso de adopción de la tecnología fueron consideradas en la estimación de los beneficios económicos netos (Tabla 4), donde, en el año 2025, el total del flujo de beneficio neto actualizado fue de 10.93 millones de pesos, obtenido por el uso de la tecnología, y superará el total del flujo del costo actualizado que

fue de 2.68 millones de pesos, derivado de la inversión para la generación y transferencia de tecnología.

Con respecto a los indicadores económicos el VAN del flujo de los beneficios económicos generados por el uso de la tecnología fue de 10.9 millones de pesos actualizados a precios de 2018 (Tabla 5), lo que representó 4.1 veces el flujo total de los costos actualizados, que fue lo invertido en la generación de la tecnología; es decir, con la adopción de la tecnología se cubren los costos realizados en el proceso de generación y transferencia, así como la tasa media real de rendimiento de 9.5 %; además genera una riqueza adicional de 10.9 millones de pesos.

La relación beneficio costo fue de 5.1, lo que significó que, por cada peso invertido en la generación y transferencia de la tecnología evaluada, se obtuvo una ganancia de 4.1 pesos para los productores adoptantes y la sociedad. Por último, la TIR fue de 16.5 % mayor a 9.5 %, que fue la tasa media real de rendimiento considerada e indica que los recursos públicos asignados a la generación y transferencia del paquete tecnológico de fri-

■ **Tabla 4. Beneficios económicos netos de la tecnología (\$).**
 Table 4. Net economic benefits of technology (\$).

Año	Flujo de costos actualizados	Flujo de beneficios actualizados	Flujo de beneficio neto actualizado
2009	630 231		- 630 231
2010	867 761		- 867 761
2011	505 409		- 505 409
2012	474 965	17 274	- 457 691
2013	82 382	13 883	- 68 500
2014	74 143	30 681	- 43 461
2015	33 565	105 175	71 610
2016	11 581	413 869	402 289
2017		472 454	472 454
2018		791 297	791 297
2019		976 370	976 370
2020		1 319 713	1 319 713
2021		1 643 544	1 643 544
2022		1 881 008	1 881 008
2023		1 999 016	1 999 016
2024		2 008 215	2 008 215
2025		1 941 911	1 941 911
Total	2 680 037	13 614 411	10 934 374

■ **Tabla 5. Indicadores económicos de la tecnología.**
 Table 5. Economic indicators of technology.

Indicador económico	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 10 934 374
Tasa Interna de Retorno (TIR)	16.5 %
Relación Beneficio Neto (R B/C)	5.1

jol fue una buena alternativa de inversión, porque se obtuvo una rentabilidad más alta que la de la tasa de referencia. Por todo lo anterior, se puede deducir que el paquete tecnológico para la producción de frijol en condiciones de temporal representa una opción eficiente en la asignación de recursos de investigación, ya que la inversión realizada retribuyó económicamente a los productores y la sociedad, y el impacto será mayor si au-

menta el número de los productores que adopten la tecnología productiva propuesta.

Al realizar esta evaluación, el INIFAP cuenta con información sobre el impacto de los productos que está creando y sobre la retribución económica que la sociedad obtiene por los recursos recibidos para la generación de tecnología. La información también puede ser tomada como referencia por el orden gubernamental para la definición de políticas públicas, ya que, si la innovación tecnológica produce un impacto económico positivo, se puede utilizar como un elemento para la definición de programas de extensión, capacitación y apoyo, que propicien el bienestar en las familias campesinas que aún no la utilizan.

Consideraciones para la evaluación de impactos económicos

Como se ha mostrado, la investigación como bien público tiene retornos en el corto, mediano y largo plazo, cuando existe una transferencia directa al sector productivo. En el corto y mediano plazo, se puede obtener a través de la comparación de la tecnología tradicional contra la tecnología innovadora, y esta última debe tener la característica de incrementar la productividad a través del mayor rendimiento o disminución de los costos. En este tipo de impacto, la variación del ingreso neto es uno de los indicadores que se pueden utilizar, y para esto se requiere identificar unidades de producción que utilizan la tecnología y compararla con unidades que emplean la tecnología tradicional. El reto para evaluar este impacto consiste en identificar adecuadamente la tecnología, la región donde se está utilizando y sobre todo los productores que realmente la adoptan.

En el largo plazo, el impacto económico, a nivel de la sociedad, es el que puede determinar el efecto que tiene la tecnología en el bienestar. Una de las características de este es que se requiere de un periodo de tiempo largo, en el cual, los usuarios de la tecnología la hayan empleado en sus sistemas de producción y que esto genere información para medir los beneficios reales. El periodo de evaluación dependerá del tipo de tecnología que se quiera evaluar; por ejemplo, González y Wood (2006) mostraron en sus resultados que, en el caso del mejoramiento genético de algunas semillas como maíz, frijol y cebada, la inversión comienza a dar rendimientos positivos a la sociedad a partir del décimo año; mientras que, existen otro tipo de tecnologías, como la implementación de alguna técnica agronómica, que requiere en promedio de 5 años para que el uso de la tecnología arroje beneficios positivos. Es por lo anterior que, Dias y col. (2008), recomiendan estimar la tasa de retorno de la inversión en investigación agropecuaria para un periodo proyectado de 10 a 15 años. Adicionalmente, si las instituciones de investigación quisieran

medir el impacto económico a nivel sociedad sobre el uso de las tecnologías que generan, requieren establecer una estrategia de recopilación de información que abarque desde el momento de plantear el proyecto de investigación, la generación de la tecnología y el proceso de transferencia y adopción, con la finalidad de tener disponibles los datos necesarios para estimar los indicadores.

CONCLUSIONES

La evaluación del impacto económico que genera el uso del paquete tecnológico para la producción de frijol en zonas de temporal de la región norte centro de México, revela la importancia de destinar inversión pública a la investigación, desarrollo y transferencia de tecnología, sobre todo en aquella que puede detonar en el mediano plazo una mayor productividad y crecimiento económico en el sector agropecuario del país. En un primer plano, los productores que implementan el paquete tecnológico en sus sistemas de producción obtienen una variación positiva en su ingreso neto; además, incrementan la productividad de su sistema al obtener mayores rendimientos y un menor costo medio de producción. Por otro lado, la evaluación del impacto económico a nivel sociedad determina que los mexicanos son beneficiados al destinar recursos económicos en la generación y proceso de adopción de esta tecnología, puesto que los beneficios económicos netos que se obtendrán serán mayores a la inversión realizada. En suma, el paquete tecnológico para la producción de frijol en condiciones de temporal es una tecnología que justifica la inversión realizada para su generación, y que además contribuye al bienestar de los productores agrícolas y de la sociedad. La evaluación de impacto económico realizada en este trabajo es un ejemplo de cómo medir las aportaciones de la investigación científica y la adopción de tecnología. Si bien, los resultados obtenidos no se pueden generalizar para todas las inversiones en ciencia, la metodología sí puede ser replicada en evaluaciones de tecnologías con características similares. Es preciso continuar

con la evaluación de impactos por el uso de tecnologías en el sector agropecuario y fores-

tal, que además de lo económico, deben considerar el impacto social y ambiental.

REFERENCIAS

- Ayala-Garay, A. V., Rivas-Valencia, P., Cortes-Epiniza, L., De-la-O-Olán, M., Escobedo-López, D. y Espitia-Rangel, E. (2014). La rentabilidad del cultivo de amaranto *Amaranthus* spp. en la región centro de México. *Ciencia Ergo-Sum*. 21(1): 47-54.
- Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann, R., De-la-O-Olán, M., Preciado-Rangel, P., Almaguer-Vargas, G. y Rivas-Valencia, P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 10(4): 381-395.
- Borja-Bravo, M., Osuna-Ceja, E. S., Arellano-Arciniega, S., García-Hernández, R. V. y Martínez-Gamino, M. A. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de frijol en condiciones de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 41(4): 443-450.
- Carrillo-Martínez, C. J., Álvarez-Fuentes, G., Aguilar-Benítez, G., García-López, J. C. y Contreras-Servín, C. (2019). Rentabilidad de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y chile (*Capsicum annuum*) en el municipio de Morelos, Zacatecas. *Acta Universitaria*. 29(2019): 1-16.
- Dias, A. A. F., Stachetti, R. G. y Vedovoto, G. L. (2008). *Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: Metodologia de referencia*. Brasília DF: Embrapa Informação Tecnológica. 189 Pp.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2004). Política de desarrollo agrícola. Conceptos y principios. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5673s/y5673s00.htm#Contents>. Fecha de consulta: 24 de enero de 2019.
- González-Estrada, A., Camacho-Casas, M. A. y Villaseñor-Mir, H. E. (2018). *Impactos económicos, sociales y ambientales de la variedad de trigo CIRNO*. México: Publicación técnica No. 31. Serie: estudios de evaluación del impacto económico de productos del INIFAP. 56 Pp.
- González, E. A. y Wood, S. (2006). *Impactos económicos de tecnologías para el campo mexicano* (Libro científico No. 1.). México: INIFAP. 411 Pp.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Mapa digital de México. [En línea]. Disponible en: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIxLjkxMDUyLGxvbjotMTAwLjMzMzI4LHo6N-CxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=>. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2018.
- Infante, G. S. y Zárate, L. G. P. (1990). *Métodos estadísticos: un enfoque multidisciplinario* (Segunda edición). México: Ed. Trillas. 643 Pp.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2018a). Proyectos de investigación. [En línea]. Disponible en: http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Investigacion_Innovacion/Contenido/Proyectos_Investigacion.aspx. Fecha de consulta: 15 de enero de 2019.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2018b). Sistema Institucional de la Gestión Integral (SIGI). [En línea]. Disponible en: <http://login.inifap.gob.mx/>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2018.
- Ireta-Paredes, A. R., Pérez-Hernández, P., Bautista-Ortega, J. y Rosas-Herrera, E. L. (2018). Análisis de la red de valor de la calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en Campeche, México. *Agrociencia*. 52(1): 151-167.
- Luna-Mena, B. M., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H. y Rendón-Mendel, R. (2016). Factores e innovaciones para la adopción de semillas mejoradas de maíz en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (15): 295-3007.
- Magalhães, M., Irias, L., Rodigheri, H., Vedovoto, G. y Wander, A. (2004). Sistema de avaliação dos impactos econômicos e ambientais da Embrapa-Estudo de caso. [En línea]. Disponible en: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141266/1/2004-Honorino-SOBER-Sistema-de-Avaliacao.pdf>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2018.
- Nozar, G. (2007). Evaluación del impacto económico, social y ambiental de la investigación de INIA en arroz y lechería. Periodo 1990-2005. [En línea]. Disponible en: http://argus.iica.ac.cr/Esp/organizacion/LTGC/TecnologiaeInnovacion/Publicaciones_TeI/EvalImpacto_INIA_arroz_leche.pdf. Fecha de consulta: 12 de junio de 2018.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S. y Martínez-Gamiño, M. A. (2012). Rendimiento de frijol pinto saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(7): 1389-1400.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(8): 1209-1221.

Robles, V. M., Rendón, M. R., Toledo, J. U. y Díaz, J. J. (2016). Adopción de prácticas de agricultura de conservación en Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (15): 3103-3113.

Rodrigues-de-Alencar, J., Herruzo, C., Hoefflich, V. A. y Batista-de-Oliveira, E. (2004). Impactos econômicos da pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para manejo florestal de *Pinus* SPP. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. 21(3): 425-446.

Salas-González, J. M., Leos-Rodríguez, J. A., Sarganaga-Villegas, L. M. y Zavala-Pineda, M. J. (2013). Adopción de tecnologías pro productores del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 4(2): 243-254.

Sánchez-Toledano, B. I., Ramírez, A., Domingo, M., Rumayor-Rodríguez, A. F. y Reveles-Torres, L. A. (2012). Impacto económico, social y ambiental del manejo integral de huertos de durazno en Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(2): 373-379.

Sonnino, A. y Ruane, J. (2013). La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícola. In Hodson y Zamudio (Eds), *Biotecnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia* (pp. 25-52). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Swenson, A. and Haugen, R. (2013). Projected 2014 crop budgets. North West, North Dakota. NDSU, extension service. [En línea]. Disponible en: <http://www.ag.ndsu.edu/williamscountyextension/agriculture/projected-2014-crop-budgets-for-north-west-north-dakota/view>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2017.

Ugalde-Acosta, F. J., Tosquy-Valle, O. H., Lopez-

Salinas, E. y Francisco-Nicolas, N. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con riego en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1): 29-36.



Imagen de: pixel2013 en Pixabay

Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica

Evaluation of the stability of orange juice capsules obtained by ionic gelation

Juan Francisco Castañón-Rodríguez, Maricela Guadalupe Soto-Gómez, Rocío Margarita Uresti-Marín*

RESUMEN

El método de gelificación iónica, como técnica de encapsulación, se basa en las interacciones entre hidrocoloides, las cuales previenen la posibilidad de daño de compuestos bioactivos presentes en alimentos, tales como los jugos de cítricos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la estabilidad de las cápsulas de jugo de naranja, obtenidas mediante gelificación iónica, utilizando pectina y alginato de sodio como agentes encapsulantes. Se determinaron la pérdida de peso, atributos de color, diámetro, morfología macroscópica y densidad en cápsulas elaboradas. Se utilizó un diseño factorial, modificando la concentración de pectina de alto metoxilo (1.5 %, 2 % y 2.5 % p/v), pH (2.5, 3.5 y 4.5) y sólidos solubles totales (SST) a 5 °Brix y 15 °Brix, manteniendo constante la concentración de alginato de sodio al 0.5 % (p/v), y se almacenaron a temperatura ambiente (26 °C) y refrigeración (4 °C) durante 12 d. Las cápsulas presentaron principalmente forma esférica (> 45 %). Los atributos de color permanecieron estables durante 12 d de almacenamiento. Los SST iniciales y el pH influyeron en la estabilidad de las cápsulas. A una concentración de 15 °Brix y pH 2.5 no se pudieron formar de manera adecuada las cápsulas, presentando mayor sinéresis y morfologías amorfas. Las cápsulas de jugo de naranja con concentración de pectina 2 % (p/v), alginato de sodio 0.5 % (p/v), SST 5 °Brix y pH 2.5, se mantuvieron estables con parámetros de calidad apropiados al ser almacenadas a temperatura de refrigeración (4 °C). El método de gelificación iónica mediante encapsulación ofrece una alternativa para prolongar la vida útil del jugo, y el desarrollo de nuevos productos elaborados a partir de este cítrico.

PALABRAS CLAVE: jugo de naranja, encapsulación, gelificación iónica, alginato de sodio, pectina.

ABSTRACT

The ionic gelation method as an encapsulation technique is based on the interactions between hydrocolloids, which prevent the possibility of damage of bioactive compounds present in foods, such as citrus juice. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the stability of the orange juice capsules obtained by ionic gelation using pectin and sodium alginate as encapsulating agents. The effects of the gelling agents on the stability were determined by the measurement of weight loss, diameter, color attributes, diameter, macroscopic morphology, density in elaborate capsules. In addition, a factor analysis design was used by modifying the concentration of high methoxyl pectin (1.5 %, 2 % and 2.5 % w/v), pH (2.5, 3.5 and 4.5) and total soluble solids (TSS) at 5 °Brix and 15 °Brix, maintaining the concentration of sodium alginate constant at 0.5 % (w/v). The capsules were stored at room temperature (26 °C) and refrigeration (4 °C) for 12 d. They mainly presented a spherical shape (> 45 %). The color attributes remained stable even after 12 d of storage. The initial TSS and pH influenced the stability of the capsules. At a concentration of 15 °Brix and pH 2.5, the capsules could not be adequately formed, capsules presenting greater syneresis and amorphous morphologies. However, the orange juice capsules remained stable for more than 2 weeks and with stable quality parameters when stored at refrigeration temperature (4 °C), pectin concentration 2 % (w/v), sodium alginate 0.5 % (w/v), TSS 15 °Brix and pH 2.5. The ionic gelation method through encapsulation offers an alternative to extend the shelf life of the juice and the development of new products made from this citrus.

KEYWORDS: orange juice, encapsulation, ionic gelation, sodium alginate, pectin.

*Correspondencia: ruresti@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 12 de abril de 2019/ Fecha de aceptación: 11 de diciembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano, Centro Universitario, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149.

INTRODUCCIÓN

La encapsulación es un proceso para atrapar agentes activos dentro de un material portador y es una herramienta útil para mejorar la liberación de moléculas bioactivas y células vivas en alimentos, ya que puede proporcionar barreras entre los materiales bioactivos sensibles y el medio ambiente, así como permitir la diferenciación de sabor y aroma, enmascarar malos sabores u olores, evitar la evaporación y degradación de compuestos volátiles que proporcionan aroma, prevenir reacciones con otros componentes en productos alimentarios como el oxígeno o el agua, estabilizar ingredientes alimentarios en productos finales y durante el procesado o aumentar su biodisponibilidad y para inmovilización de células o enzimas en aplicaciones de procesamiento de alimentos, como procesos de fermentación y metabolitos, industrias farmacéuticas (Gouin, 2004; Nedovic y col., 2011; Peanparkdee y col., 2016).

Los materiales utilizados para el diseño de la capa protectora de encapsulados deben ser de calidad alimentaria, biodegradable y capaz de formar una barrera entre la fase interna y su entorno. Entre todos los materiales, los más utilizados para la encapsulación en aplicaciones alimentarias son las proteínas, lípidos y polisacáridos; dentro de los polisacáridos más utilizados destacan exudados y extractos vegetales, como la pectina, y extractos marinos, como alginatos (Nedovic y col., 2011). Los alginatos son uno de los polímeros más utilizados en la microencapsulación, estos compuestos son extraídos primariamente de tres especies de algas marrones y son una familia de polisacáridos lineales no ramificados, conteniendo cantidades variables de ácido (1,4') β -D-manurónico (M) y de ácido α -L-gulurónico (G). Está compuesto por secuencias de residuos M (bloques M) y G (bloques G) intercalados con secuencias MG (Bloques MG). La composición y extensión de las secuencias y el peso molecular determinan las propiedades físicas de los alginatos (Lupo y col., 2012).

Las perlas de alginato se han usado ampliamente en microencapsulación porque son extremadamente fáciles de preparar a escala de laboratorio, el proceso es muy ligero, puede ser realizado en ambientes estériles y prácticamente cualquier ingrediente puede ser encapsulado, ya sea hidrófobo o hidrófilo, sensible a la temperatura, un delgado líquido, un aceite viscoso, un sólido, etc. (Gouin, 2004). Dada su biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades de no toxicidad e inmunogénicas lo han hecho ser evaluado como un biomaterial para la regeneración tisular ósea (Venkatesan y col., 2015), atrapamiento celular terapéutico o inmovilización celular, propiedades inmunogénicas del alginato, modificador de la red de polímeros de mucina, modificadores de la mucosidad en fibrosis quística (Draget y Taylor, 2011) y la posibilidad de atrapar diferentes tipos de células a través de ingeniería celular y producir biomoléculas terapéuticas ha dado lugar a numerosas aplicaciones novedosas (Orive y col., 2015).

Un método de encapsulamiento es la gelificación iónica también conocida como gelificación externa o ionotrópica, que se desarrolló inicialmente para la inmovilización de células y el alginato es utilizado principalmente como componente de la membrana y se utiliza la combinación de calcio y bario (iones divalentes) para dar pie a la gelificación. La aplicación más atractiva del alginato es la gelificación inducida por calcio, resultando en interacciones específicas y fuertes entre los iones de calcio y residuos de guluronatos presentes en el alginato. El tamaño de las partículas no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagularse en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada, obteniendo partículas de tamaño, entre 400 μ m y 1 mm (Krasae-koopt y col., 2003; Agulhon y col., 2014; Sandoval y col., 2016), sin embargo, no ha sido utilizada la pectina como agente encapsulante.

Los polisacáridos pécticos o pectinas tienen una estructura química extremadamente di-

versa, pero comparten algunas características comunes, particularmente la presencia de ácido galacturónico y generalmente son tres tipos de polisacáridos reconocidos como: homogalacturonanos (HG), ramnogalacturonano-I (RG I) y ramnogalacturonano-II (RG II) (Willats y col., 2006). Las pectinas constituyen alrededor del 35 % (p/p) de las paredes celulares primarias de las dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas (Willats y col., 2006; Mohnen, 2008) y presentan propiedades espesantes, estabilizantes y gelificantes, además de brindar estabilidad y viscosidad, por su función emulsificante en combinación con aceites comestibles da lugar a la producción de aceites esenciales empleados en la producción de sabores. Los recubrimientos de pectina son utilizados debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie (García y col., 2004). Este polisacárido está atrayendo una mayor atención por los efectos de salud prometedores que ha mostrado, tales como la disminución de los niveles de colesterol, disminución de la glucemia y actividad anticancerígena (Liu y col., 2016).

Por otro lado, las especies de cítricos son fuente ricas de vitamina C, folato, fibra dietética y minerales además de muchos fitoquímicos, incluyendo flavonoides, aminoácidos, triterpenos, ácidos fenólicos y carotenoides (Li-Ying y col., 2008). Entre los productos de frutas, destaca el jugo de naranja, como una fuente de flavanonas en la dieta, principalmente hesperidina y narirutina. La naranja es uno de los frutos más populares y consumidos en México por sus cualidades refrescantes y su sabor característico ácido o dulce dependiendo de la variedad. México se consolidó como el quinto productor mundial de naranja, con un volumen promedio de 4.2 millones de T, las cuáles se comercializaron tanto en el mercado como en destinos internacionales. Las principales entidades productoras de este cítrico son Veracruz, quien aporta el 44.5 % del volumen nacional; Tamaulipas 14.6 %, y

San Luis Potosí 8.8 % de acuerdo a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2015).

La naranja normalmente se consume como fruto fresco, sus subproductos se utilizan en la elaboración de jarabes, jugos, refrescos, postres, helados y pasteles. La oferta que la agroindustria mexicana procesadora de jugos cítricos actualmente es de prácticamente 90 000 T de jugo concentrado de naranja. Considerando únicamente a la agroindustria ubicada en la zona citrícola que circunda al golfo de México (Veracruz, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Tabasco) y parte de la Península de Yucatán (Licona, 2009). El jugo concentrado de naranja es el de mayor importancia en el mundo, tanto por el volumen que se produce como por el número de mercados que lo consumen, los principales centros de consumo de jugo de naranja se ubican en Europa y Norteamérica (Licona, 2009). Sin embargo, una de las principales desventajas del jugo de naranja natural, es su vida útil corta por su alto contenido de azúcares, que si no se almacena bajo condiciones adecuadas de temperatura comienza a degradarse y presentarse sabores indeseables.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la estabilidad de las cápsulas del jugo de naranja, utilizando como método de encapsulación la gelificación iónica, y usando pectina y alginato de sodio como agentes encapsulantes bajo dos condiciones de almacenamiento, a temperatura ambiente (26 °C) y refrigeración (4 °C).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las naranjas dulces (*Citrus sinensis* L. Osbeck) variedad Valencia fueron obtenidas de mercados de Ciudad Victoria, Tamaulipas, las cuales fueron lavadas y desinfectadas, previamente a la extracción del jugo. La pectina de alto metoxilo (PAM) y alginato de sodio (AS) se obtuvieron de un proveedor nacional (Quial comerciales, S.A. Tepic, México).

Métodos

Gelificación iónica

Para la elaboración de las cápsulas utilizando gelificación iónica, se utilizó el jugo de naranja recién extraído y filtrado, a 5 °Brix y a 15 °Brix (este se tomó como referencia a la concentración del jugo natural que se determinó durante su caracterización).

Para la obtención de cápsulas mediante gelificación iónica se utilizó un diseño factorial como se muestra en la Tabla 1, en el cual se disolvieron diferentes concentraciones de pectina de alto metoxilo (1.5 %, 2 % y 2.5 % p/v), se modificó el pH (2.5, 3.5 y 4.5) y se ajustó el jugo a dos concentraciones de sólidos solubles totales (SST) a 5 °Brix y 15 °Brix con ácido cítrico y sacarosa; manteniendo constante la concentración de alginato de sodio al 0.5 % (p/v) el cual fue previamente disuelto en el jugo, por otra parte se elaboró una disolución de lactato de calcio (Quial, México) al 3 % (p/v).

Una vez obtenidas ambas soluciones (alginato de sodio y lactato de calcio), se procedió a verter gotas de la solución de alginato, pectina y jugo, por medio de una piseta, sobre la solución de lactato de calcio. Las cápsulas formadas se enjuagaron con agua destilada, se separaron y almacenaron en re-

■ **Tabla 1. Diseño experimental para la obtención de cápsulas de zumo de naranja por gelificación iónica.**

Table 1. Experimental design to obtain orange juice capsules by ionic gelation.

Variables	Niveles
Concentración de pectina (%)	1.5
	2
	2.5
pH	2.5
	3.5
	4.5
Sólidos solubles totales (SST) (°Brix)	5
	15

cipientes de polipropileno de 10 mL con tapa y estériles, bajo dos condiciones de almacenamiento, temperatura ambiente (26 °C) a una HR 6 % y refrigeración (4 °C) a una HR de 85 %; ambas condiciones (temperatura y humedad relativa) medidas mediante un termohigrómetro análogo A600FC, durante 12 d, realizando la medición de los siguientes parámetros cada 3 d.

Caracterización del zumo de naranja encapsulado con gelificación iónica

Peso

Las cápsulas se colocaron en conjunto con su recipiente en la balanza analítica (VELABTM, VE-210, Velab Co, USA), una vez obtenido este peso se procedió a obtener el peso real de las cápsulas mediante diferencia con el peso inicial. Para ello, se tomaban 5 cápsulas que se pesaban cada 3 d, y de esta manera se determinaba la pérdida de peso.

Atributos de color

El análisis de color de las cápsulas obtenidas se realizó con un colorímetro MiniScan EZ 45/0 LAV (MSEZ1342) (Reston, VA, USA), Hunter Associates Laboratory HunterLab, determinando los atributos Luminosidad (L^*), Saturación o Cromaticidad (C^*), Tono (H^*) utilizando las Ecuaciones (1) y (2), además de la determinación del cambio de color (ΔE) durante el almacenamiento utilizando L^* , a^* y b^* (Ecuación 3).

$$\text{Croma } (C^*) = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$H^*_{a,b} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta E = [(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2] \quad (3)$$

Diámetro

Se determinó el diámetro promedio de las cápsulas utilizando una cinta métrica flexible (Lufkin), midiendo el diámetro de 5 cápsulas de cada tratamiento.

Morfología macroscópica

Se colocaron 5 cápsulas sobre una caja Petri, con fondo blanco y buena iluminación, mediante observación se determinó su morfología de manera visual, además de observar los

cambios y alteraciones que sucedieron durante los 12 d de evaluación.

pH

El pH del jugo encapsulado que se obtuvo cada 3 d mediante la ruptura de las cápsulas, se midió con un potenciómetro (Thermo Scientific, Orion Star A1210, Waltham, MA, USA) y un electrodo (Hanna instruments) previamente calibrado con solución reguladora de pH 4, 7 y 10 (JT Baker®, Modelos 5657-01, 5656-01, 5655-01, Edo. de México, México).

Densidad

Se utilizó un método indirecto considerando que las cápsulas son de formas irregulares entre sí, se tomó una muestra de 5 esferas y se pesaron en una balanza analítica (VELAB™, VE-210, Velab Co, USA) para obtener su masa. El volumen final se obtuvo al sumergir en una probeta con 1 mL de agua destilada (volumen inicial), la cual fue medida con una pipeta serológica, la densidad de las cápsulas se calculó dividiendo la masa entre la diferencia del volumen final y el volumen inicial.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa de Excel (Microsoft Office 2010) para la determinación de las medidas de tendencia central y realización de gráficas, y el software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) para establecer diferencias entre tratamientos, empleando el método de pruebas de rangos múltiples de Diferencias Mínimas Significativas (LSD, por sus siglas en inglés: Least Significant Difference) y las diferencias fueron consideradas significativas cuando $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos del zumo de naranja en capsulado con gelificación iónica

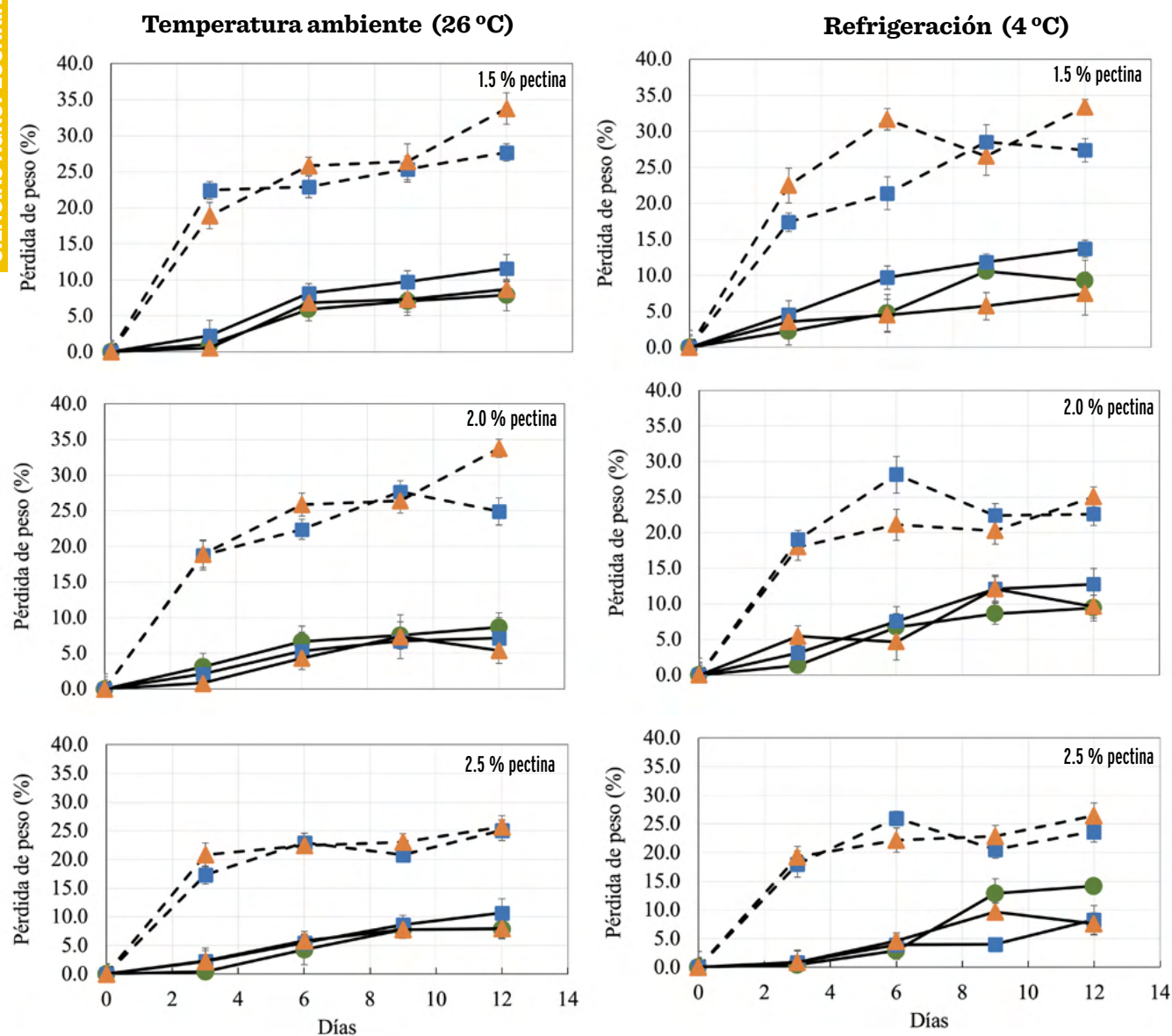
En la Figura 1, se muestran los resultados de las pérdidas de peso de las cápsulas obtenidas mediante gelificación iónica a 5 °Brix y 15 °Brix durante los 12 d de almacenamiento a temperatura ambiente (26 °C) y refrigeración (4 °C), en la cual se aprecia que la pér-

dida de peso fue mayor en las cápsulas a 15 °Brix, independientemente de las condiciones de almacenamiento. No se muestran los resultados a 15 °Brix, a pH de 2.5, porque bajo ninguna concentración de pectina evaluada a este pH, y esta concentración de SST, se formaron cápsulas estables.

En las cápsulas obtenidas con jugos con diferentes concentraciones de SST, la pérdida de peso más notable fue al día 12, observándose la mayor pérdida de peso (34 %) en las cápsulas de 15 °Brix, 1.5 % pectina y pH 4.5 tanto a 26 °C como a 4 °C. También se presentó el mismo porcentaje de pérdida de peso en las cápsulas de 15 °Brix 2.5 % de pectina, a 26 °C. Este comportamiento podría deberse a que quizá la pared del agente encapsulante sea tan delgada que provoque la salida del jugo encapsulado por sinéresis. El agua liberada es evaporada de la superficie de la cápsula por las corrientes de aire generadas en el interior del refrigerador, con la consecuente pérdida de peso. Cabe mencionar que hay interacciones en los hidrocoloides utilizados y el agua, lo que influye en la evaporación o pérdida de la misma en las cápsulas, que está determinada por parámetros moleculares de las macromoléculas, propiedades del material a encapsular y morfología de las partículas, además de condiciones externas, como temperatura, humedad y pH, tal como lo menciona Einhorn-Stoll (2018).

En las cápsulas almacenadas a 4 °C, a concentración de 2.0 % y 2.5 % (p/v) no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la pérdida de peso (21 % a 25 %), independientemente del pH evaluado.

Las cápsulas con concentración de 5 °Brix, presentaron una disminución porcentual de peso menos notoria, oscilando de 5 % a 12 %, a 26 °C, independientemente de la concentración de pectina y pH evaluados. La mayor pérdida (12 %) se obtuvo a pH 3.5. Las pérdidas fueron más evidentes a 4 °C, oscilando de 7 % a 14 % en las diferentes concentraciones de pectina.



■ Figura 1. Efecto de la concentración de pectina (1.5 %, 2.0 % y 2.5 % p/v) sobre la pérdida de peso de las cápsulas de jugo de naranja a 5 °Brix (—) y 15 °Brix (--) a diferentes pH iniciales: 2.5 (●), 3.5 (■) y 4.5 (▲), almacenadas a 26 °C y 4 °C.

Figure 1. Effect of the concentration of pectin (1.5 %, 2.0 % and 2.5 % w/v) on the weight loss of the orange juice capsules at 5 °Brix (—) and 15 °Brix (--) at different initial pH: 2.5 (●), 3.5 (■) and 4.5 (▲), stored at 26 °C and 4 °C.

El factor que más influyó en la pérdida de peso fue la concentración de SST, puesto que las cápsulas en condición de almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración con 15 °Brix presentaron un porcentaje de pérdida de peso mayor. Es de resaltar, que la mayor pérdida de peso con esta concentración de SST ocurrió entre el día 0 al 3, pa-

ra ambas condiciones de almacenamiento. Debido a que una cápsula está conformada por una membrana semipermeable, de forma esférica, paredes delgadas y fuertes, estas se encargan de proteger el centro sólido/líquido, el agua del interior en combinación con los sólidos disueltos en ella. Esa permeabilidad pudo haber influido en la mo-

dificación de este parámetro durante el almacenamiento, ya que el proceso de encapsulamiento coadyuva a que los compuestos bioactivos presentes en el producto alimenticio encapsulado resistan ciertas condiciones durante el procesamiento y empaqueo, y proteja de degradación o transformación física, química o enzimática, con la consecuente pérdida de bioactividad (Dias y col., 2015).

El tamaño de las cápsulas de jugo de naranja, almacenadas a temperatura ambiente (26 °C) y refrigeración (4 °C) a 5 °Brix se muestra en la Figura 2. El diámetro osciló de 0.42 mm a 0.66 mm a 26 °C, a las diferentes concentraciones de pectina, siendo los tamaños mayores los obtenidos con pH de 4.5, mientras que a los otros pH (2.5 y 3.5) no se observaron diferencias significativas en el día 1; y a 4 °C, los tamaños de las cápsulas oscilaron de 0.41 mm a 0.58 mm, con las diferentes concentraciones de pectina. Este atributo no varió en las muestras con 1.5 % de pectina. Las cápsulas obtenidas a 2.0 % y 2.5 % de pectina presentaron los tamaños menores.

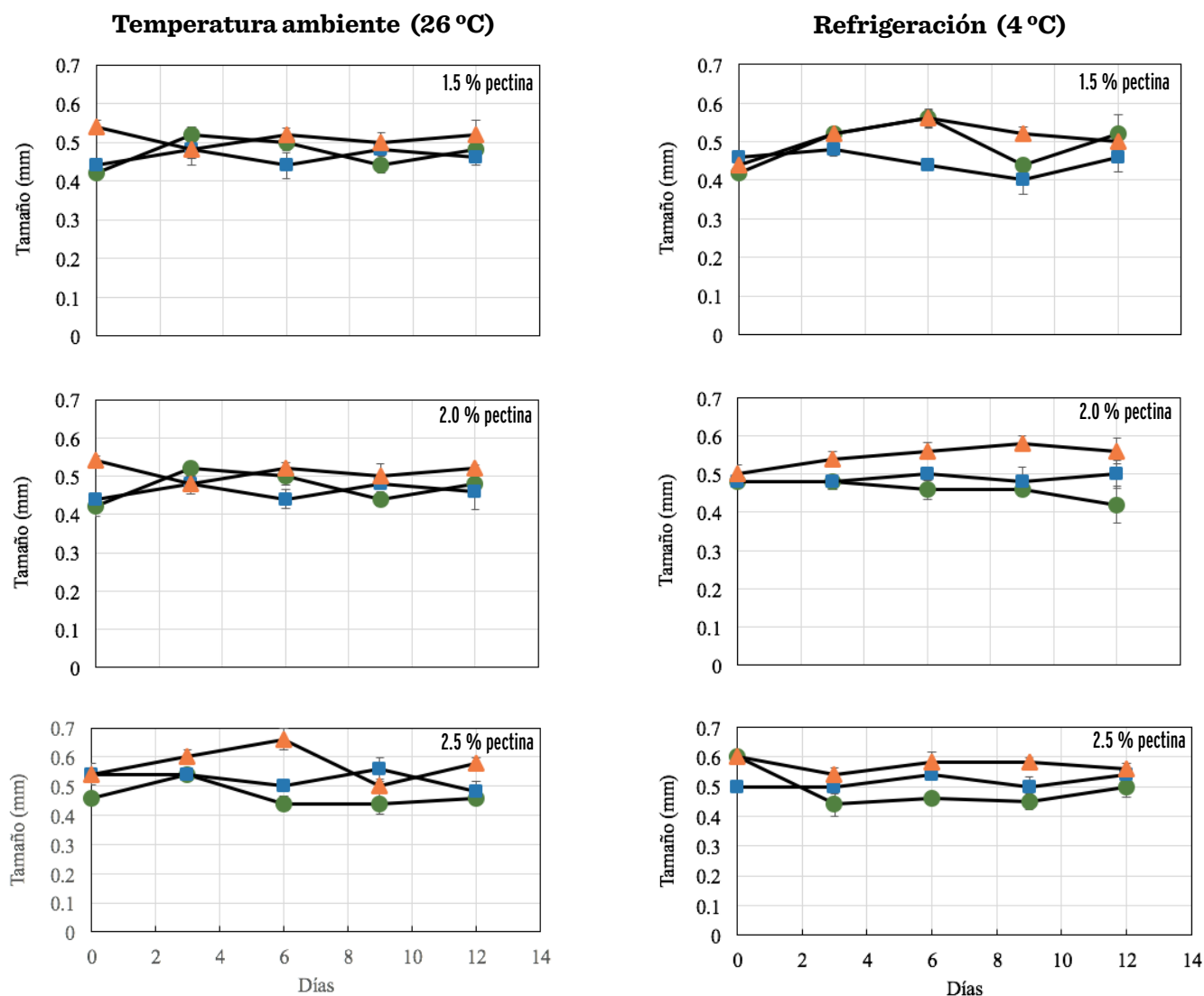
Las cápsulas obtenidas a 15 °Brix (Figura 3) variaron de 0.40 mm a 0.61 mm, almacenadas a 26 °C. El tamaño de la cápsula almacenada a 4 °C osciló de 0.46 mm a 0.68 mm en las diferentes concentraciones de pectina y pH evaluados, observándose los tamaños mayores a 2.5 % (p/v) de pectina y pH 4.5, mientras que a concentraciones de 1.5 % y 2.0 % (p/v) de pectina, las cápsulas de mayor tamaño fueron con un pH de 3.5.

De acuerdo a Parra (2010), el tamaño de las cápsulas elaboradas con alginatos no puede ser del todo controlado, pero normalmente oscila de 400 µm y a 1 mm, para su fácil deglución, una vez que las cápsulas son sometidas a un secado posterior. En este estudio, las cápsulas no fueron sometidas a un proceso de secado posterior, es por ello su tamaño es mayor. De acuerdo a Krasaekoopt y col. (2003), el tamaño de las esferas es de 2 mm a 5 mm y la forma de las cápsulas de alginato de sodio está determinado por el

diámetro de la aguja usada y la distancia de la caída libre de la solución. Además, esta morfología podría ser debido a las interacciones de la pectina y el alginato en geles mixtos, que se han descrito como una asociación heterogénea de los bloques poli-G de alginato y éster metílico de las regiones de pectina de baja carga, empaquetadas en perlas rígidas (Voo y col., 2011).

En la Tabla 2 se muestran los valores de la densidad de las cápsulas de jugo de naranja. En la cápsula almacenada a 26 °C la densidad inicial más baja (0.88 g/mL) y más alta (2.30 g/mL) fue observada a 5 °Brix, pH 4.5 y concentraciones de pectina de 2 % y 1.5 % (p/v), respectivamente, mientras que las densidades finales a esta misma concentración de SST osciló de 0.63 g/mL a 1.04 g/mL. A 15 °Brix, la densidad inicial obtuvo valores entre 1.11 g/mL y 2.03 g/mL. A concentración de 2 % (p/v) de pectina, pH 3.5 % se obtuvo la mayor densidad inicial. Las densidades más bajas se obtuvieron a 2.5 % (p/v) de pectina con los pH evaluados. La densidad inicial varió de 0.72 g/mL a 1.51 g/mL. Los cambios de densidad pueden ser debido a que la pectina, muestra una menor sensibilidad a agentes químicos, en este caso, al pH del jugo, además de una mayor resistencia mecánica en comparación con alginato (Naqash y col., 2017). Es posible que se haya presentado un efecto sinérgico, al hacer la combinación de ambos agentes encapsulantes que influyeron en la densidad de las cápsulas.

A 15 °Brix, las cápsulas mostraron densidades más altas, cuyos valores oscilaron entre 1.46 g/mL y 2.97 g/mL. La densidad más alta se obtuvo a concentración de 1.5 % (p/v) de pectina. De acuerdo a Rivera (2013), la densidad de las esferas de alginato sufre cierta influencia debido a la concentración en que se han elaborado y el tiempo de gelificación, sin embargo, las cápsulas obtenidas mediante este método de encapsulamiento mostraron una apariencia y homogeneidad en su tamaño y forma, a pesar de los cambios



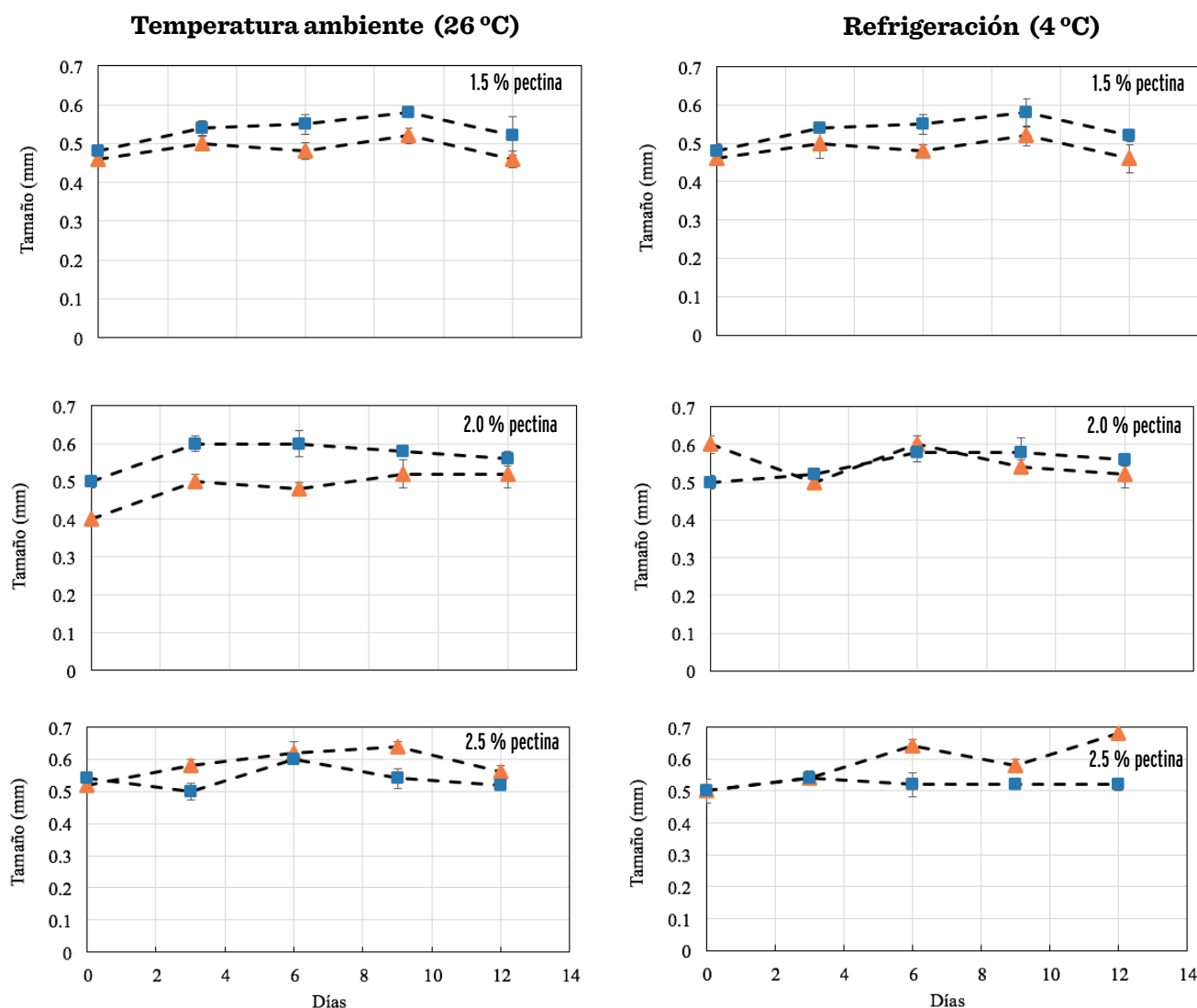
■ Figura 2. Efecto de la concentración de pectina (1.5 % , 2.0 % y 2.5 % p/v) sobre el tamaño de las cápsulas del jugo de naranja a 5 °Brix (—) encapsulado mediante gelificación iónica a diferentes pH iniciales: 2.5 (●), 3.5 (■) y 4.5 (▲), almacenadas a 26 °C y 4 °C.

Figure 2. Effect of the concentration of pectin (1.5 % , 2.0 % and 2.5 % w/v) on the size of the orange juice capsules at 5 °Brix (—) encapsulated by ionic gelation at different initial pH: 2.5 (●), 3.5 (■) and 4.5 (▲), stored at 26 °C and 4 °C.

de densidad que sufrieron durante su almacenamiento.

El comportamiento de los cambios que tuvo el pH de las cápsulas de naranja a 5 °Brix y 15 °Brix, en las cápsulas almacenadas a 26 °C y 4 °C, se muestra en la Figura 4. El pH inicial 3.5 y 4.5 tendió a disminuir en las muestras almacenadas a temperatura ambiente, alcanzando valores de 2 a 2.5 a los 12 d, en tanto que el pH 2.5 permaneció es-

table. En temperatura de refrigeración el pH 3.5 y 4.5, presentó una disminución general para el día 6, con un incremento al día 12, en las muestras con 2.5 % y 3.5 % de pectina. En algunas cápsulas se observó cierta sinéresis que pudo haber sido causada por estas modificaciones de pH, ya que al inicio existió degradación de las cápsulas, que se pudo apreciar de manera visual al momento de realizar las determinaciones, pero no una desintegración total, a excepción del pH de



■ Figura 3. Efecto de la concentración de pectina (1.5 % , 2.0 % y 2.5 % p/v) sobre el tamaño de las cápsulas del jugo de naranja a 15 °Brix (--) encapsulado mediante gelificación iónica a diferentes pH iniciales: 3.5 (■) y 4.5 (▲), almacenadas a 26 °C y 4 °C.

Figure 3. Effect of the concentration of pectin (1.5 % , 2.0 % y 2.5 % w/v) on the size of the orange juice capsules at 15 °Brix (--) encapsulated by ionic gelation at different initial pH: 3.5 (■) and 4.5 (▲), stored at 26 °C and 4 °C.

1.5, donde su formación fue más lenta y más débil. Esta inestabilidad del pH pudo haber afectado la estabilidad de las cápsulas, de acuerdo a lo reportado por Einhorn-Stoll y col. (2015), ya que ocurren enlaces de hidrógeno en los grupos carboxilo no disociados y no cargados a pH bajos, que favorecen fuertes interacciones en las macromoléculas de la pectina de las cápsulas. En contraste, los grupos carboxilo disociados a pH más altos están cargados negativamente y

causa repulsión electrostática de las macromoléculas, lo que determina finalmente la estabilidad o inestabilidad de las cápsulas a los diferentes pH evaluados.

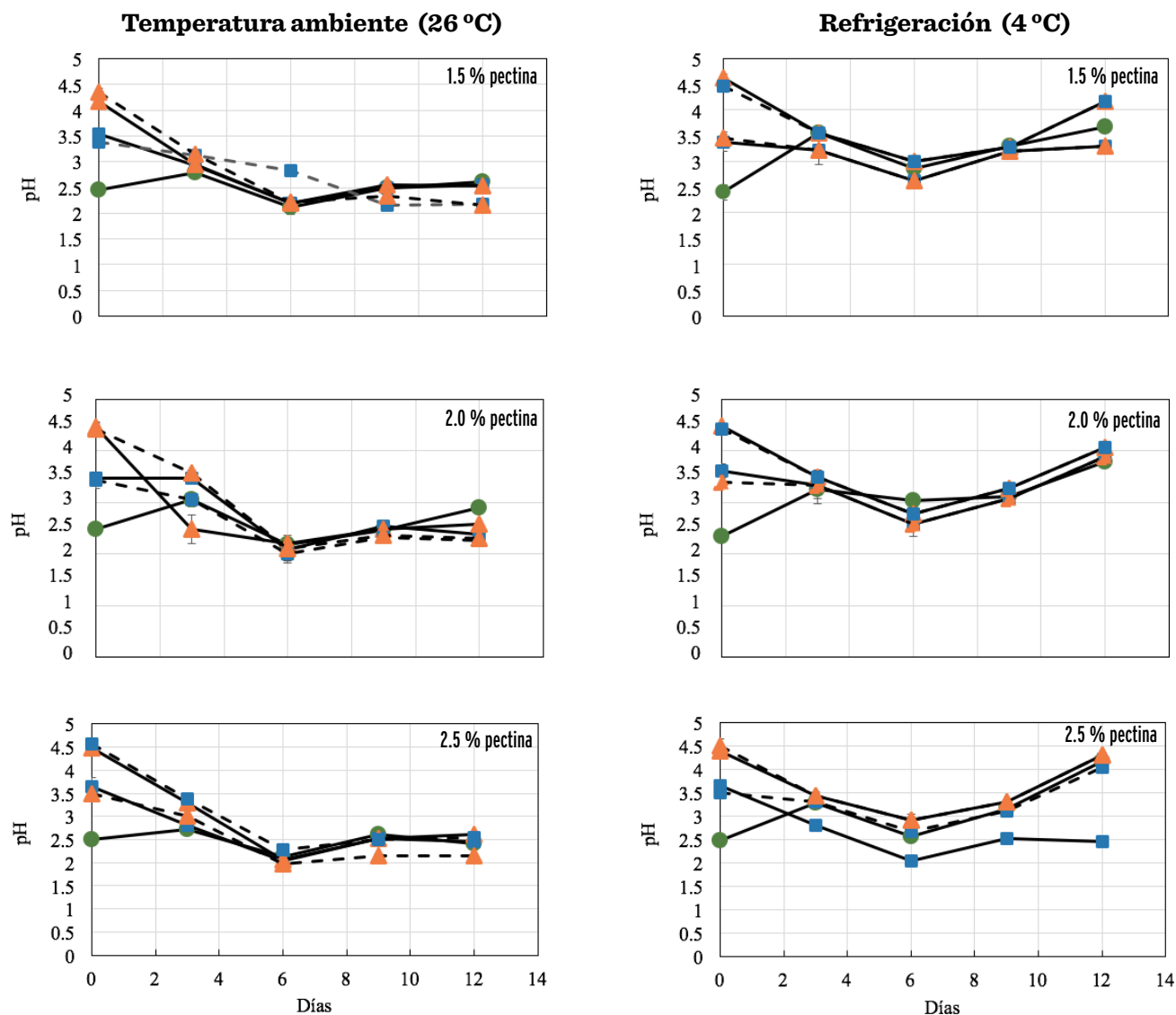
De acuerdo a Pérez y col. (2012), el pH en tratamientos de gelificación iónica debe ser igual o menor a 3.3, para mantener cápsulas estables y de mayor grado de gelificación. Estos cambios de pH, después del almacenamiento, se deben quizá por la oxidación que sufre

■ Tabla 2. Densidad de las cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica, almacenadas durante 12 d a temperatura ambiente (26 °C) y refrigeración (4 °C).

Table 2. Density of the orange juice capsules obtained by ionic gelation, stored for 12 d at room (26 °C) and refrigeration (4 °C) temperature.

Almacenamiento en temperatura ambiente (T = 26 °C, HR = 6 %)				
SST	Pectina (%)	pH	Inicial	Final
5 °Brix	1.5	2.5	1.88 ± 0.03	0.63 ± 0.02
		3.5	1.10 ± 0.01	0.84 ± 0.06
		4.5	2.30 ± 0.01	0.88 ± 0.01
	2	2.5	1.38 ± 0.04	0.74 ± 0.01
		3.5	1.11 ± 0.02	1.04 ± 0.04
		4.5	0.88 ± 0.01	0.76 ± 0.05
	2.5	2.5.	1.28 ± 0.03	1.01 ± 0.02
		3.5	1.09 ± 0.05	0.84 ± 0.07
		4.5	1.12 ± 0.02	0.90 ± 0.01
15 °Brix	1.5	2.5	-	-
		3.5	2.03 ± 0.06	1.03 ± 0.03
		4.5	2.04 ± 0.02	0.74 ± 0.01
	2	2.5	-	-
		3.5	2.42 ± 0.01	1.21 ± 0.06
		4.5	1.47 ± 0.05	1.11 ± 0.02
	2.5	2.5.	-	-
		3.5	1.40 ± 0.02	0.82 ± 0.01
		4.5	1.59 ± 0.04	0.89 ± 0.06
Almacenamiento en refrigeración (T = 4 °C, HR = 85 %)				
5 °Brix	1.5	2.5	1.18 ± 0.01	0.77 ± 0.01
		3.5	0.96 ± 0.04	0.73 ± 0.03
		4.5	0.78 ± 0.03	0.96 ± 0.05
	2	2.5	1.51 ± 0.03	1.31 ± 0.08
		3.5	1.22 ± 0.02	1.07 ± 0.06
		4.5	1.39 ± 0.01	1.21 ± 0.04
	2.5	2.5.	0.72 ± 0.06	0.74 ± 0.01
		3.5	1.10 ± 0.03	0.87 ± 0.01
		4.5	1.35 ± 0.04	1.23 ± 0.04
15 °Brix	1.5	2.5	-	-
		3.5	2.97 ± 0.08	0.82 ± 0.01
		4.5	2.61 ± 0.06	0.88 ± 0.04
	2	2.5	-	-
		3.5	1.49 ± 0.06	0.84 ± 0.02
		4.5	1.65 ± 0.04	0.89 ± 0.05
	2.5	2.5.	-	-
		3.5	1.46 ± 0.03	0.93 ± 0.05
		4.5	1.61 ± 0.01	1.00 ± 0.02

Las cápsulas formadas fueron demasiado débiles para poder realizar las pruebas.



■ Figura 4. Efecto de la concentración de pectina (1.5 %, 2.0 % y 2.5 % p/v) sobre el pH del jugo de naranja a 5 °Brix (—) y 15 °Brix (--) encapsulado mediante gelificación iónica a diferentes pH iniciales: 2.5 (●), 3.5 (■) y 4.5 (▲), almacenadas a 26 °C y 4 °C.

Figure 4. Effect of the concentration of pectin (1.5 %, 2.0 % and 2.5 % w/v) on the pH of orange juice at 5 °Brix (—) and 15 °Brix (--) encapsulated by ionic gelation at different initial pH: 2.5 (●), 3.5 (■) y 4.5 (▲), stored at 26 °C and 4 °C.

el ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, así como el incremento de ácidos orgánicos, que pudieron influir en la reducción de estos valores, lo que provocó que incrementara el pH al día 12 de almacenamiento. Las características de los geles de alginato-calcio pueden ser influenciadas por muchos factores, tales como pH, agente secuestrante, dureza del agua, adición de hidrocoloides y la cantidad de agua, y el pH fue uno de los fac-

tores que más influencia tuvo sobre la estabilidad de las cápsulas en este estudio, tal como lo observó King (1983), quien determinó que el pH tiene un efecto significativo sobre la formación de geles de alginato, cuyo rango de pH donde se obtuvieron los mejores cápsulas es de 2.8 a 4.0.

En la Tabla 3 se muestran las medias de los atributos de color, de las cápsulas obtenidas

por gelificación iónica, al día 0 y al día 12. Los valores de L^* al día 0 en las muestras a 5 °Brix, oscilaron de 35.95 a 39.30 a 26 °C, y de 35.60 a 39.71 a 4 °C. No se observaron diferencias con respecto a la concentración de pectina y pH inicial, pero se observó una ligera reducción al día 12 a 26 °C (31.93 a 39.41) y a 4 °C (35.16 a 39.77), lo cual podría atribuirse a la pérdida parcial de agua, que ocasionó ese ligero descenso. En las cápsulas a 15 °Brix, la luminosidad inicial fue más homogénea en todos los tratamientos evaluados al día 0 a 26 °C (35.87 a 38.14) y a 4 °C (37.59 a 39.45). Este incremento se debe tal vez a la mayor concentración de sólidos presentes en el jugo, ya que aún al día 12 ocurrió una menor pérdida de pigmentos, debido a que a baja temperatura la degradación es menor.

La saturación de color o cromaticidad (C^*) se mantuvo en un rango de 17.61 a 35.86 al día 0 con 5 °Brix a 26 °C, y de 20.36 a 28.93 a 4 °C. No se observó una tendencia clara en este atributo de color después de 12 d de almacenamiento. A 15 °Brix, los valores de C^* , de las cápsulas almacenadas a 26 °C, fueron similares (18.91 a 40.63) porque el mayor contenido de sólidos presentes en el jugo se debió a un incremento en los azúcares disueltos. Con respecto a las cápsulas almacenadas a 4 °C, los valores de cromaticidad al día 0 oscilaron entre 26.41 a 37.05. A los 12 d de almacenamiento se observó una reducción general de este atributo (21.82 a 33.40), alcanzando valores hasta 17.49 al día 12, a 5 °Brix con pectina al 1.5 % (p/v) y pH 4.5. Los materiales de pared de las microcápsulas protegen los componentes encapsulados contra efectos ambientales (oxígeno, luz, humedad, entre otros) lo que mejora su estabilidad, (Garg y col., 2006), lo cual se pudo apreciar en el presente estudio, ya que la pectina y el alginato contribuyeron a la estabilidad, de los pigmentos responsables del atributo de color.

Los valores de tonalidad (H^*) de las cápsulas almacenadas a 26 °C fueron de 80.99 a 84.36 y de 80.01 a 84.80 a 5 °Brix y 15 °Brix,

respectivamente. Estos valores se redujeron ligeramente al día 12. Este mismo comportamiento fue observado también en todas las cápsulas almacenadas en refrigeración, en todos los tratamientos. Al parecer, el pH y la concentración de pectina no tuvieron influencia sobre este parámetro, observándose como resultado cápsulas de color amarillo de tonalidad uniforme. En el estudio realizado por Pérez y col. (2012), indicaron que la modificación en la estabilidad de color, en esferas realizadas con bebida comercial a base de jugo de cítricos (naranja, mandarina y limón), no es significativa, ya que los valores de L^* y H^* van en aumento con el transcurso de los días, lo que da como resultado una estabilidad visual. Estos resultados muestran similitud con los tratamientos aquí descritos, ya que se pudo apreciar que la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa en sinergia tuvieron influencia en los cambios de color y la concentración de los agentes gelificantes utilizados.

El almacenamiento influyó en la estabilidad de las cápsulas, ya que a pesar de que los materiales de pared (pectina y alginato de sodio) forman geles estables al calor, un tratamiento térmico prolongado, a bajo o alto pH desestabiliza los geles, debido a una tasa de reacción incrementada de procesos de depolimerización, tales como la hidrólisis catalizadas por protón y las reacciones de β -eliminación, como lo reportó Smidsrod y Draget (1997), observándose los valores más altos de ΔE a pH 4.5 a 5 °Brix almacenadas a 26 °C, y los valores más bajos a bajas temperaturas, lo que ocurrió quizá debido a la capacidad de las pectinas de formar geles, la cual está influenciada por el grado de metoxilación y el patrón de los grupos carboxilo libres que determinan las propiedades funcionales, en adición a factores ambientales tales como los iones presentes (calcio principalmente), pH (grado de disociación de los grupos carboxilo y las concentraciones de azúcares (Kastner y col., 2019). De acuerdo a lo anterior, utilizando el método de gelificación iónica se obtuvieron cápsulas estables

■ Tabla 3. Atributos de color de las cápsulas de jugo de naranja almacenadas a temperatura ambiente (26 °C) y en refrigeración (4 °C), obtenidas mediante gelificación iónica.

Table 3. Color attributes of orange juice capsules stored at room temperature (26 °C) and refrigeration (4 °C) temperature, obtained by ionic gelation.

SST	Pectina (%)	pH inicial	L* ₀	C* ₀	H* ₀	L* ₁₂	C* ₁₂	H* ₁₂	ΔE
Almacenamiento a temperatura ambiente (26 °C, HR = 6 %)									
5 °Brix	1.5	2.5	39.30	19.94	82.65	37.72	24.17	79.97	4.63
		3.5	38.56	19.07	82.86	36.71	25.38	79.60	6.69
		4.5	37.59	17.61	84.36	35.92	25.77	79.31	8.54
	2	2.5	36.43	19.17	81.48	33.75	24.61	81.73	6.06
		3.5	39.29	24.95	81.68	34.73	33.69	80.69	9.87
		4.5	35.95	35.86	82.82	39.41	19.43	82.64	16.79
	2.5	2.5	38.63	27.75	82.00	37.63	14.87	82.04	13.03
		3.5	36.98	33.93	82.53	35.82	24.30	79.69	9.80
		4.5	38.83	24.85	80.99	31.93	39.99	80.20	16.65
15 °Brix	1.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	37.05	34.95	84.80	31.51	39.28	80.34	7.59
		4.5	37.40	34.16	82.92	38.90	29.87	82.44	4.55
	2	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	37.26	18.91	80.01	35.23	28.62	81.58	9.94
		4.5	35.87	40.63	83.65	32.02	30.53	77.53	11.44
	2.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	38.14	40.37	83.93	31.76	40.57	79.82	7.01
		4.5	37.35	28.35	81.28	38.01	27.85	80.91	0.85
Almacenamiento en refrigeración (T = 4 °C, HR = 85 %)									
5 °Brix	1.5	2.5	39.71	20.36	80.90	39.51	20.22	79.54	0.54
		3.5	37.56	21.83	82.21	36.80	19.25	79.34	2.88
		4.5	35.60	24.90	83.50	39.69	17.49	78.42	8.67
	2	2.5	36.70	23.60	84.12	38.51	22.58	79.90	2.69
		3.5	38.44	25.65	82.65	39.66	21.93	80.00	4.06
		4.5	38.50	27.85	82.86	37.40	30.71	81.37	3.16
	2.5	2.5	38.77	28.93	81.33	38.67	27.68	79.19	1.64
		3.5	38.32	23.91	81.56	35.16	21.30	80.08	4.14
		4.5	37.72	27.59	83.57	39.77	23.38	80.25	4.91
15 °Brix	1.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	38.66	28.07	81.89	38.41	22.57	80.07	5.57
		4.5	39.45	26.41	81.92	37.66	28.63	80.79	2.90
	2	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	37.62	30.98	84.11	33.68	33.40	78.01	5.75
		4.5	37.59	32.60	82.56	38.62	24.84	78.58	8.08
	2.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-
		3.5	38.74	37.05	83.16	38.32	26.50	80.68	10.65
		4.5	39.34	27.73	83.06	37.39	21.82	80.13	6.35

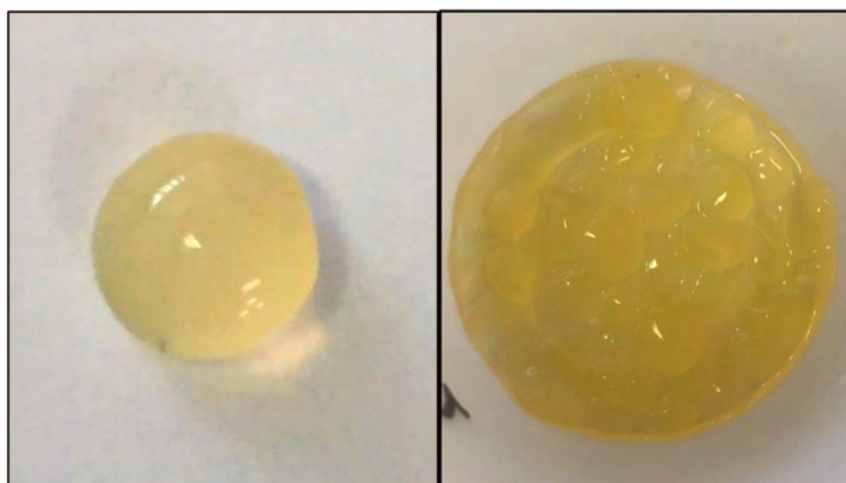
Las cápsulas formadas fueron demasiado débiles para poder realizar las pruebas.

(Figura 5). Las que mostraron una mayor estabilidad durante los 12 d de evaluación fueron las obtenidas a una concentración de pectina del 2 % (p/v), pH 2.5 y a 5 °Brix, almacenadas a 4 °C, lo cual pudo ser debido a los factores mencionados anteriormente.

Cabe mencionar que las formas macroscópicas observadas más frecuente fueron las siguientes: esféricas, ovoides, irregulares y amorfas. La concentración de pectina, pH y condición de almacenamiento no tuvieron gran influencia en los cambios físicos de las cápsulas, siendo la morfología más común la esférica. La concentración inicial de SST fue la variable que más influyó en que se presentaran morfologías diferentes a las esféricas. Los tratamientos que obtuvieron los mejores resultados morfológicos fueron los de menor concentración de SST (5 °Brix), puesto que obtuvieron un 45.56 % de forma esférica y solo un 6.67 % para cápsulas amorfas; a pesar de ello, es necesario estandarizar las condiciones aplicadas en la gelificación iónica para incrementar la predominancia de la morfología esférica, y por tanto, tener un mayor control sobre las propiedades de las cápsulas. Por otra parte, las cápsulas con mayor concentración de SST (15 °Brix) presentaron formas irregulares y amorfas en la

mayoría de sus tratamientos, observándose además durante los 12 d, cierta degradación de las cápsulas y esta sinéresis fue más frecuente en las cápsulas amorfas. Las cápsulas elaboradas a partir de alginato tienden a presentar paredes más rígidas y de mayor porosidad, tal como lo explican Burey y col. (2008), ya que los alginatos forman un complejo insoluble con el calcio, lo que da pie a la formación de una pared semirrígida constituida por enlaces químicos. En esta pared los iones calcio se sitúan como puentes entre los grupo carboxilo del alginato, dando lugar a cápsulas de geles estables al tiempo y resistentes a la temperatura.

Las cápsulas que registraron una menor pérdida de peso, almacenadas a 4 °C, debieron presentar una pared mejor estructurada, probablemente más gruesa y estable a los 12 d de evaluación, independiente de sus concentraciones de SST, pectina, pH y condición de almacenamiento. Dias y col. (2015) mencionaron que en una técnica de encapsulación, los materiales, proceso de producción, morfología final y aplicación son los factores más importantes para ser considerados en sistemas de liberación de compuestos bioactivos, para que estos puedan ejercer las funciones biológicas, por lo que me-



■ Figura 5. Cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica, utilizando pectina al 2.0 % (p/v), pH 2 y 5 °Brix (4 °C).

Figure 5. Orange juice capsules obtained by ionic gelation, using pectin 2.0 % (w/v), pH 2 and 5 °Brix (4 °C).

joran su estabilidad, aplicando técnicas como la gelificación iónica es una alternativa viable.

CONCLUSIONES

El uso de tecnologías de encapsulación es adecuado para obtener productos más estables y que permitan conservar las propiedades fisicoquímicas de los zumos, ya que utilizando el método de gelificación iónica se pudieron obtener encapsulados de jugo de naranja con 5 °Brix, con parámetros de calidad aceptables, utilizando alginato de sodio 0.5 % (p/v) y pectina 2 % (p/v) como agentes encapsulantes, pH 2.5 y almacenados a 4 °C. Por tanto, el uso de tecnologías de encapsulación como gelificación iónica permitieron preser-

var las características fisicoquímicas del jugo de naranja producido en Tamaulipas, que es el segundo estado citrícola más importante a nivel nacional, lo que contribuirá a mejorar la comercialización de este producto regional, ofreciendo alternativas que ayuden a la diversificación de su uso y/o agregarse a otros productos alimenticios.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Subsecretaría de Educación Superior y la Dirección General de Educación Superior Universitaria por la beca otorgada para la realización del proyecto de investigación DSA/103.5/16/10526 dentro del programa de Licenciatura en Nutrición de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

REFERENCIAS

- Agulhon, P., Robitzer, M., Habas, J. P., and Quignard, F. (2014). Influence of both cation and alginate nature on the rheological behavior of transition metal alginate gels. *Carbohydrate Polymers*. 112: 525-531.
- Burey, P., Bhandari, B. R., Howes, T., and Gidley, M. J. (2008). Hydrocolloid gel particles: formation, characterization, and application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48(5): 361-377.
- Dias, M. I., Ferreira, I. C., and Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulation of bioactives for food applications. *Food & Function*. 6(4): 1035-1052.
- Draget, K. I. and Taylor, C. (2011). Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. *Food Hydrocolloids*. 25(2): 251-256.
- Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods-From powder to gel. *Food hydrocolloids*. 78: 109-119.
- Einhorn-Stoll, U., Kastner, H., Hecht, T., Zimathies, A., and Drusch, S. (2015). Modification and physico-chemical properties of citrus pectin-Influence of enzymatic and acidic demethoxylation. *Food Hydrocolloids*. 51: 338-345.
- García, C. G., González, M. M., Ochoa, L. M. y Medrano, H. R. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 4(4): 262-266.
- Garg, M. L., Wood, L. G., Singh, H., and Moughan, P. J. (2006). Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science*. 71(5): 66-71.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*. 15(7-8): 330-347.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., and Drusch, S. (2019). Influence of enzymatic and acidic demethoxylation on structure formation in sugar containing citrus pectin gels. *Food Hydrocolloids*. 89: 207-215.
- King, A. H. (1983). Brown seaweed extracts (alginates). In Martin Glicksman (Ed.), *Food Hydrocolloids* (pp. 115-183). Florida: CRC Press.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., and Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotic for yoghurt. *International Dairy Journal*. 13(1): 3-13.
- Licona, J. C. (2009). Estudio de mercado para identificación de necesidades de infraestructura logística para la comercialización de jugo de cítricos en Veracruz. Martínez de la Torre, Veracruz: FIRCO. [En línea]. Disponible en: http://www.sagarpa.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/SISTPROD_CITRICOS.pdf. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2018.
- Li-Ying, N., Ji-Hong, W., Xiano-Jun, L., Fang, C., Zheng-Fu, W., Guang-Hua, Z., and Xiao-Song, H. (2008). Physicochemical characteristics of orange juice samples from seven cultivars. *Agricultural Sciences in China*. 7(1): 41-47.

- Liu, Y., Dong, M., Yang, Z., and Pan, S. (2016). Anti-diabetic effect of citrus pectin in diabetic rats and potential mechanism via PI3K/Akt signaling pathway. *International Journal of Biological Macromolecules*. 89: 484-488.
- Lupo, B. P., González, C. A., and Maestro, A. G. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(1): 130-151.
- Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion Plant Biology*. 11(3): 266-277.
- Naqash, F., Masoodi, F. A., Rather, S. A., Wani, S. M., and Gani, A. (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. *Carbohydrate Polymers*. 168: 227-239.
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., and Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*. 1: 1806-1815.
- Orive, G., Santos, E., Poncelet, D., Hernández, R. M., Pedraz, J. L., Wahlberg, L. U., ..., and Emerich, D. (2015). Cell encapsulation: technical and clinical advances. *Trends in Pharmacological Sciences*. 36(8): 537-546.
- Parra, R. H. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 63: 5669-5684.
- Peanparkdee, M., Iwamoto, S., and Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*. 4: 56-65.
- Pérez, L. C., Reyes, K. B., Godines, A. H. y Castillo, R. P. (2012). Desarrollo y caracterización de golosinas con ingredientes de interés nutrimental. *CienciaUAT*. 6(3): 50-55.
- Rivera, E. A. T. (2013). *Evaluación de la capacidad de esterificación de quitosano como sustituto de alginato en la elaboración de falso caviar*. Tesis de Ingeniería Química de Alimentos, Universidad Central de Ecuador, Ecuador, Quito. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1863>. Fecha de consulta: 14 de enero de 2019.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2015). Situación de la citricultura en Nuevo León. Corporación para el desarrollo agropecuario de Nuevo León. [En línea]. Disponible en: <http://www.camponl.gob.mx/oeidrus/docs/citricultura.pdf>. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2018.
- Sandoval, M. P., Cu, T. C., Peraza, G. M., and Ace-reto, P. O. M. E. (2016). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas. En M. E. Ramírez-Ortiz (Ed.), *Alimentos Funcionales de Hoy* (pp. 181-218). Barcelona, España: Omnia Science.
- Smidsrod, O. and Draget, K. I. (1997). Alginate gelation technologies. In E. Dickenson, B. Bergenstahl (Ed.), *Food colloids, proteins, lipids and polysaccharides* (pp. 279-293). Lancaster: Ediciones Royal Society of Chemistry.
- Venkatesan, J., Lowe, B., Anil, S., Manivasagan, P., Kheraif, A. A. A., Kang, K. H., and Kim, S. K. (2015). Seaweed polysaccharides and their potential biomedical applications. *Starch-Stärke*. 67(5-6): 381-390.
- Voo, W. P., Ravindra, P., Tey, B. T., and Chan, E. S. (2011). Comparison of alginate and pectin based beads for production of poultry probiotic cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 111(3): 294-299.
- Willats, W. G. T., Knox, J. P., and Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Trends Food Science Technology*. 17(3): 97-104.



Efecto de *Candida norvegensis* sobre la degradabilidad ruminal de rastrojo de maíz y el crecimiento de corderos

Effect of *Candida norvegensis* on ruminal degradation of corn stover and on growth performance of lambs

Oscar Ruiz-Barrera¹, Jesús López-Morones¹, Jaime Salinas-Chavira², Yamicela Castillo-Castillo^{1*}

RESUMEN

Los probióticos favorecen el desarrollo de microorganismos benéficos en el rumen, lo que incrementa la digestibilidad de los nutrientes y mejora el desempeño productivo de los rumiantes; con esto, se tiene la posibilidad de utilizar ingredientes como el rastrojo de maíz de relativo bajo valor nutritivo, pero altamente disponible en algunos lugares a bajo precio. Convencionalmente, se utilizan como probióticos las levaduras *Saccharomyces*, aunque existen reportes sobre el uso de cepas autóctonas, como *Candida norvegensis*. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del probiótico de *Candida norvegensis* en la degradabilidad ruminal *in situ* de rastrojo de maíz y en el comportamiento productivo de ovinos en crecimiento. La levadura *Candida norvegensis* (cepa Levazoot 15) [0 g (T1) y 5 g (T2)] se usó para determinar la degradación ruminal *in situ* (DRMS), del rastrojo de maíz, en 3 vacas canuladas ruminalmente por medio de la técnica de la bolsa de poliéster. No hubo efecto de la levadura ($P > 0.05$) para la fracción (a), (b) y (a+b); pero la degradabilidad efectiva al 1 %/h y 5 %/h de recambio ruminal fue mayor para T2 ($P < 0.05$). En un segundo experimento, 32 corderos se asignaron al azar a corrales individuales por 105 d para evaluar 4 dietas que difirieron en la proporción de concentrado/forraje: T1 = 75:25, T2 = 75:25, T3 = 50:50, y T4 = 25:75. A excepción de T1, las dietas fueron suplementadas con *Candida norvegensis*, a razón de 15 mL/kg de peso vivo, equivalente a 5 g/d de levadura en base seca. Los ovinos en la dieta con 75 % de concentrado más la levadura (T2) presentaron mayor ganancia de peso, y mejor conversión alimenticia ($P < 0.05$). Se concluye que *Candida norvegensis* mostró efectos benéficos en la degradabilidad ruminal y en el desarrollo de corderos.

PALABRAS CLAVE: levaduras, degradabilidad ruminal, corderos, probiótico.

ABSTRACT

Probiotics assist in the development of beneficial microorganisms in the rumen that increase digestibility of nutrients and improves the productive performance of ruminants; it also has the possibility of using ingredients as corn stover of relatively low nutritional value, but available in some places at low prices. *Saccharomyces* yeasts are conventionally used as probiotics and there are reports that use native strains such as *Candida norvegensis*. The objective of this study was to evaluate the effects of the probiotic of *Candida norvegensis* on the *in situ* ruminal dry matter degradability of corn stover and on the productive performance of growing lambs. In the first experiment, the yeast *Candida norvegensis* (strain Levazoot 15) [0 g (T1)] and 5 g (T2) was used to determine the *in situ* ruminal dry matter degradation (RDMD) of the corn stover in 3 cows with cannulas in the rumen, which was determined by the polyester bag technique. There was no effect of yeast ($P > 0.05$) on fraction (a), (b) and (a+b). However, the effective degradability at 1 %/h and 5 %/h of ruminal turnover was higher in T2 ($P < 0.05$). In the second experiment, 32 lambs were randomly assigned to individual pens for 105 d to evaluate 4 diets that differed in the proportion of concentrate: forage: T1 = 75: 25, T2 = 75:25; T3 = 50: 50, and T4 = 25: 75. With the exception of T1, the diets were supplemented with *Candida norvegensis* at 15 mL/kg of live weight, equivalent to 5 g/d of yeast in dry matter basis. The lambs in the diet with 75 % of concentrate plus the yeast (T2) showed greater weight gain and best feed conversion ($P < 0.05$). It is concluded that *Candida norvegensis* showed beneficial effects on ruminal degradability and on the growth of lambs.

KEYWORDS: yeast, ruminal degradability, lambs, probiotic.

*Correspondencia: ycastillo75@yahoo.com/ Fecha de recepción: 7 de diciembre de 2018/ Fecha de aceptación: 25 de septiembre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico Francisco R. Almada km 1, col. Zootecnia, Chihuahua, Chihuahua, México, C. P. 31453. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

La función digestiva de los rumiantes es fundamental en las variables de comportamiento de la producción ganadera (Dittmann y col., 2015). De acuerdo con Kannan y col. (2014), las continuas prohibiciones de aditivos, como los antibióticos, el costo elevado de insumos (Leibtag, 2008), y la escasez de zonas de pastoreo (Tamburello y col., 2014), han promovido la búsqueda de opciones para disminuir los costos de producción, sin afectar la salud de animales y de humanos. Una alternativa son los probióticos, los cuales poseen la capacidad de mejorar la función digestiva de los animales, contribuyendo a reducir la inversión por concepto de alimentación de las explotaciones de ovinos, caprinos y bovinos, mediante la utilización de ingredientes económicos, pero que carecen de un valor nutritivo adecuado. Por lo tanto, una mejora en la funcionalidad del tracto digestivo de los rumiantes, que favorezca el ambiente ruminal para el desarrollo de microorganismos benéficos, como las bacterias y hongos celulolíticos, podría transformarse en beneficios posteriores, como una mejor conversión alimenticia y mayor ganancia diaria de peso, que se reflejaría en importantes ahorros de índole alimenticia y un uso más intensivo de esquilmos agrícolas (Salinas-Chavira y col., 2013; Abdel-Aziz y col., 2015; Gaddekar y col., 2015; Puniya y col., 2015). Sin embargo, existen pocos estudios en relación al uso de cepas de levaduras diferentes a las de *Saccharomyces*, las cuales, en algunos casos, promueven mejoras ruminales y hacen más eficiente la producción animal, siendo prioritario profundizar en los estudios de la utilización de cepas autóctonas. *Candida norvegensis* (cepa Levazoot 15) ha demostrado, en estudios *in vitro*, tener efectos positivos para favorecer el desarrollo de la flora nativa y ser capaz de desdoblar incluso las fracciones menos digestibles de la fibra (Castillo-Castillo y col., 2016; Ruiz y col., 2016). El presente estudio es relevante, dado que existe poca información de levaduras no-*Saccharomyces*, de cepas autóctonas aisladas en la zona de estudio, que puedan actuar como pro-

bióticos, y que permitan mejorar el crecimiento de ovinos alimentados con rastrojo de maíz, ingrediente alimenticio comúnmente usado en raciones para la engorda de corderos en México.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos probióticos de *Candida norvegensis* en la degradabilidad ruminal *in situ* de rastrojo de maíz, y sobre el comportamiento productivo de ovinos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de trabajo

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, localizada geográficamente a 28°38' latitud N y 106°04' longitud W, a una altitud de 1 435 msnm, con una precipitación media anual de 387.5 mm y una temperatura media anual de 18.2 °C de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016). Todos los animales utilizados en este estudio fueron manejados de acuerdo al Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Chihuahua. El estudio se realizó del 25 de marzo al 15 de junio de 2015.

Experimento de degradabilidad ruminal en ganado bovino

Animales y su manejo

Para evaluar la degradabilidad ruminal del rastrojo de maíz se utilizaron 3 vacas adultas, con peso promedio de 496 ± 1.5 kg, equipadas con cánula ruminal permanente, suplementadas con un aditivo (probiótico) de levaduras *Candida norvegensis* (cepa Levazoot 15). Previamente, las vacas fueron vacunadas para prevenir contra enfermedades infecciosas respiratorias, diarreas virales y leptospirosis. Además, fueron desparasitadas con Ivermectina e inyectadas vía intramuscular con suplemento de selenio y vitamina E. Las vacas fueron alojadas individualmente y alimentadas *ad libitum* con una dieta basal de alfalfa y rastrojo de maíz (50:50), la cual satisface los requerimientos de nutrientes para mantenimiento de las vacas, y permite el crecimiento de bacterias fibrolíticas en rumen.

El alimento fue suministrado diariamente a las 10:00 horas y 17:00 horas, y el agua fue administrada a libre acceso.

Tratamientos experimentales y manejo de la levadura

Se evaluaron 2 tratamientos usando 2 periodos experimentales, en los cuales, los animales fueron alimentados con la dieta basal. En el primer periodo las vacas no recibieron el probiótico (T1: control). En el segundo, se suplementaron diariamente, vía ruminal, con 15 mL/kg de peso vivo de probiótico líquido a base de la levadura *Candida norvegensis* (cepa Levazoot 15), equivalente a 5 g en base seca (T2).

Para la preparación del inóculo de levadura, se tomó una muestra del medio de cultivo de la cepa Levazoot 15 con 24 h de crecimiento, y se disolvió en 10 mL de caldo extracto de malta (DIFCO St Louis MO, USA); se incubó en un tubo de ensayo de 100 mL a 30 °C por 24 h. Se mezclaron 50 mL de este cultivo con 50 mL de caldo extracto de malta en un matraz estéril Erlenmeyer de 100 mL. La mezcla nuevamente se incubó como se mencionó previamente (Castillo-Castillo y col., 2016). El cultivo resultante fue usado como inóculo para escalar la producción de la cepa Levazoot 15 en un fermentador dinámico, con capacidad de producción de 30 L, con una fase de descanso de 2 h y otra de actividad de 15 min.

Degradabilidad ruminal *in situ* de las dietas

Para la determinación de la degradabilidad ruminal *in situ*, de la materia seca, se consideraron dos periodos experimentales consecutivos (el periodo 1 de 30 d, y el periodo 2 de 31 d). En el primer periodo las vacas recibieron la dieta base sin levadura, y en el segundo periodo, los animales recibieron la dieta base más el aditivo (levadura). En cada periodo se usaron los mismos animales y se consideraron los últimos 3 d de cada periodo para la incubación ruminal de rastrojo de maíz; el resto de los días, en cada periodo, fue de adaptación. La incubación se

realizó de acuerdo a los procedimientos descritos por Nozière y Michaelt-Doreau (2000), para lo cual se utilizaron bolsas ANKOM (Macedon, NY. USA), de poliéster, libres de nitrógeno, con dimensiones de 10 cm x 20 cm y un tamaño de poro de 50 μ ($\pm$ 15). La muestra de rastrojo de maíz se secó previamente (55 °C, 72 h) y se molió en un molino Wiley No. 4, equipado con una malla de 2 mm. Se colocaron 3 g de muestra en cada bolsa. Las bolsas fueron colocadas en el rumen por triplicado por cada tiempo de incubación, los cuales fueron de 6 h, 12 h, 24 h, 48 h y 72 h. Después de cada tiempo de incubación, las bolsas se lavaron con agua de la llave, hasta que el agua de lavado se tornó cristalina, y se secaron en una estufa de aire forzado (Techno® modelo 17; Chicago, IL, USA) a 60 °C durante 48 h.

La degradabilidad *in situ* de la MS, para las muestras, en cada tiempo de incubación, fue calculada como la pérdida de peso de las muestras en las bolsas antes y después de la incubación ruminal, de acuerdo con el modelo de Ørskov y McDonald (1979), modificado por McDonald (1981):

$$P = a + b (1 - e^{-c(t - \text{lag})})$$

Donde:

P es la desaparición ruminal de la MS al tiempo t; a es la fracción rápidamente soluble; b es la fracción degradable; c es la tasa fraccional de degradación por hora de b; a + b es la degradabilidad potencial (%), la cual representa la cantidad de muestra que puede ser solubilizada o degradada en el rumen, si el tiempo no es un factor limitante; t es el tiempo de incubación en el rumen en horas. La fase “lag” es el tiempo (horas) de la colonización microbiana del sustrato en rumen.

Las constantes de tasa de pasaje ruminal (k) a 1 %/h y 5 %/h fueron usadas para calcular la degradación efectiva (DE) de la MS de acuerdo al modelo de Ørskov y McDonald (1979):

$$DE = a + b (b \times c) / (c + k)$$

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en donde se consideró como efecto fijo al tratamiento y como efectos aleatorios a los animales y a los periodos. Los datos fueron analizados con PROC MIXED de SAS. Las medias se compararon con la prueba de *t* de Student con el Software de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés: Statistitcal Analysis System) (SAS, 2007). Los valores de $P < 0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

Experimento de comportamiento productivo en ovinos

Ovinos y su manejo

Para la prueba de crecimiento se utilizaron 32 corderos de pelo de cruce pelibuey, dorper y katahdin, con un peso promedio inicial de $18.14 \text{ kg} \pm 0.25 \text{ kg}$, los cuales fueron agrupados por peso en 4 bloques y asignados al azar a corraletas individuales (8 corraletas/tratamiento) de $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ con techado de lámina, comedero y bebedero automático. Los corderos fueron vacunados para prevenir contra enfermedades infecciosas respiratorias, diarreas virales y leptospirosis; además, fueron desparasitados con Ivermectina e inyectados vía intramuscular con suplemento de selenio y vitamina E. Los animales fueron identificados con aretes al inicio del experimento. Se midió la ganancia diaria de peso (GDP), mediante un pesaje inicial y subsecuentemente cada 15 d, en una báscula electrónica (True-Test®, EziWeigh; Columbus, OH, USA) con capacidad de 200 kg y aproximación de 0.025 kg. El alimento se ofreció diariamente a las 08:00 horas, y el consumo de agua fue *ad libitum*. En cada etapa se estimó el consumo de materia seca (CMS) con base en el alimento ofrecido menos el rechazado. El alimento ofrecido y el rechazado fueron pesados diariamente, y el nivel de alimentación diaria ofrecida fue 10 % más del consumo de alimento del día anterior. La conversión alimenticia (CA) se estimó con base en el

alimento consumido dividida entre la ganancia de peso (consumo/ganancia). La fase experimental en la prueba de comportamiento productivo de los ovinos duró 105 d.

Dietas experimentales

Se probaron 4 dietas diferentes que variaron en cuanto a la proporción de concentrado y forraje suministrado (T1: 75:25; T2: 75:25, T3: 50:50; y T4: 25:75). Los ingredientes que se incluyeron en el concentrado fueron maíz roado, pasta de soya, melaza, urea, sal común, premezcla de minerales para ovinos, y grasa protegida. Los forrajes considerados en las dietas fueron rastrojo de maíz y heno de alfalfa. La proporción de ingredientes de cada dieta se muestra en la Tabla 1. Todos los ingredientes considerados en las dietas se compraron con un proveedor local dedicado a la venta de alimentos para animales. Las dietas fueron preparadas en el taller de alimentos balanceados de la Facultad de Zootecnia y Ecología, de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Las dietas fueron balanceadas con similar contenido de proteína, pero el nivel de energía disminuyó con el incremento en la proporción de forraje en la dieta (Tabla 2), cuya composición química fue determinada de acuerdo a la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, por sus siglas en inglés: Association Official Analytical Chemists) (AOAC, 2005). Todos los corderos con excepción del T1 fueron suplementados con el probiótico líquido, mezclado diariamente en la ración, a razón de 15 mL/kg de peso vivo, equivalente a 5 g/d de levadura en base seca del probiótico en estudio. La dosis se estimó en base a estudios previos (Ruiz y col., 2016), y de esta forma mantener la actividad probiótica de la levadura.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con PROC MIXED de SAS. Se utilizó el peso como covariable continua y una vez ajustados, los animales fueron asignados al azar a los tratamientos. Las variables de respuesta fueron: CMS, GDP y CA. Los valores de $P < 0.05$ fueron con-

■ **Tabla 1. Composición de ingredientes de las dietas experimentales alimentadas a corderos (base MS).**
Table 1. Ingredient composition of experimental diets administered to lambs (DM basis).

	Sin levadura	Tratamiento ^a		
		Con levadura		
Ingrediente (%)	75:25 (T1)	75:25 (T2)	50:50 (T3)	25:75 (T4)
Concentrado (%)	75	75	50	25
Pasta de soya	10	10	10	9.6
Maíz rolado	58.5	58.5	32.5	7.9
Melaza	2.5	2.5	1	1.5
Urea	1.5	1.5	1.5	0.5
Sal	1	1	1	1
Premezcla ^b	1	1	1	1
Grasa protegida	0.5	0.5	3	3.5
Forraje (%)	25	25	50	75
Rastrojo de maíz	15	15	30	30
Alfalfa	10	10	20	45

^aProporción de concentrado y forraje (T1: 75:25; T2: 75:25; T3: 50:50; y T4: 25:75). La dieta de T1 sin probiótico; las dietas de T2, T3 y T4 se suplementaron con el probiótico líquido, mezclado diariamente en la ración, a razón de 15 mL/kg de peso vivo, equivalente a 5 g/d de levadura en base seca del probiótico.

^bPremezcla mineral y vitamínica (marca registrada MNA, S. A. de C. V. México), calculada para contener: calcio 11.5 %, fósforo 12.0 %, magnesio 0.600 %, cobalto 13.0 mg/kg, cobre 1 100 mg/kg, iodo 102 mg/kg, hierro 580 mg/kg, manganeso 216 mg/kg, selenio 9 mg/kg, zinc 2 850 mg/kg, vitamina A 99.8 KIU/kg, vitamina D 10.8 KIU/kg.

■ **Tabla 2. Composición química de las raciones experimentales alimentadas a corderos (base MS).**
Table 2. Chemical composition of experimental rations administered to lambs (DM basis).

	Sin levadura	Tratamiento ^a		
		Con levadura		
	75:25 (T1)	75:25 (T2)	50:50 (T3)	25:75 (T4)
Materia seca, %	76.7	76.6	78.2	83.4
Proteína cruda, %	17.09	17.16	17.45	17
Extracto etéreo, %	3.61	3.62	5.47	5.65
Cenizas, %	6.07	6.07	7.29	9.09
Fibra cruda, %	8.42	8.40	14.30	18.50
Energía metabolizable, Mcal/kg ^b	2.62	2.63	2.45	2.40

^aProporción de concentrado y forraje (T1: 75:25; T2: 75:25; T3: 50:50; y T4: 25:75). La dieta de T1 sin probiótico; las dietas de T2, T3 y T4 se suplementaron con el probiótico líquido, mezclado diariamente en la ración, a razón de 15 mL/kg de peso vivo, equivalente a 5 g/d de levadura en base seca del probiótico.

^bEstimada a partir de la composición energética de los ingredientes (NRC, 2001).

siderados estadísticamente significativos. Las medias de tratamientos se compararon con la prueba Diferencia Mínima Significativa (SAS, 2007).

RESULTADOS

Experimento de degradabilidad ruminal en ganado bovino

La fracción soluble (a), la fracción degradable

y la degradabilidad potencial de la MS no mostraron diferencia entre los 2 tratamientos (Tabla 3; $P > 0.05$). Al contrario, la tasa de degradación (c) fue mayor para T2 que T1 ($P < 0.05$). La degradabilidad efectiva, tanto al 1 %/h como al 5 %/h, de recambio ruminal, fue más alta para T2 que T1 ($P < 0.05$). Estos resultados coinciden con el incremento en la degradación ruminal de MS del rastrojo de maíz, como consecuencia de la suplementación con la levadura en la dieta (Figura 1).

Comportamiento productivo en ovinos

Los resultados se muestran en la Tabla 4. La mayor GDP se observó en los ovinos en la dieta con 75 % concentrado + levadura (T2); mientras que la menor GDP ($P < 0.05$) se observó en los ovinos en la dieta con 25 % de concentrado + levadura (T4). La GDP en los ovinos en la dieta con 75 % concentrado sin levadura (T1) y los de la dieta con 50 % de concentrado + levadura (T3) fue similar ($P > 0.05$), pero fue menor a los ovinos de T2 y mayor que T4 ($P < 0.05$). En la

Figura 2 se muestra la GDP obtenida por los ovinos en las dietas experimentales. Como se observa en la Figura 3, el consumo de MS fue similar en los ovinos que recibieron las dietas con el mismo contenido de concentrado sin (T1) y con (T2) levadura ($P > 0.05$), y este fue mayor ($P < 0.05$) que en los ovinos que recibieron las dietas con menor cantidad de concentrado y levadura (T3 y T4). En la Figura 4, se aprecia que la eficiencia alimenticia fue mayor ($P < 0.05$) en los ovinos que recibieron la dieta con 75 % de concentrado más levadura (T2), que los ovinos que recibieron la dieta con el mismo nivel de concentrado pero sin levadura (T1). También se observa que la eficiencia alimenticia fue similar en los ovinos de T2 y T3 ($P > 0.05$), y fue menor en los ovinos de T4 ($P < 0.05$).

DISCUSIÓN

Experimento de degradabilidad ruminal en ganado bovinos

Los valores de tasa fraccional de degradación

■ Tabla 3. Parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca (DRMS) del rastrojo de maíz incubado en bolsas de *polyester* en el rumen de vacas.

Table 3. Parameters of *in situ* ruminal dry matter degradability (RDMD) of corn stover incubated in polyester bags in the rumen of cows.

Parámetros de DRMS ¹	Tratamientos ²			
	T1	T2	Sig.	EEM
Fracción soluble (a)	4.0 ± 0.23	3.8 ± 0.02	NS	0.30
Fracción degradable (b)	59.9 ± 0.97	61.0 ± 0.88	NS	2.1
Degradabilidad potencial (a+b) ³	63.9 ± 1.21	64.8 ± 0.90	NS	0.9
Tasa fraccional de degradación de b (c)	0.024 ± 0.10 ^b	0.049 ± 0.51 ^a	**	0.22
Degradabilidad efectiva modelada a una tasa de pasaje fraccional (h ⁻¹) de:				
0.01	46.0 ± 3.14 ^b	54.5 ± 0.64 ^a	**	0.20
0.05	23.4 ± 1.74 ^b	30.4 ± 0.31 ^a	**	0.20

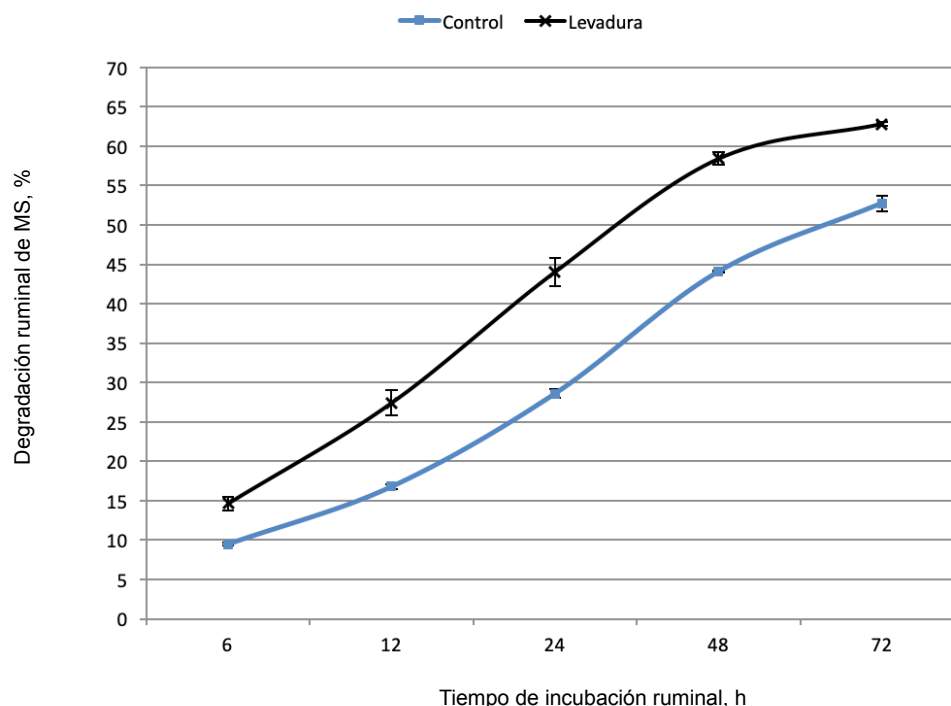
Sig.: significancia; NS: No significancia; EEM: Error Estándar de las Media.

¹Estimada de acuerdo al modelo de Ørskov y McDonald (1979), modificado por McDonald (1981).

²En T1 se usó la dieta base sin levadura y en T2 los animales recibieron la dieta base más el aditivo (levadura).

³Equivale a la cantidad de alimento que puede ser solubilizado o degradado en el rumen si el tiempo no es un factor limitante.

^{ab}Medias con diferente literal en la misma hilera difieren significativamente ($P < 0.05$).



■ Figura 1. Degradación ruminal de materia seca (MS) de rastrojo de maíz con y sin la levadura *Candida norvegensis* (valores ajustados a la curva de degradación).

Figure 1. Degradation of ruminal dry matter (DM) of corn stover with and without *Candida norvegensis* yeast (adjusted values to fit degradation curve).

■ Tabla 4. Medias de ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y consumo de materia seca de corderos alimentados con dietas con diferente cantidad de fibra suplementadas con levaduras.

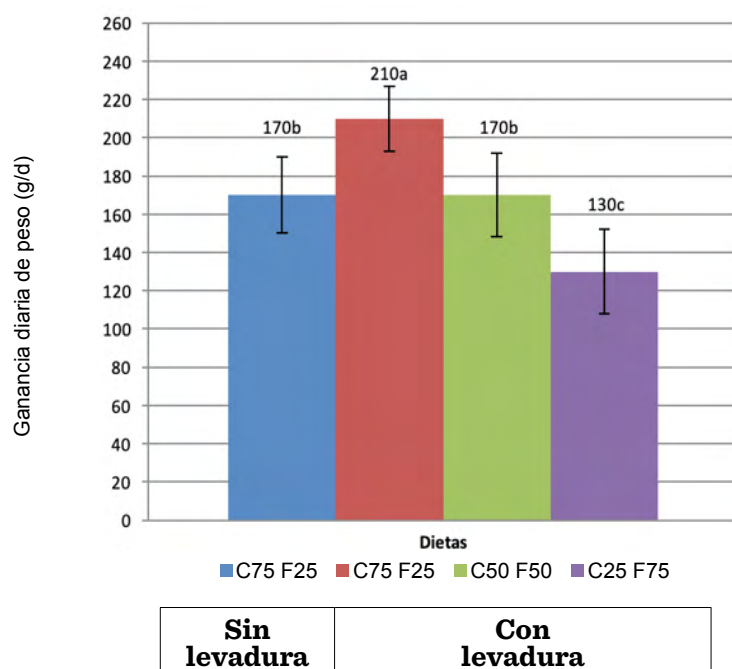
Table 4. Means of daily weight gain, feed efficiency and dry matter intake of lambs fed with the diets containing different amount of fiber supplemented with yeast.

	Sin levadura	Tratamientos ¹				
		Con levadura				
	75:25 (T1)	75:25 (T2)	50:50 (T3)	25:75 (T4)	Sig.	EEM
Corderos	8	8	8	8		
Peso inicial (kg)	18.1 ± 0.62	18.1 ± 1.51	17.9 ± 0.58	18.0 ± 0.87	NS	0.7
Peso final (kg)	36.1 ± 0.04 ^b	40.6 ± 3.55 ^a	36.1 ± 2.42 ^b	31.7 ± 2.83 ^c	**	2.6
Ganancia diaria de peso (g)	170 ± 20 ^b	210 ± 17 ^a	170 ± 22 ^b	130 ± 22 ^c	**	14.0
Consumo MS (g/día)	890 ± 39 ^a	892 ± 33 ^a	827 ± 33 ^b	841 ± 52 ^b	**	6.0
e. Alimenticia (GDP/CMS)	0.19 ± 0.004 ^{bc}	0.23 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.02 ^{ab}	0.15 ± 0.03 ^c	**	0.09

Sig.: significancia; NS: No significancia; EEM: Error Estándar de las medias.

¹Proporción de concentrado y forraje (T1: 75:25; T2: 75:25; T3: 50:50; y T4: 25:75). La dieta de T1 sin probiótico; las dietas de T2, T3 y T4 se suplementaron con el probiótico líquido mezclado diariamente en la ración, a razón de 15 mL/kg de peso vivo equivalente a 5 g/d de levadura en base seca del probiótico.

^{abc}Medias con diferente literal en la misma hilera difieren significativamente (P < 0.05).

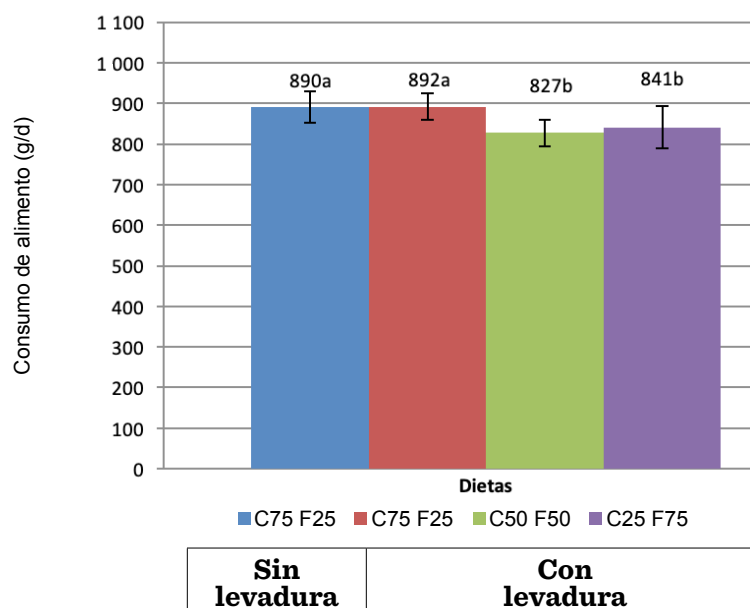


■ Figura 2. Medias de ganancia diaria de peso de corderos alimentados con dietas con diferente cantidad de concentrado (C) y forraje (F), con y sin levaduras.

^{abc}Medias con diferente literal en las dietas difieren significativamente ($P < 0.05$).

Figure 2. Means of daily weight gains of lambs fed with different amount of concentrate (C) and forage (F), with and without yeast.

^{abc}Means with different letter in diets differ significantly ($P < 0.05$).

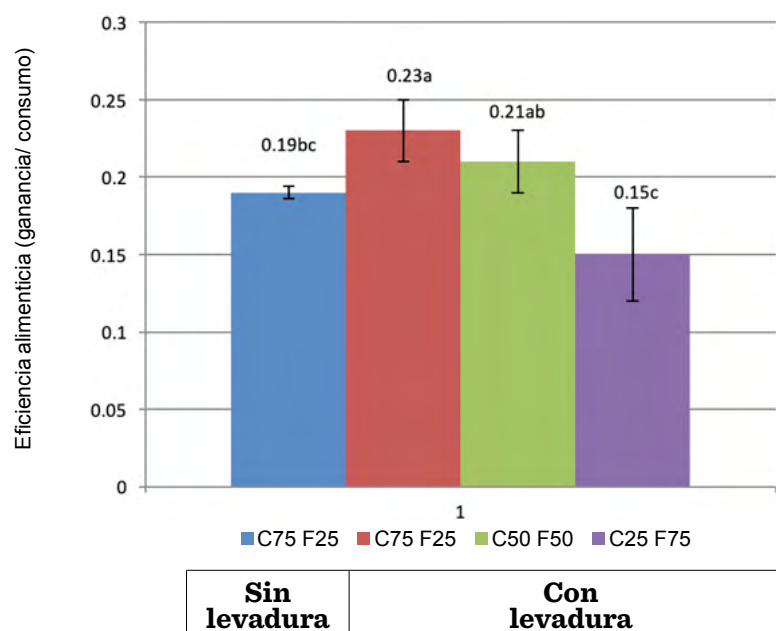


■ Figura 3. Medias de consumo diario de alimento de corderos alimentados con dietas con diferente cantidad de concentrado (C) y forraje (F), con y sin levaduras.

^{ab}Medias con diferente literal en las dietas difieren significativamente ($P < 0.05$).

Figure 3. Means of daily food intake of lambs fed with with different amount of concentrate (C) and forage (F), with and without yeast.

^{ab}Means with different letter in diets differ significantly ($P < 0.05$).



■ Figura 4. Medias de eficiencia alimenticia (ganancia de peso/consumo de alimento) de corderos alimentados con dietas con diferente cantidad de concentrado (C) y forraje (F), con y sin levaduras.

^{abc}Medias con diferente literal en las dietas difieren significativamente ($P < 0.05$).

Figure 4. Means of feed conversion (daily gain weight/food intake) of lambs fed with with different amounts of concentrate (C) and forage (F), with and without yeast.

^{abc}Means with different letter in diets differ significantly ($P < 0.05$).

y degradabilidad efectiva del rastrojo de maíz incrementaron cuando se suplementó la dieta con levadura. En forma consistente, Chaucheyras-Durand y col. (2015), reportaron mejoras en la degradación de la fracción de fibra detergente neutro con la adición de *Saccharomyces cerevisiae*. Los autores atribuyeron el efecto de levadura viva sobre la degradación de sustratos fibrosos, por un aumento en la colonización microbial, adjudicando el efecto no únicamente al pH ruminal, sino también a la utilización de oxígeno ruminal por las células de levaduras, para una anaerobiosis más eficaz. En forma consistente, Ishaq y col. (2015) asociaron este efecto a una posible más rápida y efectiva colonización por microorganismos ruminales. Asimismo, Ruiz y col. (2016) observaron que la inoculación con *Candida norvegensis*, a sustratos fibrosos, favorecía el aprovechamiento de algunas fracciones altamente indigestibles, por promover la proliferación de microorga-

nismos celulolíticos, para llevar a cabo una mejor fermentación ruminal. Promkot y col. (2013), atribuyeron que el uso de levaduras en rumiantes mejoraba el aprovechamiento de la MS y su capacidad fermentativa.

Además, Zeoula y col. (2014), reportaron que la inclusión de probióticos, en las dietas de becerros productores de carne, ayudó a mejorar la capacidad digestiva de estos, estabilizando el pH en el rumen, al reducir el lactato y favorecer la proliferación de bacterias celulolíticas. Castillo-Castillo y col. (2016) y Ruiz y col. (2016), en estudios *in vitro*, observaron que la levadura *Candida norvegensis* disminuyó la concentración de nitrógeno amoniacal, ácido láctico, así como la producción de gas metano, estabilizando el ambiente ruminal con valores de pH que rondan el valor neutro, todo lo cual favorece el desarrollo de microorganismos degradadores de carbohidratos estructurales. Consistentemente,

Bhatt y col. (2018), en ovinos, detectaron mayor digestión de la fibra ácido detergente, cuando las dietas se suplementaron con *Saccharomyces cerevisiae*. Por su parte, Jia y col. (2018) en dietas para ovinos, enriquecidas con *Bacillus licheniformis* y *Saccharomyces cerevisiae*, mostraron que la reducción en el amoníaco ruminal se reflejó en mayor síntesis de proteína microbiana en rumen, lo cual generó mayor retención de nitrógeno en ovinos, al suplementar dietas para ovinos con *Saccharomyces cerevisiae* (Obeidat y col., 2018). En forma diferente, Kowalik y col. (2016), no observaron influencia en la retención de nitrógeno en ovinos, al suplementar dietas con cultivos vivos de levaduras. Los mismos autores reportaron que estas diferencias se podrían deber al tipo y dosis de microorganismos usados, a la diferente composición de ingredientes de las dietas, así como, a diferencias en los animales usados.

Experimento de comportamiento productivo en ovinos

En el presente experimento, el comportamiento productivo de los corderos cambió positivamente por la levadura, al mejorar las condiciones ruminales y, por ende, aumentando la capacidad de los microorganismos celulolíticos del rumen, para lograr una mayor tasa fraccional de degradación ruminal, y de la de gradabilidad efectiva del rastrojo de maíz, como se observó en el experimento con bovinos. Lo anterior concuerda con lo reportado por otros autores (Chaucheyras-Durand y col., 2015; Ishaq y col., 2015). El comportamiento de crecimiento de los corderos se vio acompañado por consumos adecuados de MS, a pesar de los niveles elevados de fibra en T3 y T4. Probablemente, debido a un recambio ruminal significativo, fenómeno que fue reportado en el estudio con bovinos, por influencia de la levadura en el rumen de los corderos. Estos resultados coinciden con lo obtenido por Seo y col. (2010), quienes encontraron que las levaduras contribuían significativamente en la reducción de la presencia de oxígeno, disminuyendo la producción de lactato, lo que a su vez mejoró la degrada-

bilidad de los alimentos y la fermentación ruminal, contribuyendo así, en el desarrollo de microorganismos celulolíticos, y mejorando por lo tanto la degradabilidad de las fracciones menos aprovechables de los alimentos vegetales (Krehbiel y col., 2003; Qadis y col., 2014; Bernard y col., 2015; Julien y col., 2015; Tristant y Moran, 2015). Otros trabajos, con levaduras no comerciales, como es el caso del presente estudio, utilizando *Candida norvegensis*, demostraron igualmente su eficacia en la utilización de carbohidratos no estructurales y el incremento en los parámetros productivos, cuando se inocula el rumen con *Candida tropicalis* (Marrero y col., 2014), *Candida pinotopeti* (Mokhber-Dezfouli y col., 2007) y *Candida utilis* (Ando y col., 2006; Mahyuddin y Winugroho, 2010), mejorando además su condición general.

En este estudio, los ovinos alimentados en la dieta control (T1; con 25 % de forraje sin aditivo) mostraron similar ganancia de peso que los ovinos que recibieron la dieta de T3, en la cual, se incrementó el forraje hasta 50 % de la dieta, lo que representa un ahorro importante en la alimentación. Esto se debió al efecto benéfico de la suplementación de levadura; sin embargo, en la dieta de T4 (75 % de forraje más levadura), los ovinos presentaron la menor eficiencia productiva. Los ovinos que se alimentaron con la dieta de T2 (25 % de forraje más levadura) tuvieron la mayor ganancia de peso.

En forma consistente, Jia y col. (2018), en dietas para ovinos en desarrollo (48 % de forraje), y en finalizado (30 % de forraje), señalaron beneficios en el comportamiento productivo cuando se suplementó con *Bacillus licheniformis* y *Saccharomyces cerevisiae*. Los autores encontraron aumentos en la fermentación ruminal de compuestos nitrogenados y en la producción de propionato, además de incremento en bacterias del género *Fibrobacter*; también reportaron mejoras en la capacidad inmune de los ovinos. De acuerdo con lo anterior, Shankhpal y col. (2016), en dietas con 60 % concentrado y 40 % forra-

je, documentaron que, al suplementar con levaduras vivas de *Saccharomyces cerevisiae*, se mejoró el comportamiento productivo de cabritos, así como la digestibilidad de nutrientes en el tubo digestivo total. En contraste, Obeidat (2017), no encontró efecto de suplementar *Saccharomyces cerevisiae* en dietas con subproducto de oliva, en el comportamiento productivo de ovinos en engorda o en la digestibilidad de nutrientes. El autor señaló que las diferencias en los reportes se pueden deber en parte a las diferencias en composición de las dietas experimentales, así como al tipo y a la dosis de levaduras que se emplean en los diferentes estudios.

El consumo de MS por los ovinos, en la dieta control con 25 % de forraje, sin levadura (T1), fue similar a lo observado en la dieta con 25 % de forraje con levadura (T2). En este estudio, también se registró que el consumo de MS fue menor en las dietas con 50 % y 75 % de forraje (T3 y T4), a pesar que estas dietas contenían *Candida norvegensis*. Con el mismo nivel de forraje (T1 vs T2) la levadura no influyó en el consumo de MS. En los estudios de investigación, las levaduras no muestran efecto constante en el consumo de MS. De acuerdo con este trabajo, otros autores tampoco reportan efecto de levaduras en consumo de MS en ovinos (Haddad y Goussous, 2005; Obeidat, 2017; Jia y col., 2018). Al usar diferente nivel de fo-

rraje, en dietas para ovinos, Issakowicz y col. (2013) no registraron efecto de levadura en consumo de MS. En forma diferente, Obeidat y col. (2018), encontraron interacción de forraje con levadura, observando mayor efecto en consumo de MS en dietas bajas en forraje suplementadas con levadura, mientras que en dietas altas en forraje la levadura no tuvo el mismo efecto. El mismo autor también registró menor consumo en dietas con mayor contenido de forraje.

CONCLUSIONES

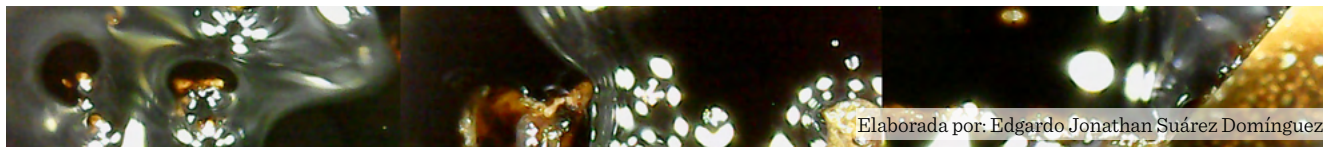
De acuerdo con los resultados de este estudio, el probiótico a base de *Candida norvegensis* mostró capacidad de incrementar la degradabilidad ruminal de la materia seca, además de permitirle a los corderos aprovechar alimentos con alto contenido de fibra (50 % forraje) e igualar en eficiencia alimenticia a los corderos alimentados con dietas ricas en concentrado (25 % forraje sin levadura), lo que podría ayudar a reducir costos de alimentación y mantener la eficiencia productiva de los animales. La suplementación con levadura, en dietas con 25 % de forraje mejoró en este estudio la ganancia de peso de los ovinos. Se espera realizar una futura investigación con *Candida norvegensis*, considerando otras variables de fermentación ruminal, como pH, ácidos grasos volátiles, amoníaco, además de hacer conteos de protozoarios.

REFERENCIAS

- Abdel-Aziz, N. A., Salem, A. Z., El-Adawy, M. M., Camacho, L. M., Kholif, A. E., Elghandour, M. M., and Borhami, B. E. (2015). Biological treatments as a mean to improve feed utilization in agriculture animals, an overview. *Journal of Integrative Agriculture*. 14(3): 534-543.
- Ando, S., Nishiguchi, Y., Hayasaka, K., Iefuji, H., and Takahashi, J. (2006). Effects of *Candida utilis* treatment on the nutrient value of rice bran and the effect of *Candida utilis* on the degradation of forages *in vitro*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 19(6): 806-810.
- AOAC, Association Official Analytical Chemists (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. (18a ed.) Maryland, E. U. A.: AOAC International. 486 Pp.
- Bernard, J. K. (2015). Milk yield and composition of lactating dairy cows fed diets supplemented with a probiotic extract. *The Professional Animal Scientist*. 31(4): 354-358.
- Bhatt, R. S., Sahoo, A., Karim, S. A., and Gaddekar, Y. P. (2018). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and rumen bypass-fat supplementation on growth, nutrient utilisation, rumen fermentation and carcass traits of lambs. *Animal Production Science*. 58(3): 530-538.

- Castillo-Castillo, Y., Ruiz-Barrera, O., Burrola-Barrera, M. E., Marrero-Rodriguez, Y., Salinas-Chavira, J., Angulo-Montoya, C., and Camarillo, J. (2016). Isolation and characterization of yeasts from fermented apple bagasse as additives for ruminant feeding. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47(4): 889-895.
- Chaucheyras-Durand, F., Ameilbonne, A., Bichat, A., Mosoni, P., Ossa, F., and Forano, E. (2015). Live yeasts enhance fibre degradation in the cow rumen through an increase in plant substrate colonisation by fibrolytic bacteria and fungi. *Journal of Applied Microbiology*. 120(3): 560-570.
- Dittmann, M. T., Hummel, J., Hammer, S., Arif, A., Hebel, C., Muller, D. W. H., and Clauss, M. (2015). Digesta kinetics in gazelles in comparison to other ruminants: Evidence for taxon-specific rumen fluid throughput to adjust digesta washing to the natural diet. *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular and Integrative Physiology*. 185(1): 58-68.
- Gadekar, Y. P., Shinde, A. K., Sahoo, A., and Karim, S. A. (2015). Effect of probiotic supplementation on carcass traits and meat quality of Malpura lambs. *The Indian Journal of Small Ruminants*. 21(3): 306-310.
- Haddad, S. G. and Goussous, S. N. (2005). Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 118(3-4): 343-348.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Sistema para la Consulta del Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. [En línea]. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/mografias/informacion/chih/territorio/clima.aspx?tema=me&e=08>. Fecha de consulta: 16 de abril de 2016.
- Ishaq, S. L., Kim, C. J., Reis, D., and Wright, A. D. G. (2015). Fibrolytic bacteria isolated from the rumen of North American moose (*Alces alces*) and their use as a probiotic in neonatal lambs. *Plos One*. 10(12): 1-25.
- Issakowicz, J., Bueno, M. S., Sampaio, A. C. K., and Duarte, K. M. R. (2013). Effect of concentrate level and live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on Texel lamb performance and carcass characteristics. *Livestock Science*. 155(1): 44-52.
- Jia, P., Cui, K., Ma, T., Wan, F., Wang, W., Yang, D., ..., and Diao, Q. (2018). Influence of dietary supplementation with *Bacillus licheniformis* and *Saccharomyces cerevisiae* as alternatives to monensin on growth performance, antioxidant, immunity, ruminal fermentation and microbial diversity of fattening lambs. *Scientific Reports*. 8(1):16712.
- Julien, C., Marden, J. P., Auclair, E., Moncoulon, R., Cauquil, L., Peyraud, J. L., and Bayourthe, C. (2015). Interaction between live yeast and dietary rumen degradable protein level: effects on diet utilization in early-lactating dairy cows. *Agricultural Science*. 6(1):1-13.
- Kannan, S., Hernandez, L., Herrera, A., Jimenez, B., Miller, M., Perales, P., and Subburaj, P. (2014). Genesis of antibiotic resistance (AR) III: trifling risk of AR pathogens induced infectious diseases from regulated concentrated animal feeding operations. *The FASEB Journal*. 28(1):986-997.
- Kowalik, B., Skomial, J., Miltko, R., and Majewska, M. (2016). The effect of live *Saccharomyces cerevisiae* yeast in the diet of rams on the digestibility of nutrients, nitrogen and mineral retention, and blood serum biochemical parameters. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 40(5): 534-539.
- Krehbiel, C. R., Rust, S. R., Zhang, G., and Gilliland, S. E. (2003). Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: performance response and mode of action. *Journal of Animal Science*. 81(14 suppl. 2): 120-132.
- Leibtag, E. (2008). Corn prices near record high, but what about food costs, in *Amber Waves*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2008/february/corn-prices-nearrecord-high-but-what-about-food-costs/>. Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2018.
- Mahyuddin, P. and Winugroho, M. (2010). Effect of combination of yeast (*Saccharomyces cerevisiae* + *Candida utilis*) and herbs supplementation in finishing diet on carcass characteristics of beef cattle. *Journal Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 35(4):251-256.
- Marrero, Y., Castillo, Y., Ruiz, O., Burrola, E., and Angulo, C. (2014). Feeding of yeast (*Candida* spp) improves *in vitro* ruminal fermentation of fibrous substrates. *Journal of Integrative Agriculture*. 14(3): 514-519.
- McDonald, I. (1981). A revised model for estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agricultural Science*. 96(1):251-252.

- Mokhber-Dezfouli, M. R., Tajik, P., Bolourchi, M., and Mahmoudzadeh, H. (2007). Effects of probiotics supplementation in daily milk intake of newborn calves on body weight gain, body height, diarrhea occurrence and health condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10(18): 3136-3140.
- Nozière, P. Y. and Michaelt-Doreau, B. (2000). *In sacco methods*. Farm animal metabolism and nutrition (tenth edition.). USA: CABI Publishing. 438 Pp.
- NRC, National Research Council (2001). *Nutrient requirements of domestic animals*. National Academic Press. Washington, DC: Seventh edition. 363 Pp.
- Obeidat, B. S. (2017). The effects of feeding olive cake and *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on performance, nutrient digestibility and blood metabolites of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 231: 131-137.
- Obeidat, B. S., Mahmoud, K. Z., Obeidat, M. D., Ata, M., Kridli, R. T., Haddad, S. G., ..., and Hatamleh, S. M. (2018). The effects of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on intake, nutrient digestibility, and rumen fluid pH in Awassi female lambs. *Veterinary World*. 11(7): 1015-1020.
- Ørskov, E. R. and McDonald, I. (1979). Estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*. 92(2): 499-503.
- Promkot, C., Wanapat, M., and Mansathit, J. (2013). Effects of yeast fermented-cassava chippotein (YEFECAP) on dietary intake and milk production of Holstein crossbred heifers and cows during pre-and post-partum period. *Livestock Science*. 154(1-3): 112-116.
- Puniya, A. K., Singh, R., and Kamra, D. N. (2015). *Rumen microbiology: From evolution to revolution* (primera edición). USA: Springer. 379 Pp.
- Qadis, A. Q., Goya, S., Ikuta, K., Yatsu, M., Kimura, A., Nakanishi, S., and Sato, S. (2014). Effects of a bacteria-based probiotic on ruminal pH, volatile fatty acids and bacterial flora of Holstein calves. *Journal of Veterinary Medical Science*. 76(6): 877-885.
- Ruiz, O., Castillo, Y., Arzola, C., Burrola, E., Salinas, J., Corral, A., ..., and Itza, M. (2016). Effects of *Candida norvegensis* live cells on *in vitro* oat straw rumen fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 29(2): 211-218.
- Salinas-Chavira, J., Almaguer, L. J., Aguilera-Aceves, C. E., Zinn, R. A., Mellado, M., and Ruiz-Barrera, O. (2013). Effect of substitution of sorghum stover with sugarcane top silage on ruminal dry matter degradability of diets and growth performance of feedlot hair lambs. *Small Ruminant Research*. 112(1): 73-77.
- SAS, Statistical Analysis System (2007). User's Guide: Statistics, Version 9.6th Edition. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Seo, J. K., Kim, S. W., Kim, M. H., Upadhaya, S. D., Kam, D. K., and Ha, J. K. (2010). Direct-fed microbials for ruminant animals. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 23(12): 1657-1667.
- Shankhpal, S., Parnerkar, S., and Bhandari, B. M. (2016). The effect of feeding bypass fat and yeast (*saccharomyces cerevisiae*) supplemented total mixed ration on feed intake, digestibility, growth performance and feed conversion efficiency in weaner Surti kids. *Livestock Research International*. 4(1): 11-17.
- Tamburello, L., Bulleri, F., Balata, D., and Benedetti-Cecchi, L. (2014). The role of overgrazing and anthropogenic disturbance in shaping spatial patterns of distribution of an invasive seaweed. *Journal of Applied Ecology*. 51(2): 406-414.
- Tristant, D. and Moran, C. A. (2015). The efficacy of feeding a live probiotic yeast, Yea-Sacc®, on the performance of lactating dairy cows. *Journal of Applied Animal Nutrition*. 3(12): 90-95.
- Zeoula, L. M., Do-Prado, O. P. P., Geron, L. J. V., Beleze, J. R. F., Aguiar, S. C., and Maeda, E. M. (2014). Total digestibility and *in situ* degradability of bulky diets with the inclusion of ionophores or probiotics for cattle and buffaloes. *Semina: Ciências Agrárias*. 35(4): 2063-2076.



Efecto del patrón de flujo sobre las pérdidas de presión para flujo bifásico a través de lechos porosos bajo perspectiva fractal

Flow pattern effect on the pressure drop of biphasic flow through porous media from a fractal dimension perspective

Edgardo Jonathan Suárez-Domínguez^{1*}, Arturo Palacio-Pérez², Josué Francisco Pérez-Sánchez^{1,3}, Elena Izquierdo-Kulich⁴

RESUMEN

La descripción del comportamiento de un flujo bifásico, a través de lechos porosos, por medio de modelos, basados en las ecuaciones de fenómenos de transporte, se dificulta debido a la irregularidad geométrica de los canales que se forman entre las partículas sólidas que constituyen el lecho. Los modelos deterministas desarrollados para flujos monofásicos requieren del ajuste de constantes empíricas y no pueden extrapolarse a flujos bifásicos, donde el patrón de flujo generado en el sistema influye significativamente sobre el comportamiento del flujo total y las pérdidas de presión por fricción. Por lo anterior, en este trabajo se presenta un modelo para describir el comportamiento del flujo bifásico en función del patrón de flujo y de la morfología, las dimensiones y las condiciones de operación del lecho poroso, cuya obtención se basó en un formalismo, empleando conjuntamente las ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento, la geometría fractal y el cálculo diferencial fraccional. El modelo predice que, para una misma composición del flujo bifásico, el patrón de flujo influye significativamente sobre las pérdidas de presión por fricción, habiendo un incremento cuando una de las fases se encuentra dispersa en el seno de la otra. Por otro lado, el incremento de la dimensión fractal de los poros causa a su vez un incremento de las pérdidas de presión por fricción. El modelo presenta limitaciones asociadas a las consideraciones establecidas durante su obtención, de tal manera que sólo es válido cuando los efectos de la tensión superficial son más significativos que los gravitatorios, despreciándose los efectos de esos últimos sobre el patrón de flujo, así como para el estado estacionario.

PALABRAS CLAVE: reservorio fractal, lecho poroso, flujo complejo, ecuación fraccional de transporte, predicción de caída de presión.

ABSTRACT

The description of the behavior of a biphasic flow through porous beds by means of models based on the equations of transport phenomena is made difficult due to the geometric irregularity of the channels that are formed between the solid particles that make up the bed. Deterministic models developed for single-phase flows require the adjustment of empirical constants and cannot be extrapolated to biphasic flows, where the flow pattern generated in the system significantly influences the behavior of the total flow and the frictional pressure losses. Therefore, in this paper, we present a model to describe the behavior of the biphasic flow in relation to the flow pattern and the morphology, dimensions, and operating conditions of the porous bed, whose obtainment was based on a hierarchy that used the equations for conservation of momentum, fractal geometry and fractional differential calculus jointly. The model predicts that, for the same composition of the biphasic flow, the flow pattern significantly influences friction pressure losses, with an increase when one of the phases is dispersed within the other. On the other hand, the increase in the fractal dimension of the pores, in turn, causes an increase in pressure loss due to friction. The model has limitations associated with the considerations established during its collection, since it is only valid when the effects of surface tension are more significant than the gravitational effects, the effects of the latter being disregarded on the flow pattern, as well as for the stationary state.

KEYWORDS: fractal reservoir, porous bed, complex flow, fractional equation of transport, pressure drop prediction.

*Correspondencia: edgardo.suarez@uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 31 de mayo de 2019/ Fecha de aceptación: 4 de octubre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Centro Universitario sur, Circuito Universitario s/n, Tampico, Tamaulipas, México, C. P. 89000. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Coyoacán, Ciudad de México, México. ³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Centro de Investigación en Petroquímica, Altamira, Tamaulipas, México. ⁴Universidad de la Habana, Facultad de Química, Departamento de Química-Física, Vedado, La Habana, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El flujo a través de lechos porosos es un proceso que se asocia con diferentes operaciones unitarias que se llevan a cabo en la industria (Pesavento y col., 2017), tales como los procesos continuos de adsorción (Flury y Aramrak, 2017), reacciones químicas heterogéneas o catalizadas por sólidos (Ledesma-Durán y col., 2017), filtración e intercambio iónico, entre otras (Bear, 2018). Este fenómeno se puede observar en la naturaleza, asociado al movimiento de las aguas subterráneas, y en los procesos de extracción de petróleo crudo desde yacimientos porosos (Kokubun y col., 2018). En dicho contexto, los estudios con soluciones analíticas que se han llevado a cabo, para describir y modelar el comportamiento de estos procesos, asumen que el flujo es monofásico. Sin embargo, pueden presentarse situaciones en las cuales se genera un flujo bifásico, como cuando se extraen crudos pesados con agua en su composición, o se emplean productos químicos para disminuir la viscosidad e incrementar la eficiencia de la explotación de los yacimientos.

La presencia de las partículas en el lecho causa una pérdida de presión significativa, debido a la tensión de corte en la pared de estas, de aquí que los valores de flujo monofásico que se puedan lograr para una fuerza directora aplicada son mucho menores que los que se logran en un tubo (Hjelmeland y Larrondo, 1986). El área superficial del sólido que se encuentra en contacto con el fluido depende de forma compleja de la morfología de las partículas, de la distribución de tamaños, de la disposición espacial entre las mismas, y de la porosidad del lecho (Valdes-Perez y col., 2012). Estos factores se consideran habitualmente a través del ajuste de parámetros empíricos de los modelos que se emplean para predecir el comportamiento del flujo (Mahzari y col., 2018). Debido a la tensión de corte, es de esperar que el incremento en el área superficial por unidad de volumen del sólido, conlleve a un incremento de las pérdidas de presión por fricción, de ahí la importancia de disponer

de modelos fenomenológicos que permitan tomar en cuenta de forma explícita tales efectos. La descripción es aún más compleja en el caso de flujo bifásico, donde además de los factores antes mencionados, influyen los patrones de flujo que se puedan presentar en estos sistemas (Huang y col., 2018).

El objetivo de este trabajo consistió en obtener un modelo para predecir el comportamiento del flujo bifásico y las pérdidas de presión por fricción, que tome en cuenta de forma explícita el efecto de la morfología del lecho y los patrones de flujo que se pueden presentar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Consideraciones establecidas para la obtención del modelo

Para la obtención del modelo se establecen las siguientes consideraciones: 1) el área de flujo se visualiza formada por un conjunto de poros circulares con un perímetro irregular, los cuales, se caracterizan a través de un valor de radio promedio R y dimensión fractal f , y que se encuentran delimitados por las partículas; 2) el régimen de flujo es laminar; 3) estado estacionario y; 4) se considera que el fluido está compuesto por dos líquidos newtonianos e incompresibles inmiscibles entre sí, donde en dependencia de los efectos de tensión superficial y de mezclado entre ambos se pueden generar 2 patrones de flujo básicos. El primero es una emulsión muy útil en el caso de aplicación de técnicas EOR (Perazzo y col., 2018), en la cual, uno de los líquidos se encuentra en forma dispersa en el seno del otro, y el segundo es un patrón de flujo anular, en el cual, uno de los fluidos presenta una mayor afinidad por las paredes del sólido, de tal manera que se mueve en contacto con estas, mientras que el otro fluido se mueve por el centro de los poros.

La dimensión fractal de dichos canales se determina mediante una observación de la morfología del lecho en un tamaño equivalente al radio de las partículas que forman el le-

cho, y se calcula mediante una fotografía y el empleo de un programa de tratamiento de imágenes. En este sentido, aunque todos los canales son de hecho de formas y tamaños diferentes, se va a considerar un tamaño promedio R y un valor de dimensión fractal promedio f , que son parámetros que dependen de numerosos factores, entre los que se pueden mencionar el tamaño y forma de las partículas, el empacamiento que se establezca entre estas y la porosidad del lecho.

Análisis de la morfología del lecho

En la Figura 1 se muestran las fotografías de 2 lechos porosos, uno compuesto por sólidos redondeados por procesos de meteorización (A) y el otro por rocas trituradas (B). En cada una de estas imágenes se observa en un recuadro rojo la sección considerada para la caracterización de la morfología de los poros. En la Figura 2 se muestran las imágenes correspondientes a los contornos de los poros, donde los valores de dimensión fractal y porosidad se determinaron mediante el empleo del programa ImageJ v1.40g, en el cual, cada imagen a color se convierte en una imagen de 8 bits; a partir de esta, se obtiene una imagen binaria del patrón, a la que se le determina la dimensión fractal vertical y horizontal de las imágenes

(Rasband, 2018), siendo para las partículas redondas $f = 1.0424$ y para las partículas trituradas $f = 1.1256$.

Debido a que el perímetro de los poros presenta una morfología irregular, el valor del área del poro se determina mediante la integral fraccional de orden igual a la dimensión fractal:

$$a = k^{1-f} \int_0^{2\pi} D_r^{-f}[r] d\theta \quad (1)$$

Donde:

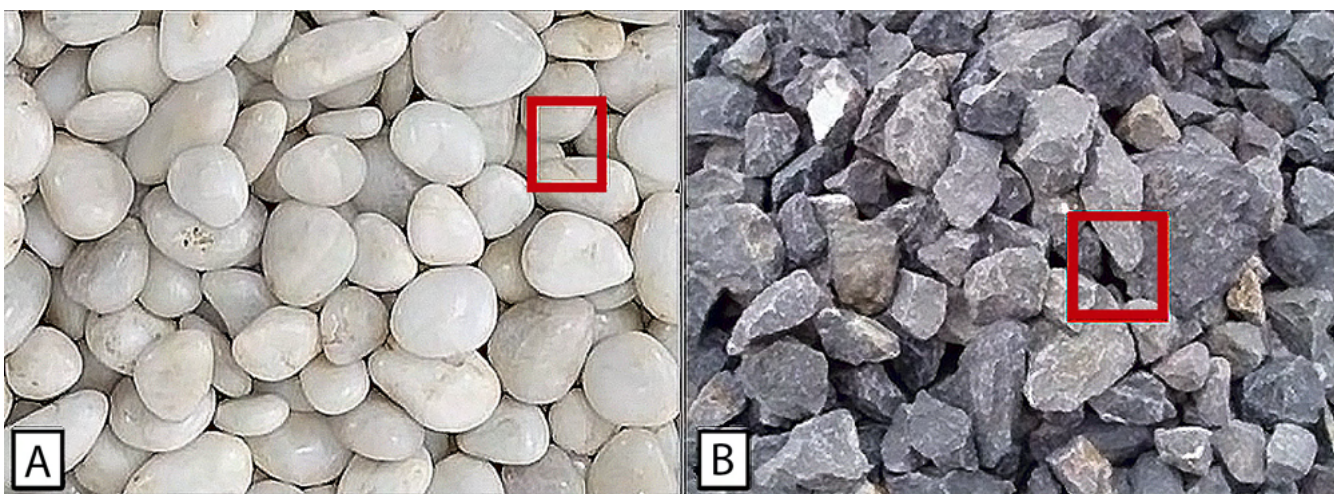
k (m) es un parámetro relacionado con la precisión de la medición del tamaño del poro, θ es el ángulo determinado en coordenadas polares para cada punto del círculo irregular que conforma el poro, D_r^{-f} es el operador que representa la integral fraccional, la cual se determina con el radio en coordenadas radiales (r) a lo largo del tiempo (t), como:

$${}_0D_r^{-f}[f(r)] = \frac{1}{\Gamma(f)} \int_0^x (r-t)^{f-1} f(t) dt \quad (2)$$

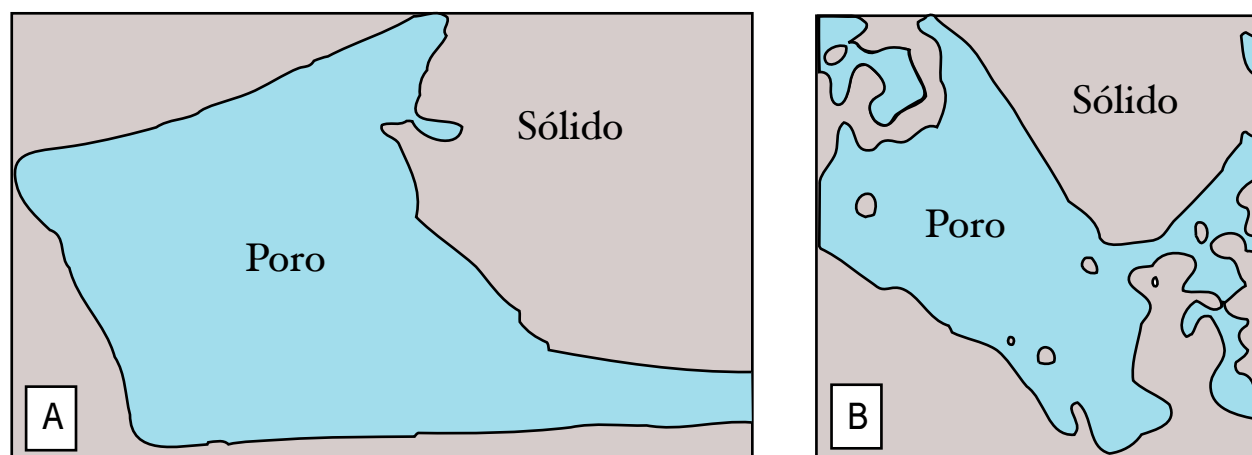
y $\Gamma(f)$ es la función gamma dada a través de un parámetro matemático (x):

$$\Gamma(f) = \int_0^\infty e^{-x} x^{f-1} dx \quad (3)$$

La solución de la integral fraccionaria (2), trasladándolo a valores geométricos, es:



■ Figura 1. Imágenes de lechos de partículas. A: partículas redondeadas; B: partículas trituradas.
Figure 1. Images from the particle beds. A: rounded particles; B: crushed particles.



■ Figura 2. Morfología de los poros correspondientes a un lecho de partículas pulidas (A) y partículas trituradas (B).

Figure 2. Morphology of the pores from (A) a bed of polished particles and (B) a bed of crushed particles.

$$a = k^{1-f} \frac{2\pi}{\Gamma(f+2)} R^{f+1} \quad (4)$$

Donde:

R representa al radio del poro (m). En esta descripción de la morfología del poro, el radio R se considera una variable determinista, mientras que el perímetro del canal es una variable aleatoria que se caracteriza a través de la dimensión fractal.

Es importante señalar que la dimensión fractal (f) tiene un valor diferente numéricamente al de tortuosidad, utilizado también para caracterizar un medio poroso, donde una dimensión fractal alta se relaciona con una tortuosidad alta (Valdéz-Cepeda y Olivares-Sáenz, 1998).

Algunos autores han correlacionado los diversos valores de tortuosidad, constricción y porosidad (Berg, 2014). En este trabajo, la dimensión fractal permite funcionar como la variable dominante, aunque en un futuro podrían considerarse los elementos en conjunto, a partir de una modelación con CFD.

Determinación del perfil de velocidad y las pérdidas de presión por fricción cuando el

patrón de flujo se corresponde con una emulsión

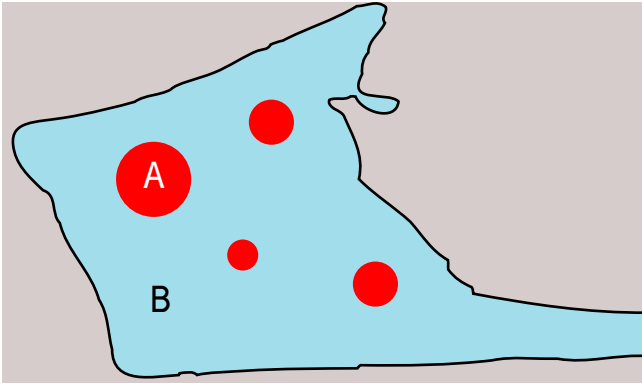
En la Figura 3, se muestra una representación del patrón de flujo correspondiente al caso, en el cual se tiene un sistema de fluido bifásico con formación de una emulsión, donde A corresponde a la fase dispersa (gotas de líquido) y B corresponde al medio de dispersión.

En el caso de los flujos en tubos, las emulsiones se visualizan como un flujo en una sola fase, cuya viscosidad se afecta por la presencia de la fase dispersa (Suárez-Domínguez y col., 2018). En este caso, la viscosidad de la emulsión μ_E (Pa·s) se puede estimar a través de la relación:

$$\mu_E = \mu_B \left(1 + \left(\frac{\mu_B + \frac{5}{2}\mu_A}{\mu_B + \mu_A} \right) v \right) \quad (5)$$

Donde:

μ_A (Pa·s) es la viscosidad de la fase dispersa, μ_B (Pa·s) es la viscosidad del medio de dispersión y v representa la fracción en volumen de la fase dispersa. En este caso, se utiliza la ecuación 5, que da una expresión para la viscosidad efectiva de una emulsión que ha sido probada para crudos del norte



■ Figura 3. Patrón de flujo bifásico, que se establece en el sistema cuando ambos fluidos forman una emulsión, en donde A es la fase dispersa y B es el medio de dispersión.

Figure 3. Biphase flow pattern for an emulsified system where A is the dispersed phase (drops of liquid) and B is the dispersive medium.

de México. Sin embargo, pueden considerarse otro tipo de ecuaciones (Mendoza y Santa-maria-Holek, 2010) en dependencia del caso analizado.

Para estimar el flujo que pasa a través de un canal irregular, se parte de la estimación del comportamiento de la velocidad con respecto a la distancia r desde el centro del canal, para lo cual, se parte de la ecuación de cantidad de movimiento para el sistema de coordenadas cilíndricas, donde, a partir de las consideraciones establecidas, se obtiene la ecuación diferencial parcial:

$$0 = \Phi + \mu_E \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) \quad (6)$$

Donde:

Φ (Pa/m) es el gradiente de presión, sujeta a las condiciones de contorno:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)_{r=0} = 0 \quad (7a)$$

$$v(R) = 0 \quad (7b)$$

La solución analítica exacta de esta ecuación está dada por:

$$v(r) = \frac{1}{4\mu_E} \Phi (R^2 - r^2) \quad (8)$$

Donde:

La distancia R desde el centro hasta la pared del canal varía aleatoriamente, debido a la morfología irregular del área de flujo del canal. Por esta razón, para obtener el valor del flujo q (m^3/s) se integra la velocidad con respecto al área de flujo, para lo cual se toma en cuenta el carácter irregular de esta área, aplicando una integral fraccional de orden f :

$$q = \int_0^{2\pi} D_r^{-f} [v(r)r] d\theta \quad (9)$$

$$q = \frac{\Phi \pi}{2\mu_E} \frac{f(f+5)}{\Gamma(f+4)} k^{1-f} R^{f+3} \quad (10)$$

Donde:

f es la dimensión fractal del perímetro del canal y cuantifica el carácter irregular y aleatorio de la distancia r , y que puede considerarse como una buena aproximación del medio. El flujo total Q (m^3/s) se estima como el producto del flujo q y el número de canales de flujo n , el cual se determina como el área disponible para el flujo dividido por el área de un canal:

$$n = \frac{\varepsilon A_t}{a} = \frac{\varepsilon A_t}{k^{1-f} \frac{2\pi}{\Gamma(f+2)} R^{f+1}} \quad (11)$$

Donde:

ε es la porosidad del lecho, de tal manera que:

$$Q = \frac{\Phi}{\mu_E} \varepsilon \frac{f(f+5)\Gamma(f+2)}{a\Gamma(f+4)} A_t R^2 \quad (12)$$

y definiendo la velocidad V_0 como la relación entre el flujo total y el área total del lecho se obtiene:

$$V_0 = \frac{\Phi}{\mu_E} \frac{f(f+5)\Gamma(f+2)}{4\Gamma(f+4)} \varepsilon R^2 \quad (13)$$

El valor de R depende de la porosidad del lecho y del tamaño de partículas. Para estimar el valor de R , las ecuaciones (5) y (13) se expresan en función de las variables no dimensionales:

$$\Phi = \frac{R}{R_p} \quad (14a)$$

$$\kappa = \frac{k}{R_p} \quad (14b)$$

Donde:

R_p (m) es el radio promedio de las partículas, de tal manera que el área promedio a del canal de flujo y la velocidad V_0 se estiman a través de las relaciones:

$$a = \frac{2}{\Gamma(f+2)} (\kappa)^{1-f} (\varphi)^{f+1} \pi R_p^2 \quad (15)$$

$$V_0 = \frac{\Phi}{\mu_E} \frac{f(f+5)\Gamma(f+2)}{4\Gamma(f+4)} \varepsilon \varphi^2 R_p^2 \quad (16)$$

Tomando en cuenta de que existe una relación entre el área de los poros y el área ocupada por las partículas observada en las escalas macroscópica y microscópica se asume:

$$\frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} = \frac{a}{\pi R_p^2} \quad (17)$$

Donde:

El término de la izquierda de la ecuación (17) representa la relación macroscópica entre el área disponible para el flujo y el área ocupada por las partículas, mientras que en el lado derecho se presenta la relación microscópica entre el área estimada del canal de flujo y el área por una partícula. A partir de las ecuaciones (15) y (17) se obtiene:

$$\varphi^2 = \frac{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}}}{(1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}} (\kappa)^{2\frac{f-1}{f+1}} \left(\frac{\Gamma(f+2)}{2}\right)^{\frac{2}{f+1}} \quad (18)$$

Sustituyendo la ecuación (18) en la ecuación (16) se obtiene:

$$V_0 = \frac{\Phi}{\mu_E} K_0 \frac{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}}}{(1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}} d_p^2 \quad (19)$$

$$K_0 = \frac{f(f+5)\Gamma(f+2)}{16\Gamma(f+4)} \left(\frac{\Gamma(f+2)}{2}\right)^{\frac{2}{f+1}} (\kappa)^{2\frac{f-1}{f+1}} \quad (20)$$

Donde:

d_p (m) representa el diámetro promedio de las partículas y el valor de la precisión k , que debido a la escala posible de medición (Mandelbrot, 1989) se selecciona de tal manera que:

$$\kappa \leq 0.1 d_p \quad (21)$$

A partir de la ecuación (19) se despeja el gradiente de presión:

$$\Phi = \frac{V}{d_p^2 K_0} \frac{\mu (1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}+1}} \quad (22)$$

Debido a la morfología irregular de los canales de flujo, hay que considerar que la distancia longitudinal recorrida por el flujo es mayor que la distancia de la línea recta que une a los puntos de entrada y de salida del sistema, de tal forma que, el gradiente de presión se representa a través de la derivada fraccional de la longitud del lecho, lo que permite obtener la ecuación diferencial fraccional:

$${}_0D_z^f(P) = -\frac{V}{d_p^2 K_0} \frac{\mu (1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}+1}}, \quad P(0) = P_0 \quad (23)$$

cuya solución está dada por:

$$P(z) = P_0 - \frac{V_0}{d_p^2 K_0} \frac{\mu_E (1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}+1}} \frac{z^f}{\Gamma(f+1)} z_0^{1-f} \quad (24)$$

Donde:

z_0 representa la precisión en la medición de la longitud del lecho. A partir de la relación anterior se obtiene que las pérdidas de presión por fricción ΔP (Pa), para un lecho poroso de longitud L , pueden estimarse a través de la relación:

$$\Delta P = \frac{V_0}{d_p^2 K_0} \frac{\mu_E (1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}+1}} \frac{z_0^{1-f}}{\Gamma(f+1)} L^f = \quad (25)$$

$$\mu_B \left(1 + \left(\frac{\mu_B + \frac{5}{2}\mu_A}{\mu_B + \mu_A}\right)v\right) \frac{V_0}{d_p^2 K_0} \frac{\mu_E (1-\varepsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\varepsilon^{\frac{2}{f+1}+1}} \frac{z_0^{1-f}}{\Gamma(f+1)} L^f$$

donde debe cumplirse que:

$$z_0 \leq 0.1 L \quad (26)$$

La ecuación (25) permite estimar el comportamiento de las pérdidas de presión por fricción, para flujo bifásico en lecho poroso, cuando los líquidos se disponen entre sí formando una emulsión.

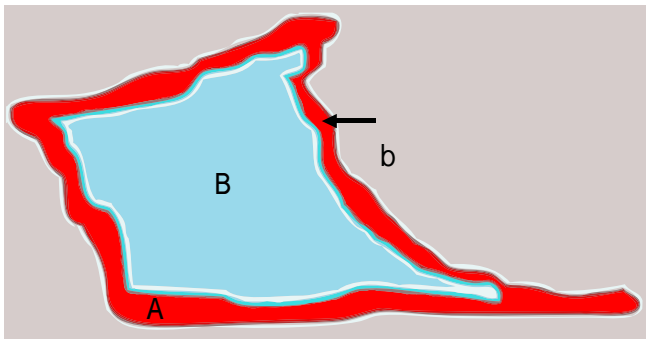
Determinación del perfil de velocidad y las pérdidas de presión por fricción, cuando el patrón de flujo se corresponde con un flujo bifásico anular

En la Figura 4 se muestra el patrón de flujo correspondiente al caso, en el cual, se tiene un sistema bifásico, donde el fluido A se encuentra en contacto con las paredes de los poros, y el fluido B se mueve por el centro, de tal manera que, se establece un patrón de flujo anular. Este caso se propone como similar al correspondiente, cuando existe una mayor afinidad del agua con el sólido y este se encuentra adsorbida en él.

Para determinar el perfil de velocidad que se establece en el sistema, se parte de la ecuación de cantidad de movimiento, tomando en cuenta las condiciones establecidas, de tal manera que, se obtiene el sistema de ecuaciones diferenciales:

$$0 = \Phi + \mu_B \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv_B}{dr} \right) : 0 \leq r \leq b \quad (27a)$$

$$0 = \Phi + \mu_A \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv_A}{dr} \right) : b \leq r \leq R \quad (27b)$$



■ **Figura 4.** Flujo bifásico anular, donde el fluido A se encuentra en contacto con las paredes de los poros, y el fluido B se transporta por el centro. b representa la posición de la interfase entre ambos fluidos inmiscibles. **Figure 4.** Annular biphasic Flow, where fluid A is in contact with pores' walls and fluid B moves through the center. b represents the interphase position between both immiscible liquids.

sujeto a las condiciones frontera:

$$\left(\frac{dv_B}{dr} \right)_{r=0} = 0 \quad (28a)$$

$$v_B(b) = v_A(b) \quad (28b)$$

$$\left(\mu_B \frac{dv_B}{dr} \right)_{r=b} = \left(\mu_A \frac{dv_A}{dr} \right)_{r=b} \quad (28c)$$

$$v_A(R) = 0 \quad (28d)$$

y cuya solución exacta está dada por:

$$v_B(r) = \frac{1}{4} \frac{\Phi}{\mu_A} (R^2 - b^2) + \frac{1}{4} \frac{\Phi}{\mu_B} (b^2 - r^2) : 0 \leq r \leq b \quad (29a)$$

$$v_B(b) = v_A(b) \quad (29b)$$

El valor del flujo total se obtiene a través de la integral fraccional con respecto al área de flujo, tomando en cuenta la morfología fractal del poro, por lo que es necesario el empleo de la integración de orden fraccional. En este caso, se tiene para el fluido B, que se mueve por el centro del poro:

$$q_B = \int_0^{2\pi} \frac{1}{\Gamma(f)} \int_0^b [(b-r)^{f-1} v_B(r)] r dr d\theta = \quad (30)$$

$$k^{1-f} R^{3+f} \frac{\Phi}{2} \frac{\pi}{\mu_B} \left(\left(\frac{(1-\lambda)}{\Gamma(f+2)} - \frac{6}{\Gamma(f+4)} \right) \alpha^{3+f} + \frac{\lambda}{\Gamma(f+2)} \alpha^{1+f} \right)$$

Donde:

α representa la posición no dimensional de la interfase y λ cuantifica la relación entre las viscosidades de ambos fluidos:

$$\alpha = \frac{b}{R} \quad (31a)$$

$$\lambda = \frac{\mu_B}{\mu_A} \quad (31b)$$

mientras que para el fluido que se encuentra en contacto con la pared:

$$q_A = \int_0^{2\pi} \frac{1}{\Gamma(f)} \int_0^R [(R-r)^{f-1} v_A(r)] r dr d\theta = \quad (32)$$

$$\int_0^{2\pi} \frac{1}{\Gamma(f)} \int_0^b [(b-r)^{f-1} v_A(r)] r dr d\theta =$$

$$k^{1-f} R^{3+f} \frac{1}{2} \frac{\pi \Phi}{\mu_A} \left(\frac{(1-\alpha^{1+f})}{\Gamma(f+2)} - \frac{6(1-\alpha^{3+f})}{\Gamma(f+4)} \right)$$

de tal forma que, el flujo total que pasa a través de un canal está dado por la suma de ambos fluidos y se escribe de la forma siguiente:

$$q = \frac{\pi \Phi f(f+5)}{2\psi \Gamma(f+4)} k^{1-f} R^{3+f} \quad (33)$$

El parámetro ψ (Pa·s) representa la viscosidad global del sistema (Tan y col., 2015), y su valor depende de las viscosidades y disposición de cada uno de los fluidos con respecto a la pared del poro, de la morfología de este, caracterizada a través de la dimensión fractal y de la posición no dimensional de la interfase, y se determina de acuerdo con la relación:

$$\psi = \frac{f(f+5)\mu_A}{\Gamma(f+4) \left(\frac{1}{\lambda} \left(\frac{(1-\lambda)}{\Gamma(f+2)} - \frac{6}{\Gamma(f+4)} \right) \alpha^{3+f} + \frac{\lambda}{\Gamma(f+2)} \alpha^{1+f} \right) + \left(\frac{(1-\alpha^{1+f})}{\Gamma(f+2)} - \frac{6(1-\alpha^{3+f})}{\Gamma(f+4)} \right)} \quad (34)$$

La posición no dimensional de la interfase se encuentra estrechamente relacionada con la composición del sistema, y si esta se expresa en base a la fracción en volumen del fluido que se mueve por el centro del poro se obtiene:

$$v_B = \frac{q_B}{q} = \frac{\left(\frac{(1-\lambda)}{\Gamma(f+2)} - \frac{6}{\Gamma(f+4)} \right) \alpha^{3+f} + \frac{\lambda}{\Gamma(f+2)} \alpha^{1+f}}{\left(\left(\frac{(1-\lambda)}{\Gamma(f+2)} - \frac{6}{\Gamma(f+4)} \right) \alpha^{3+f} + \frac{\lambda}{\Gamma(f+2)} \alpha^{1+f} \right) + \lambda \left(\frac{(1-\alpha^{1+f})}{\Gamma(f+2)} - \frac{6(1-\alpha^{3+f})}{\Gamma(f+4)} \right)} \quad (35)$$

La ecuación (33) es análoga a la ecuación (10), por lo que siguiendo las mismas deducciones que llevan de la ecuación (10) a la ecuación (25), se obtiene la expresión para predecir las pérdidas de presión por fricción en este sistema:

$$\Delta P = \frac{v_0}{d_p^2} \frac{\psi}{K_0} \frac{(1-\epsilon)^{\frac{2}{f+1}}}{\epsilon^{\frac{2}{f+1}+1}} \frac{z_0^{1-f}}{\Gamma(f+1)} L^f \quad (36)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Predicciones teóricas

Los patrones de flujo bifásico que se generan, para el caso de flujo laminar en tubos, dependen de la diferencia de densidad entre los líquidos y la tensión interfacial, entre otros factores (Kleinstreuer, 2017; Wopara e Iyuke, 2018); y se encuentran además estrechamente relacionados con la forma en que se realiza el inyector de un fluido en el seno del otro. De esta manera, se pueden disminuir significativamente las pérdidas de presión por fricción asociadas al transporte de un

fluido de alta viscosidad, inyectando otro de menor viscosidad y densidad semejante en la pared del tubo (Suárez-Domínguez, 2017), lo cual se puede lograr mediante un dispositivo de inyección apropiado.

La situación es mucho más compleja en el caso de los lechos porosos, debido a la cantidad y aleatoriedad de los canales de flujo que se establecen, los cuales tienen un radio significativamente pequeño (Basu y col., 2019). Dentro de cada canal del lecho poroso, es prácticamente imposible generar un patrón de flujo determinado mediante un dispositivo de inyección, como en el caso de los tubos, aunque la adición de un agente emulsionante o desemulsionante puede facilitar que se transporte una emulsión o se genere un flujo bifásico anular, respectivamente. Por otra parte, debido al pequeño radio de los canales de flujo, los efectos de tensión interfacial, en la interfase y en la superficie del sólido, son mucho más importantes que en el caso del flujo en tubos, e influyen en la generación del patrón de flujo que se forme en el sistema, de ahí la importancia del uso de agentes tensoactivos en estos sistemas (Kamal, 2016). Desde el punto de vista práctico, lo importante es determinar, para un sistema bifásico específico, cuál de los patrones de flujo favorece la disminución de las pérdidas de presión por fricción, y actuar en consecuencia (Wang y col., 2019).

Para obtener las predicciones teóricas se consideraron dos líquidos inmiscibles entre sí, el líquido 1 con viscosidad de 5 Pa·s y el líquido 2 con viscosidad de 0.1 Pa·s, donde el líquido menos viscoso se encuentra en menor proporción, y puede presentarse en forma de fase dispersa en el seno del fluido menos viscoso, formando una emulsión, y puede estar como fase completamente separada o puede existir una separación parcial de las fases, en la cual, parte del fluido 1 se encuentra como fase dispersa, y la otra parte como fase separada. Se consideró un medio poroso hipotético, con las dimensiones

y condiciones de operación: $dp = 0.01$ m, $\varepsilon = 0.4$, $L = 100$ m y $Vo = 10^{-4}$ m/s⁻¹.

Se encontraron diferentes comportamientos al analizar teóricamente como varía la caída de presión por fricción ΔP (Pa), con respecto a la fracción en volumen del fluido menos viscoso, considerando como parámetro la dimensión fractal de los poros, sin considerar la forma de la figura geométrica de las rocas, ni el tipo de superficie que presentan (lisa o rugosa), para los siguientes casos: *Caso A*: el flujo menos viscoso se presenta como una fase dispersa en el seno del fluido menos viscoso de poro; *Caso B*: separación total de las fases, en la cual, el fluido menos viscoso se transporta por el centro del poro; *Caso C*: separación total de las fases, donde el fluido menos viscoso se transporta en contacto con la pared; *Caso D*: se considera que una fracción del flujo menos viscoso se transporta en contacto con la pared del tubo, mientras que la otra parte se encuentra como fase dispersa (separación parcial de las fases). En este sentido, el parámetro de control, para generar cada uno de estos casos, es el patrón de flujo bifásico que se supondrá, derivado de la observación de los casos presentados en campo.

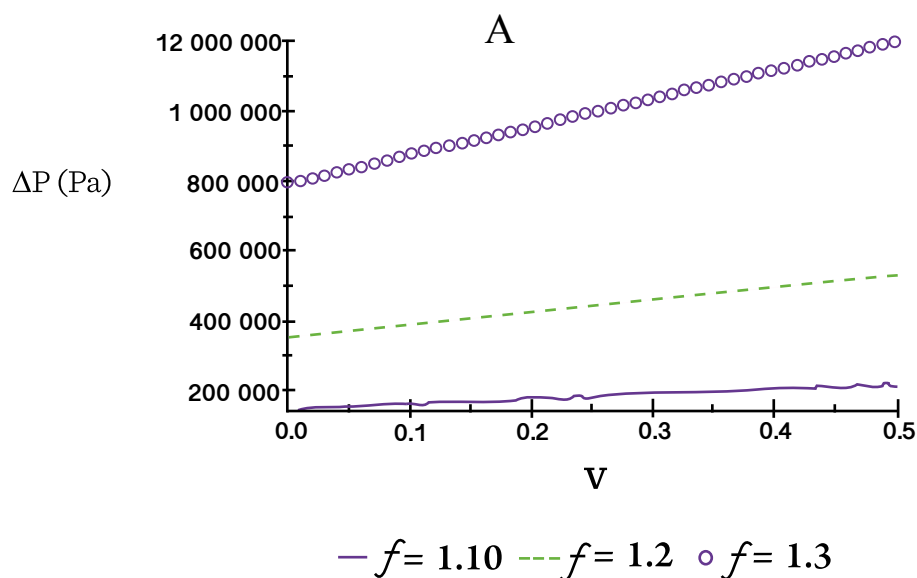
En la Figura 5, se muestra el comportamiento de las pérdidas de presión por fricción, con respecto a la fracción en volumen del fluido menos viscoso, el cual se presenta en forma de fase dispersa en el seno del fluido más viscoso (*Caso A*). Contrariamente a lo que suele ocurrir durante la mezcla de líquidos miscibles, donde la viscosidad de la mezcla disminuye con la fracción en volumen del líquido menos viscoso, la viscosidad de una emulsión se incrementa con la fracción en volumen de la fase dispersa, lo que se manifiesta en el incremento de las pérdidas de presión por fricción para una velocidad de flujo requerida. Esto se explica debido a que las gotas dispersas distorsionan el patrón de flujo del medio de dispersión (Ismail y col., 2015), de tal manera que se incrementa la disipación de la

energía producto del rozamiento entre las capas de flujo.

En las Figuras 6 y 7, se muestran los comportamientos predichos para el caso en que se establezca un flujo bifásico anular, en el cual existe una separación total de las fases, donde se ha considerado que el fluido menos viscoso se transporta por el centro de los poros (Figura 6, *Caso B*) y en contacto con la pared del poro (Figura 7, *Caso C*). En ambos casos, las pérdidas de presión por fricción disminuyen con el incremento de la fracción en volumen del fluido menos viscoso, y esta disminución es mucho más significativa cuando el fluido se transporta en contacto con la pared del poro. Dichos resultados son esperados si se toma en cuenta que las pérdidas de presión por fricción son directamente proporcionales a la tensión de corte en la pared del poro (Hassanean y col., 2016; Mucharam y col., 2017), la cual, a su vez, es directamente proporcional a la viscosidad del fluido que se encuentra en contacto con esta.

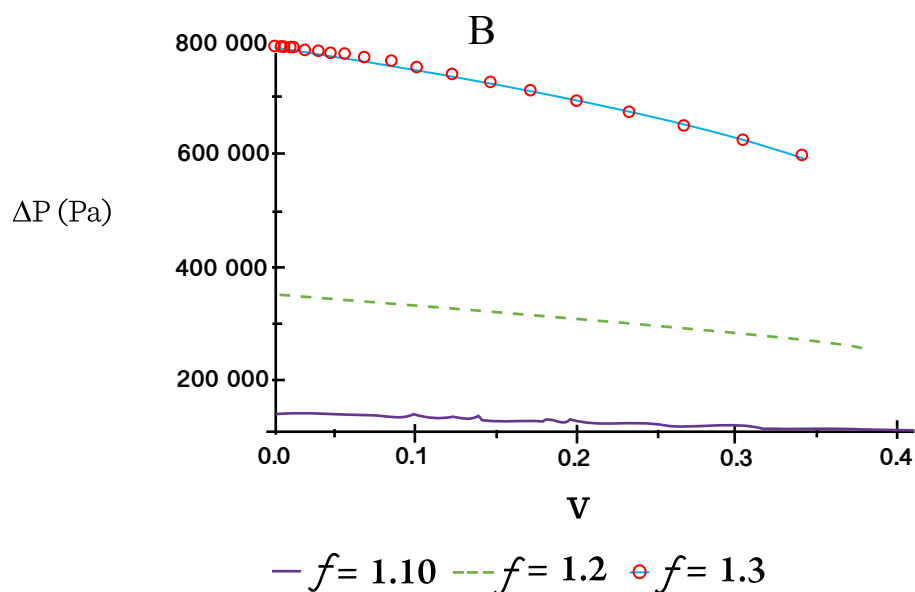
En la Figura 8 se aprecia un gráfico en 3 dimensiones, donde las superficies mostradas representan la variación de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción del fluido menos viscoso que se encuentra en forma dispersa (V_d), y la fracción que se encuentra en contacto con la pared del tubo (V_s), por lo que se corresponde con un patrón combinado de flujo bifásico anular, donde el fluido que se transporta por el centro es una emulsión (*Caso D*). Esta situación se corresponde con una separación parcial de las fases, similar a lo observado por Piroozian y col. (2017).

Como también se aprecia en la Figura 9, que representa el comportamiento de las pérdidas de presión por fricción, con respecto a la fracción en volumen total del fluido menos viscoso, considerando como parámetro la fracción de este, que se encuentra presente en la fase dispersa, se predice que las pérdidas de presión por fricción se in-



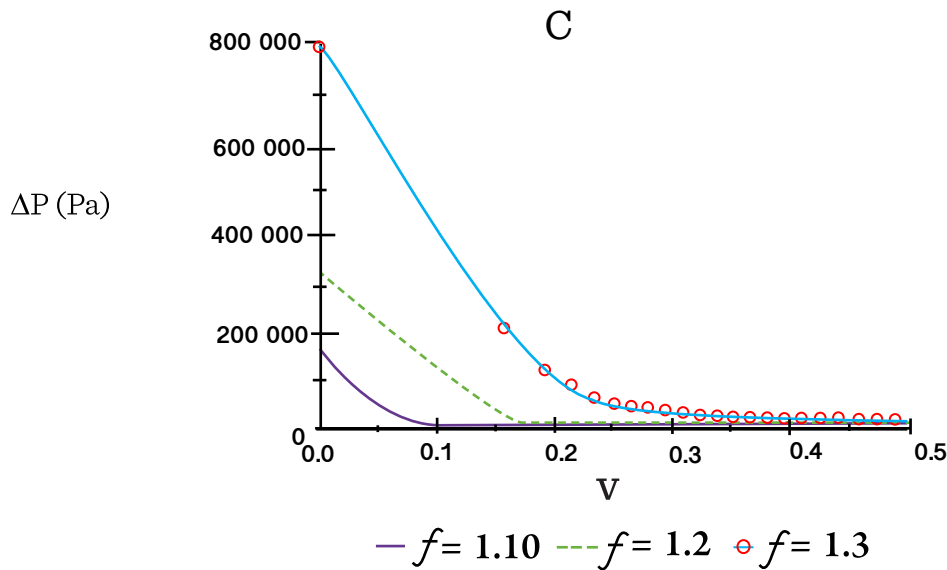
■ Figura 5. Comportamiento de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción en volumen de la fase dispersa (fluido menos viscoso) cuando el patrón de flujo bifásico corresponde a una emulsión (*Caso A*, ec. 25).

Figure 5. Frictional pressure losses behavior with respect to the volume fraction of the dispersed phase (less viscous liquid) when the biphasic flow pattern corresponds to an emulsion (*Situation A*, eq. 25).



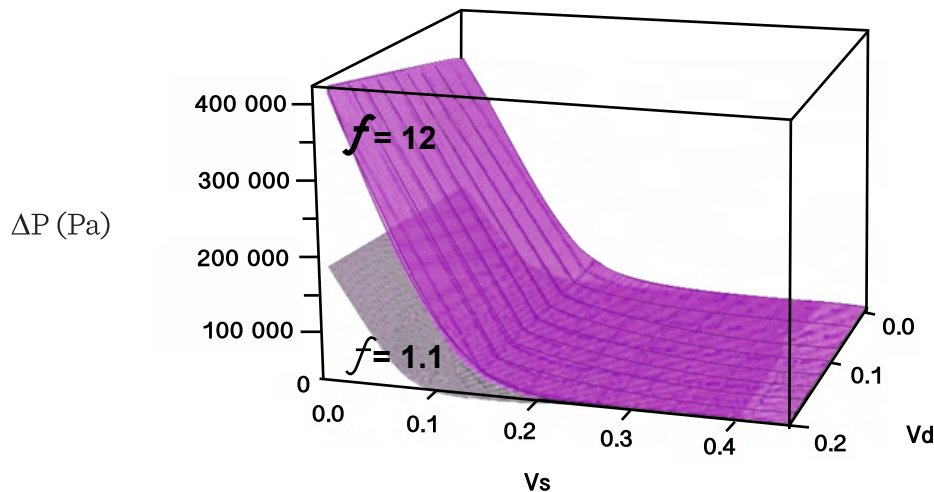
■ Figura 6. Comportamiento de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción en volumen del fluido menos viscoso, cuando existe una separación total de las fases y el fluido menos viscoso se transporta por el centro del poro (*Caso B*, ec. 35 y 36).

Figure 6. Frictional pressure losses behavior with respect to the volume fraction of the dispersed phase, when there are complete phases separation and the less viscous liquid moves through the pore center (*Situation B*, eqs. 35 and 36).



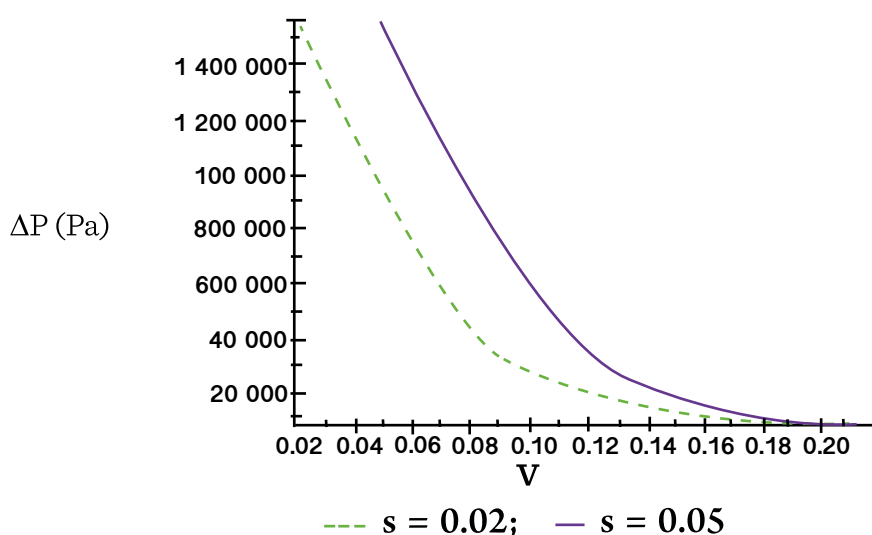
■ Figura 7. Comportamiento de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción en volumen del fluido menos viscoso cuando existe una separación total de las fases y el fluido menos viscoso se transporta en contacto con la pared del poro (*Caso C*, ec. 35 y 36).

Figure 7. The behavior of the frictional pressure losses with respect to the dispersed phase volume fraction when there are complete phases separation and the less viscous fluid moves in contact with pore walls (*Situation C*, eqs. 35 and 36).



■ Figura 8. Comportamiento de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción en volumen del fluido menos viscoso, cuando existe una separación parcial de las fases y una fracción fluido menos viscoso se transporta en contacto con la pared del tubo, mientras que la otra se mantiene como fase dispersa (*Caso D*, ec. 35 y 36), donde V_d es la fracción en la fase dispersa y V_s es la fracción en contacto con la pared.

Figure 8. Frictional pressure losses behavior with respect to the volume fraction of the dispersed phase, when there are partial phases separation and a fraction of the less viscous liquid moves in contact with the pore wall while the other fraction remains emulsified (*Situation D*, eqs. 35 and 36). Here, V_d is the dispersed phase fraction and V_s is the fraction in contact with the wall.



■ Figura 9. Comportamiento de las pérdidas de presión por fricción con respecto a la fracción en volumen total (v_B) del fluido menos viscoso, cuando existe una separación parcial de las fases (*Caso D*, ec. 35 y 36), tomando como parámetro la fracción en la fase dispersa (s) para un valor de dimensión fractal $f=1.1$.

Figure 9. The behavior of the frictional pressure losses with respect to the total volume fraction of the dispersed phase (v_B) when there is partial phases separation (*Situation D*, eqs. 35 and 36), taking as parameter the dispersed phase fraction (s) for a fractal dimension value of 1.1.

crementan con la fracción en volumen de la fase dispersa, y la disminución de la fracción del fluido menos viscoso, que se ha separado de la emulsión y tiende a transportarse en contacto con la pared del tubo.

Con respecto al efecto de la dimensión fractal del poro, se observa que en todos los casos las pérdidas de presión por fricción se incrementan con este parámetro. Esto se debe a que el incremento de la dimensión fractal causa un incremento en el área superficial de la pared de los poros (Rahner y col., 2018) a través de los cuales, se mueve el fluido, lo que incrementa las fuerzas de rozamiento entre el fluido y las paredes del sólido, con el consiguiente incremento de la disipación de energía.

El modelo presenta limitaciones que se encuentran asociadas a las consideraciones que fueron establecidas durante su obtención, de tal manera que, es válido cuando los efec-

tos de tensión superficial son más significativos que los gravitatorios, por lo que la acción de estos últimos sobre el patrón de flujo puede ser despreciada y cuando el flujo se encuentra en estado estacionario.

CONCLUSIONES

Partiendo de las ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento, y aplicando el formalismo de la geometría fractal y el cálculo diferencial fraccionario, se presenta un modelo para describir el comportamiento del flujo bifásico, como función de las dimensiones y condiciones de operación del lecho poroso, la morfología del mismo y el patrón de flujo, el cual puede emplearse para predecir el efecto de estos parámetros sobre las pérdidas de presión por fricción. En este caso, se obtuvo que, para una misma composición del flujo bifásico, el patrón de flujo que se genera en el sistema influye de forma significativa sobre las pérdidas de presión por fricción, las cuales se

incrementan si una de las fases se presenta de forma dispersa en el seno de la otra. Por otra parte, se predice que el incremento de las irregularidades de las partículas, que se manifiesta en el incremento de la dimensión fractal de los poros, causa a su vez un incremento significativo de las pérdidas de presión por fricción.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con apoyo del fondo SENER-CONACYT sector HIDROCARBUROS, bajo proyecto número 282278. El autor EJSJ agradece el apoyo PRODEP como NPTC y PROFEXCE.

REFERENCIAS

- Basu, M., Zahoor, A., and Khan, R. A. (2019). Review of Fluid Flow and Heat Transfer through Microchannels. *Journal of Scientific and Technical Advancements*. 5(1):17-20.
- Bear, J. (2018). *Modeling Phenomena of Flow and Transport in Porous Media*. Springer: Cham. 1-98 P p
- Berg, C. F. (2014). Permeability description by characteristic length, tortuosity, constriction and porosity. *Transport in porous media*. 103(3): 381-400.
- Flury, M. and Aramrak, S. (2017). Role of air-water interfaces in colloid transport in porous media: A review. *Water Resources Research*. 53(7): 5247-5275.
- Hassanean, M. H., Awad, M. E., Marwan, H., Bhuran, A. A., and Kaoud, M. (2016). Studying the rheological properties and the influence of drag reduction on a waxy crude oil in pipeline flow. *Egyptian Journal of Petroleum*. 25(1): 39-44.
- Hjelmeland, O. S. and Larrondo, L. E. (1986). Experimental investigation of the effects of temperature, pressure, and crude oil composition on interfacial properties. *SPE Reservoir Engineering*. 1(04): 321-328.
- Huang, S., Yao, Y., Zhang, S., Ji, J., and Ma, R. (2018). A Fractal Model for Oil Transport in Tight Porous Media. *Transport in Porous Media*. 121(3): 725-739.
- Ismail, A. S. I., Ismail, I., Zoveidavianpoor, M., Mohsin, R., Piroozian, A., Misnan, M. S., and Sari-man, M. Z. (2015). Review of oil-water through pipes. *Flow Measurement and Instrumentation*. 45:357-374.
- Kamal, M. S. (2016). A review of gemini surfactants: potential application in enhanced oil recovery. *Journal of Surfactants and Detergents*. 19(2): 223-236.
- Kleinstreuer, C. (2017). *Two-Phase Flow: Theory and Applications*. CRC EE.UU: Press. 69-99 Pp.
- Kokubun, M. A. E., Radu, F. A., Keilegavlen, E., Kumar, K., and Spildo, K. (2018). Transport of polymer particles in an oil-water flow in porous media: enhancing oil recovery. *Transport in Porous Media*. 126(2): 501-519.
- Ledesma-Durán, A., Hernández, S. I., and Santamaría-Holek, I. (2017). Effect of Surface Diffusion on Adsorption-Desorption and Catalytic Kinetics in Irregular Pores. II. Macro-Kinetics. *The Journal of Physical Chemistry C*. 121(27): 14557-14565.
- Mahzari, P., Taura, U., and Sohrabi, M. (2018). An improved methodology for estimation of two-phase relative permeability functions for heavy oil displacement involving compositional effects and instability. *Computational Geosciences*. 22(4): 975-991.
- Mandelbrot, B. B. (1989). Multifractal measures, especially for the geophysicist. In C. H. Scholz and B. B. Mandelbrot (Eds.), *Fractals in geophysics* (pp. 5-42). Basel: Birkhäuser.
- Mendoza, C. I. and Santamaria-Holek, I. (2010). Rheology of concentrated emulsions of spherical droplets. *Applied Rheology*. 20(2): 16-23.
- Mucharam, L., Rahmawati, S., and Ramadhani, R. (2017). Drag reducer selection for oil pipeline-based laboratory experiment. *Modern Applied Science*. 12(1): 112.
- Perazzo, A., Tomaiuolo, G., Preziosi, V., and Guido, S. (2018). Emulsions in porous media: From single droplet behavior to applications for oil recovery. *Advances in colloid and interface science*. 256: 305-325.
- Pesavento, F., Schrefler, B. A., and Sciumè, G. (2017). Multiphase flow in deforming porous media: A review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 24(2): 423-448.

- Piroozian, A., Hemmati, M., Ismail, I., Manan, M. A., Rashidi, M. M., and Mohsin, R. (2017). An experimental study of flow patterns pertinent to waxy crude oil-water two-phase flows. *Chemical Engineering Science*. 164: 313-332.
- Rahner, M. S., Halisch, M., Fernandes, C. P., Weller, A., and dos-Santos, V. S. S. (2018). Fractal dimensions of pore spaces in unconventional reservoir rocks using X-ray nano-and micro-computed tomography. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 55: 298-311.
- Rasband, W. S. (2018). ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. [En línea]. Disponible en: <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018. Fecha de consulta: 2 de julio de 2019.
- Suárez-Domínguez, E. J. (2017). Estudio del transporte estratificado de un líquido de alta viscosidad y otro de baja viscosidad, Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/14368>. Fecha de consulta: 26 de septiembre de 2019.
- Suárez-Domínguez, E. J., Pérez-Sánchez, J. F., Palacio-Pérez, A., and Izquierdo-Kulich, E. (2018). New mixing rule for analysis of the influence of a formulation on an extraheavy oil crude viscosity. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 17(1): 99-106.
- Tan, X. H., Li, X. P., Zhang, L. H., Liu, J. Y., and Cai, J. (2015). Analysis of transient flow and starting pressure gradient of power-law fluid in fractal porous media. *International Journal of Modern Physics C*. 26(04): 1550045.
- Valdes-Perez, A., Pulido, H., Cinco-Ley, H., and Galicia-Muñoz, G. (2012). Discretization of the resistivity, capillary pressure and relative permeability for naturally fractured reservoirs. In *Proceedings: Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. [En línea]. Disponible en: <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2012/Valdesperez1.pdf>. Fecha de consulta: 25 de julio de 2019.
- Valdéz-Cepeda, R. D. and Olivares-Sáenz, E. (1998). Geometría fractal en la ciencia del suelo. *Terra Latinoamericana*. 16(3): 277-288.
- Wang, W., Fan, D., Sheng, G., Chen, Z., and Su, Y. (2019). A review of analytical and semi-analytical fluid flow models for ultra-tight hydrocarbon reservoirs. *Fuel*. 256: 115737.
- Wopara, O. F. and Iyuke, S. E. (2018). Review of studies on pore-network modeling of wettability effects on waterflood oil recovery. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*. 9(2): 11-22.



Elaborado por: Wilver Enrique Salinas Castillo

Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017

Multitemporal land use change analysis in San Fernando, Tamaulipas for the Period 1987 to 2017

Wilver Enrique Salinas-Castillo^{1*}, Marijose Terrazas-Ruiz¹, Arturo Mora-Olivo², Cutberto Uriel Paredes-Hernandez¹

RESUMEN

El cambio de uso de la tierra (CUT) tiende a impactar de manera negativa los procesos atmosféricos y climáticos globales. El presente artículo tuvo como objetivo evaluar el CUT en el municipio de San Fernando, Tamaulipas, México, durante el periodo 1987 a 2017. Se utilizó el método de clasificación por segmentación de imágenes satelitales, de los años 1987, 1997, 2007 y 2017, el cual, permitió reducir el ruido característico de la clasificación basada en píxeles. Sin embargo, fue necesario editar los resultados, para recuperar los asentamientos humanos, eliminar nubes y sombras, y reducir los efectos de confusión entre cobertura vegetal y zonas agrícolas con cultivos presentes, para evitar introducir CUT artificiales en las estadísticas obtenidas. El análisis multitemporal mostró una clara tendencia en la reducción de la cobertura vegetal (-6.53 %) y del área sin vegetación aparente (-1.71 %). También se observó un importante incremento en el uso agrícola (+7.61 %), que no pareció estar asociado a un incremento en asentamientos humanos (+0.08 %). La metodología desarrollada parece ser adecuada y fácil de implementar para el análisis de CUT en regiones de interés.

PALABRAS CLAVE: uso de la tierra, detección de cambios, segmentación, Landsat.

ABSTRACT

Land Use Change (LUC) tends to have a negative effect on global atmospheric and climate processes. The objective of this paper was to assess the LUC for the San Fernando, Tamaulipas, Mexico municipality, during the period comprehended between 1987 and 2017. The classification by segmentation method was applied to satellite images obtained from 1987, 1997, 2007 and 2017, which allowed for a reduction in the noise that is characteristic of pixel-based classification. However, it was necessary to edit the results in order to recover human settlements, eliminate clouds and shadows, and reduce the confusion between vegetation cover and cultivated agricultural land in order to avoid introducing artificial LUC in the statistics produced. The multitemporal analysis showed a clear trend in the reduction of vegetation cover (-6.53 %) and of areas devoid of vegetation (-1.71 %). Likewise, the results also highlight a significant increase of agricultural land (+7.61 %), which seems to be unassociated with the increase of human settlements (+0.08 %). The developed methodology seems to be appropriate and of easy implementation to carry out the LUC analysis in other regions of interest.

KEYWORDS: land use, change detection, segmentation, Landsat.

*Correspondencia: wsalinas60@hotmail.com/ Fecha de recepción: 14 de mayo de 2019/ Fecha de aceptación: 4 de octubre de 2019/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2020.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Adolfo López Mateos, Edificio Centro de Gestión del Conocimiento, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

El término uso de la tierra se refiere al conjunto de actividades humanas que se desarrollan en cierto tipo de cobertura de la tierra. El cambio de uso de la tierra (CUT), se refiere a cambios en el uso o manejo de la tierra que pueden resultar en cambios en la cobertura terrestre, de acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2012). Es importante mencionar que, en México, el término uso del suelo se utiliza como sinónimo de uso de la tierra, por lo que la mayoría de la información oficial se publica bajo este nombre, como por ejemplo el Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015). El CUT normalmente se presenta de manera local, pero dichos cambios pueden llegar a afectar procesos atmosféricos y climáticos globales, motivo por el cual, el CUT se toma como referencia, tanto en estudios ambientales y climáticos, como en el diseño de políticas públicas, para el manejo sostenible de los recursos naturales (INEGI, 2015). Para la evaluación de CUT se han propuesto diferentes metodologías, que se apoyan en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota (PR), siendo el procedimiento más confiable el estudio de la dinámica espacio-temporal de la cobertura de la tierra, mediante clasificación de imágenes satelitales (López-Vazquez y col., 2015).

Una de las fuentes de información más populares, para estudios de CUT, son las imágenes satelitales Landsat, debido a la cobertura espacial y temporal que estas ofrecen (Lu y col., 2010). El programa Landsat, patrocinado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés: National Aeronautics and Space Administration) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés: United States Geological Survey) inició operaciones en 1972 con el satélite

Landsat-1, por lo que actualmente es el archivo de imágenes satelitales de acceso gratuito más completo y consistente en términos radiométricos y geospaciales (Gómez y col., 2016). Este archivo de imágenes provee una excelente oportunidad para generar series de tiempo de CUT e identificar tendencias de cambio hasta el nivel de parcela (Yin y col., 2018).

En diferentes sitios, se han llevado a cabo estudios usando el programa Landsat. Sexton y col. (2013) investigaron el CUT en una región de Carolina del Norte, E.E.U.U., clasificando imágenes Landsat para el periodo 1984 a 2007, y concluyeron que los cambios en la cobertura natural del terreno estaba siendo causada por actividades antropogénicas, y que la detección de estos cambios era posible gracias al análisis multitemporal hecho por la extensión del archivo Landsat. También, en México, Osuna-Osuna y col. (2015) utilizaron imágenes Landsat para evaluar el cambio en la cobertura vegetal en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, en un periodo de 16 años (1994 a 2010), y encontraron una tendencia a la reducción de la cobertura vegetal (-1.1 % anual). Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández (2018) estudiaron el CUT en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental, durante el periodo de 1989 a 2005, mediante mapas elaborados a partir de imágenes satelitales Landsat, y descubrieron pérdida de cobertura vegetal, dentro y fuera de las ANP. Además, Cárdenas-Hernández y Gerritsen (2015), analizaron la dinámica paisajista de una comunidad en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, utilizando imágenes Landsat, y detectaron que entre 1972 y el año 2000, los bosques disminuyeron en un 20 %, siendo la agricultura y la ganadería las causas del CUT. Por su parte, Alva-Álvarez y col. (2018) examinaron, apoyándose en índices derivados de imágenes Landsat, los cambios de cobertura causados por incendios en Madera, Chihuahua en el periodo 2000 a 2010, y encontraron que la cobertura se vuelve más heterogénea después de los incendios forestales.

Por otro lado, la NASA (2018) planea continuar operando el programa Landsat, por lo menos hasta el año 2025, con lo que se podrá dar continuidad a los estudios de CUT basados en imágenes capturadas por estos satélites.

Uno de los principales retos que se ha encontrado, en el análisis de CUT, es la heterogeneidad en el paisaje urbano y rural, que resulta en variaciones espectrales dentro de cada tipo de cobertura de la tierra en las imágenes satelitales. Estas variaciones espectrales introducen ruido en el análisis de CUT, cuando se utilizan métodos de clasificación que asignan una clase a cada pixel (Lu y col., 2010). Para reducir este ruido, se puede recurrir a métodos como la clasificación por segmentación, en la cual, primero se segmenta la imagen satelital, y posteriormente, se le asigna una clase a cada segmento para finalmente agrupar pixeles en regiones homogéneas con continuidad espacial y espectral (Jensen, 2004). La clasificación en los diferentes tipos de cobertura de la tierra, se rea-

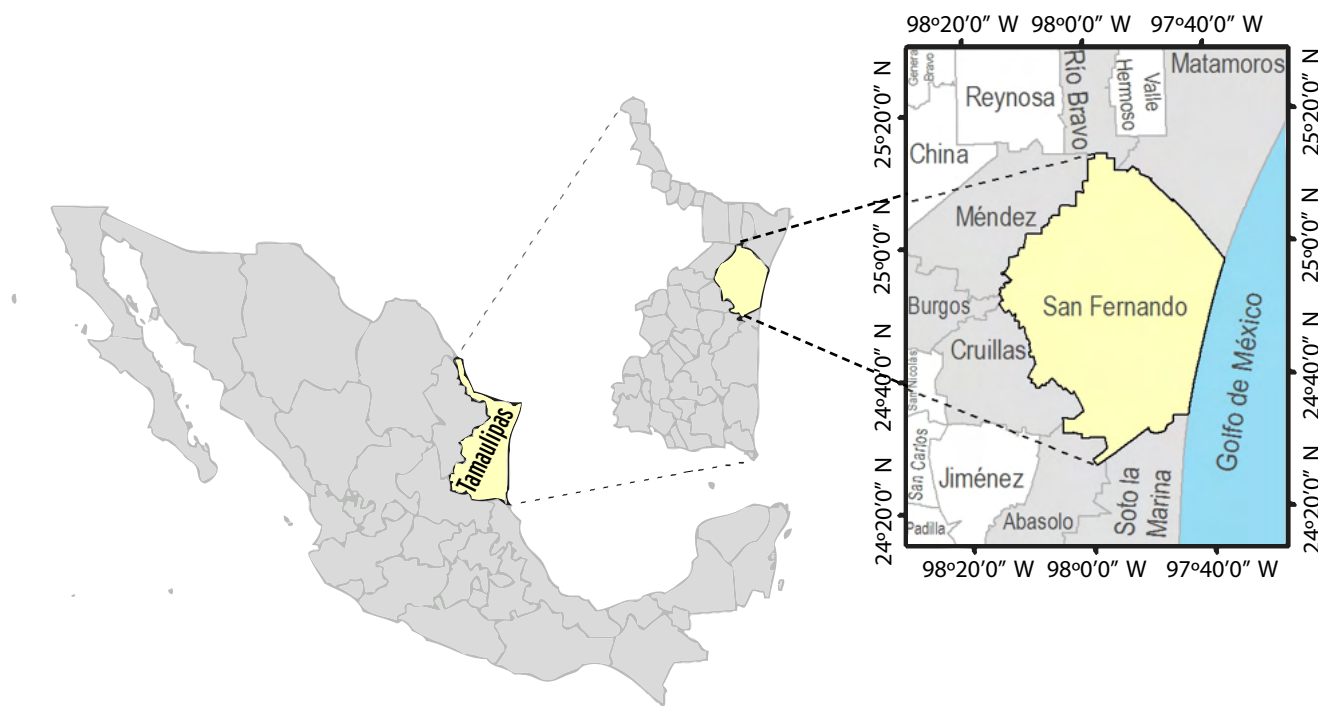
liza, entonces, utilizando clasificadores que toman como entrada segmentos en vez de pixeles y producen un resultado cercano al óptimo para la producción cartográfica y el análisis de CUT (Eastman, 2012).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el cambio de uso de la tierra en el municipio de San Fernando, ubicado en la zona norte del estado de Tamaulipas, utilizando la serie histórica disponible del programa Landsat, desde la década del 80 hasta el año 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de San Fernando, Tamaulipas (Figura 1), cuenta con una extensión aproximada de 6 915 km², y se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas extremas (98°25'32" W, 25°26'40" N) y (97°31'36" W, 24°17'53" N), limita al norte con los municipios de Río Bravo y Matamoros, al oeste con Méndez, Burgos y Cruillas, al sur con Abasolo y Soto la Marina, y al este con el Golfo de México (INEGI, 2018).



■ Figura 1. Localización del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

Selección de imágenes Landsat

La selección de imágenes Landsat se realizó a través del portal EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés: United States Geological Survey) (USGS, 2018). Los parámetros de búsqueda utilizados fueron el Path 26 y Row 43, y el rango de fechas del 1 de enero al 31 de diciembre, de los años 1987, 1997, 2007 y 2017. Los resultados de la búsqueda reflejaron el avance en la capacidad de cómputo y almacenamiento disponible para la adquisición y procesamiento de imágenes satelitales Landsat (Phiri y Morgenroth, 2017). Para 1987, el archivo Landsat contiene únicamente 6 imágenes para los parámetros definidos, correspondientes al año 1987; mientras que para 2017 se encontraron disponibles 23 imágenes. Esta diferencia, en la cantidad de imágenes adquiridas para cada año, dificultó la selección de imagen para 1987, debido a la presencia de nubes en las 6 imágenes disponibles. De manera similar, del año 2007 tampoco fue posible localizar una imagen libre de nubosidad. Por tal motivo, para ambos años se seleccionó la imagen con menor nubosidad. La Tabla 1 muestra las características de las imágenes seleccionadas para cada año evaluado e incluye la fecha de cada imagen. En la Figura 2 se muestran las imágenes recortadas al contorno del área de estudio. En ellas se puede apreciar nubosidad, la cual es más marcada en la imagen correspondiente a 1987. También es posible observar que, las imágenes Landsat-5, del Path 26 y Row 43, no cubrían la tota-

lidad del municipio de San Fernando, Tamaulipas, siendo el área faltante de 40 km² en el extremo norte del municipio. Esta superficie se descartó de la imagen correspondiente al 2017 en la detección y cuantificación de cambios, para evitar la introducción de CUT artificial en el resultado final del estudio.

Segmentación de imágenes

Para la segmentación de imágenes se utilizó ArcMap 10.4.1, el cual, internamente aplica el algoritmo desplazamiento de la media (mean-shift) propuesto por Comaniciu y Meer (2002). La herramienta utilizada toma como entrada tres bandas. Debido a esta limitación, únicamente se utilizaron las bandas infrarrojo de onda corta 1, infrarrojo cercano y azul, correspondientes a la combinación de bandas (5, 4, 1) en Landsat-5 y (6, 5, 2) en Landsat-8. El resto de las entradas definen el nivel de detalle espectral, detalle espacial y tamaño mínimo del segmento. En el presente estudio se especificó el máximo nivel de detalle espectral (20), con la finalidad de reducir la confusión en la definición de segmentos, un nivel de detalle espacial medio (10), para evitar una posible sobresegmentación y un tamaño mínimo de segmento de 10 píxeles, equivalentes a 9 000 m², si se considera que la resolución espacial de las imágenes Landsat es de 30 m.

Polígonos de entrenamiento

Una vez segmentadas las cuatro imágenes, se procedió a la recolección en pantalla de muestras para entrenar el algoritmo clasificador de segmentos. Las clases para las cuales se recolectaron polígonos de entrenamiento fueron las de Nivel 1 del USGS (Lillesand y col., 2004), y estas se listan en las primeras filas de la Tabla 2. Adicional a las clases de Nivel 1, también se recolectaron muestras auxiliares para clasificar nubes y sombras, en caso de que estas estuvieran presentes en las imágenes seleccionadas. Se definieron polígonos de entrenamiento que cubrieran por lo menos 1 000 píxeles segmentados para las clases Nivel 1 y 300 píxeles segmentados para las clases auxiliares. La

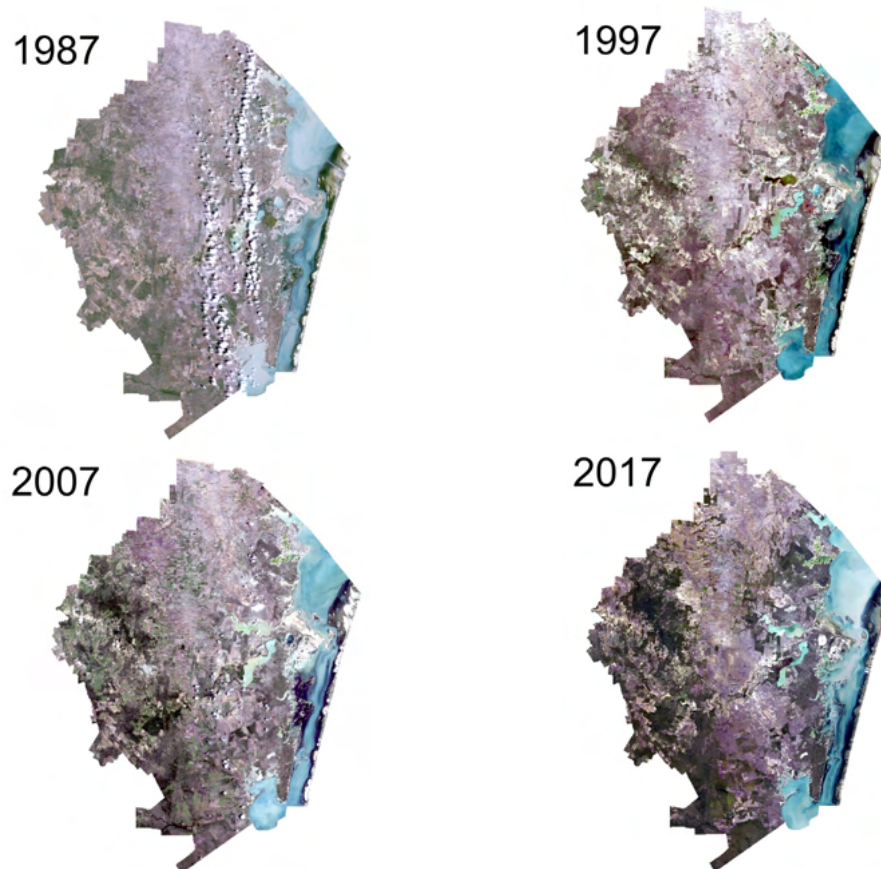
■ **Tabla 1. Imágenes Landsat utilizadas en el estudio.**

Table 1. Landsat images used in the study.

Path/Row	Satélite	Sensor	Fecha
26/43	Landsat-5	TM*	18/09/1987
26/43	Landsat-5	TM	29/09/1997
26/43	Landsat-5	TM	08/08/2007
26/43	Landsat-8	OLI**	23/11/2017

*TM: Thematic Mapper.

**OLI: Operational Land Imager.



■ **Figura 2.** Imágenes Landsat en color natural para el municipio de San Fernando, Tamaulipas en los diferentes años estudiados.

Figure 2. Landsat images in natural color for the San Fernando, Tamaulipas municipality per year over the research period.

■ **Tabla 2.** Clases utilizadas para entrenar el clasificador de segmentos.

Table 2. Varieties used to train the segment classifier.

Clase de entrenamiento	Nivel
Agrícola	1
Cuerpos de Agua	1
Sin vegetación aparente (SVA)	1
Vegetación	1
Nubes	Auxiliar
Sombras	Auxiliar

Figura 3 muestra, como ejemplo, la distribución espacial de los polígonos de entrenamiento para la imagen de 1987. Para los años 1997, 2007 y 2017 se utilizó una distribución espacial similar.

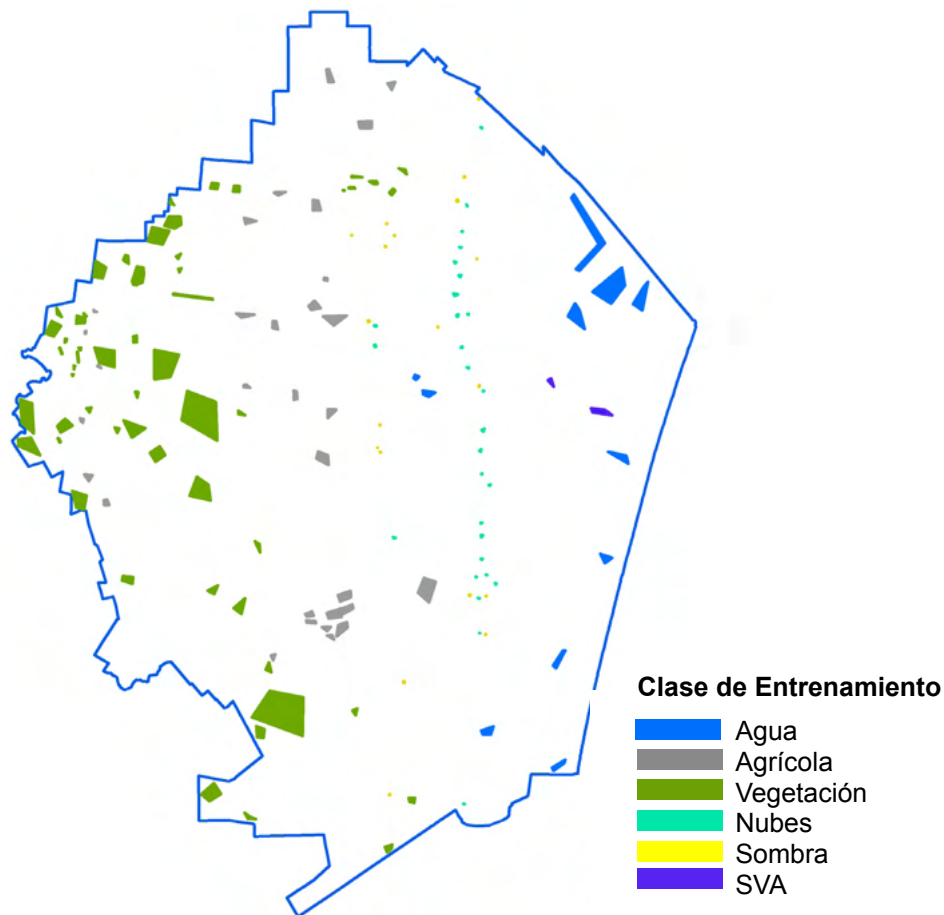
Clasificación de las imágenes segmentadas

Las imágenes segmentadas fueron clasificadas utilizando el Clasificador de Máquina de Vectores de Soporte (SVM, por sus siglas en inglés: Support Vector Machine), entrenado con los polígonos definidos arriba. El clasificador SVM se seleccionó considerando su capacidad de manejar imágenes segmentadas y su baja susceptibilidad a un número dispar de polígonos de entrenamiento, según el Instituto de Investigación sobre Sistemas Ambientales (ESRI, por

sus siglas en inglés: Environmental Systems Research Institute) (ESRI, 2018a). Internamente, el clasificador SVM busca maximizar la separación entre clases, definiendo un hiperplano para dividir los puntos definidos por los segmentos de entrenamiento (Press y col., 2007), reduciendo así la confusión en la asignación de clase a cada segmento, y arrojando resultados más apegados a lo definido por los segmentos de entrenamiento.

Edición de las clasificaciones

Los resultados de las clasificaciones fueron vectorizados y editados en ArcMap para incluir asentamientos humanos, eliminar nubes y sombras, y realizar las correcciones al mismo resultado de la clasificación, en caso de



■ **Figura 3. Polígonos de entrenamiento recolectados en ArcMap para la imagen Landsat-5 de 1987.**
Figure 3. Training polygons collected with ArcMap for the 1987 Landsat-5 scene.

que existiesen errores. Los asentamientos humanos se identificaron visualmente y se agregaron manualmente, ya que estos no fueron incluidos en la clasificación, debido a que en las localidades de San Fernando predomina la cobertura vegetal. La eliminación de nubes y sombras se realizó de manera automática, anexando dichas zonas a las áreas de mayor superficie contiguas a estas. Las correcciones se realizaron manualmente, y evaluando de manera visual el resultado de la clasificación contra la imagen original, para detectar y corregir errores antes de generar las estadísticas y mapas de CUT. La evaluación y corrección visual de los resultados de clasificación se considera válida, debido a la ausencia de datos históricos de referencia que coincidan con las fechas del análisis realizado, y permitan evaluar la exactitud de la clasificación (Cohen y col., 2010).

Detección y cuantificación de cambios

Previo a la detección y cuantificación de cambios, las clasificaciones editadas se recortaron al área común de las 4 imágenes procesadas. Una vez hecho este procedimiento, la detección de cambios se realizó mediante el Análisis Espacial de Combinación (ESRI, 2018b) de los resultados editados. Este análisis combina los atributos de las capas de entrada, de manera que, es posible detectar la presencia/ausencia de cambios, al comparar los atributos de clase de la capa resultante del análisis. La cuantificación de cambios se realizó comparando las estadísticas de superficie, por clase de cobertura, para cada una de las imágenes utilizadas en el presente estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

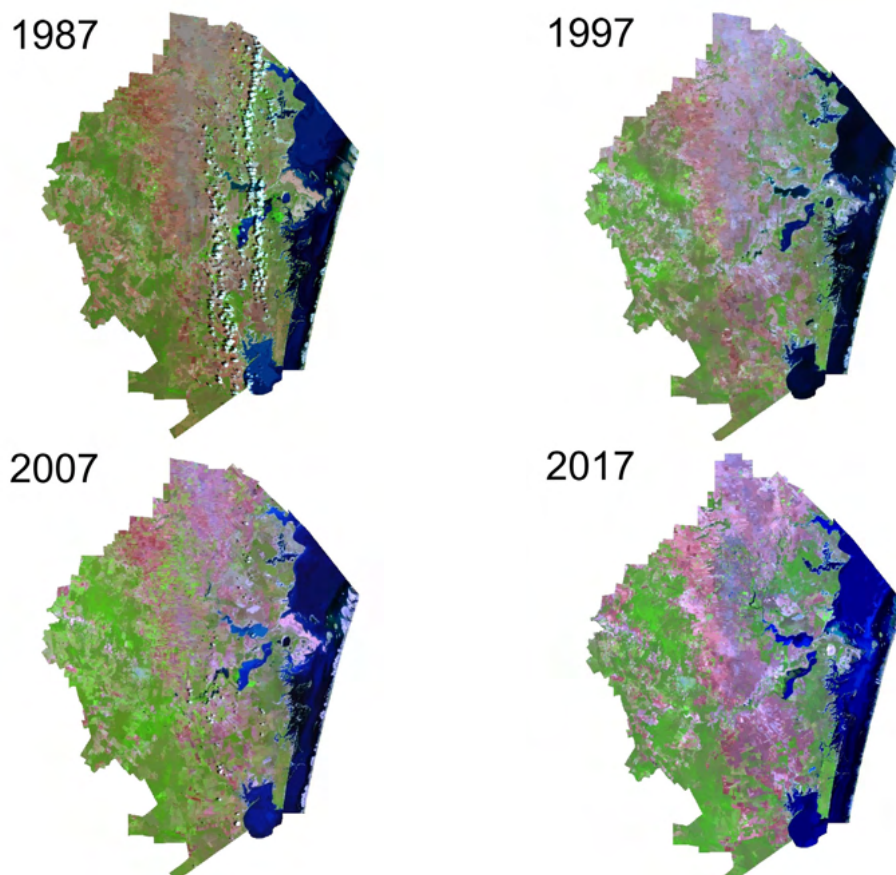
Segmentación de imágenes

La Figura 4 muestra el resultado de la segmentación de las imágenes Landsat. Debido a la combinación de bandas utilizadas (infrarrojo de onda corta 1, infrarrojo cercano y azul), las zonas con cobertura vegetal se observan en color verde oscuro, las zonas agrícolas con cultivo en verde claro, las zonas agrícolas sin cultivo en café y rosa (dependiendo de la condición y tipo de sue-

lo), los cuerpos de agua en color azul, las zonas sin vegetación aparente (SVA) en gris claro, las nubes en color blanco y las sombras de estas en color negro. Al estudiar con detalle la Figura 4 es posible evaluar de manera cualitativa el CUT que ha ocurrido en los últimos 30 años en el municipio de San Fernando, observándose un cambio en el perfil de cobertura vegetal a través del tiempo. El nivel detalle del resultado de la segmentación se presenta en la Figura 3, donde se puede observar cómo la segmentación reduce la homogeneidad de la imagen original, y los segmentos separan los diferentes tipos de cobertura de la tierra, por lo tanto, es válido continuar con la clasificación de las imágenes segmentadas para asignar un tipo de cobertura a cada segmento.

Clasificación de las imágenes segmentadas

En la Figura 5 se muestra el resultado de la clasificación de las imágenes segmentadas. Es posible apreciar que el resultado de la clasificación por segmentación es de calidad cartográfica (Phiri y Morgenroth, 2017), es decir, no exhibe el ruido característico de la clasificación basada en píxeles (Lu y col., 2010). Sin embargo, el resultado de la clasificación refleja la condición original de las imágenes satelitales seleccionadas para el estudio (Tabla 2). En la Figura 6, la clasificación de la imagen para 1987 muestra las nubes (en color verde menta) y las sombras de estas (en color amarillo). De manera similar, la clasificación para el 2007 muestra algunas nubes dispersas. En la clasificación para este mismo año, también se observó que existió confusión entre las zonas de cobertura vegetal y las zonas agrícolas, causada principalmente por la cercanía en la coloración que en la imagen original muestran las zonas con cobertura vegetal y las zonas con cultivo en estado vegetativo. Adicionalmente, en ninguna de las clasificaciones se incluyen los asentamientos humanos, ya que no fueron identificados en los polígonos de entrenamiento. Es debido a estas limitaciones de las imágenes clasificadas que, fue necesario editar el resultado de las clasificaciones.



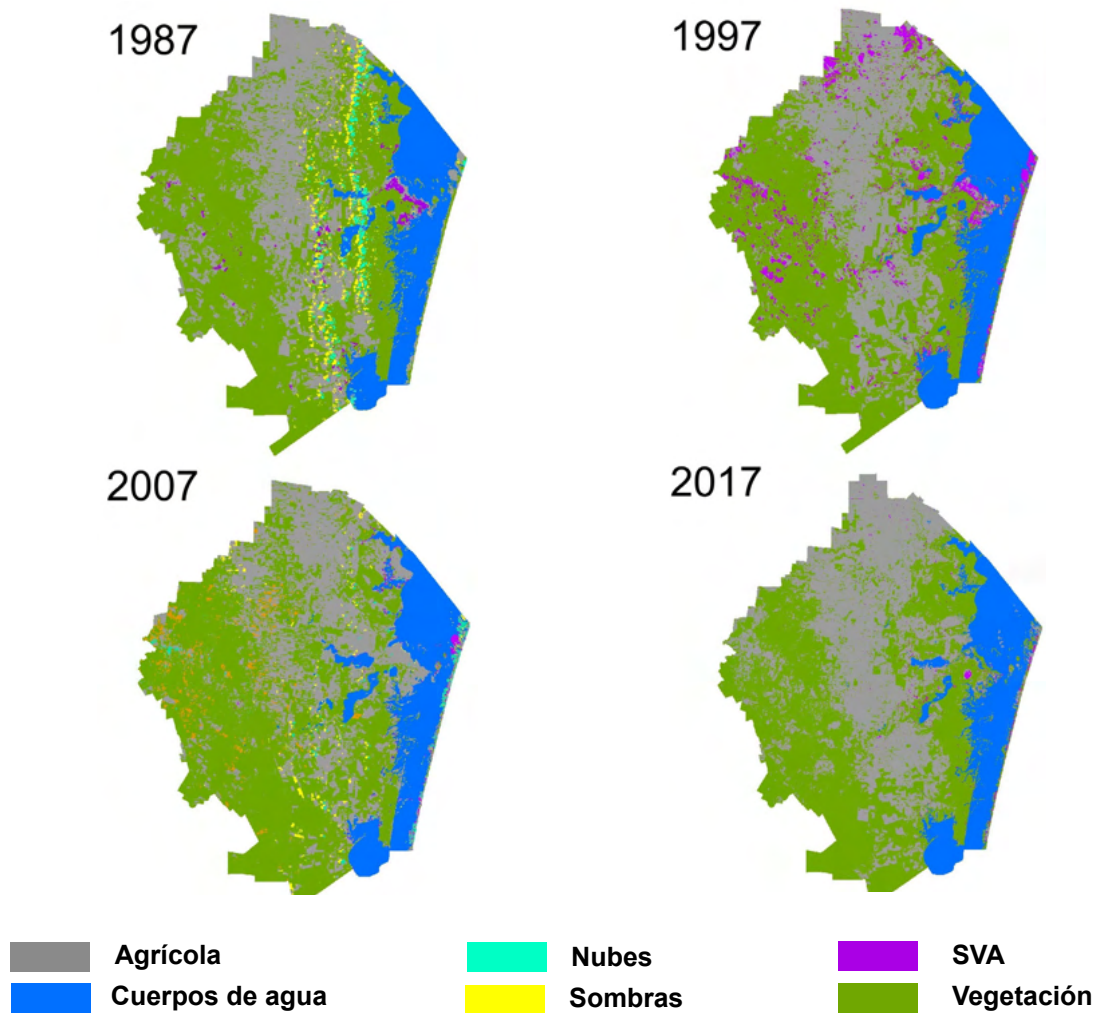
■ Figura 4. Imágenes Landsat segmentadas en falso color para el municipio de San Fernando, Tamaulipas en los diferentes años estudiados.

Figure 4. Segmented false color Landsat images for the San Fernando, Tamaulipas municipality per year over the research period.



■ Figura 5. Detalle de la imagen Landsat-5 de 1987. Original en color natural (arriba) y segmentada en falso color (abajo).

Figure 5. Close-up of the 1987 Landsat-5 image. Original in natural color (up) and segmented in false color (bottom).



■ Figura 6. Imágenes Landsat clasificadas para el municipio de San Fernando, Tamaulipas en los diferentes años estudiados.

Figure 6. Classified Landsat images for the San Fernando, Tamaulipas municipality per year over the research period.

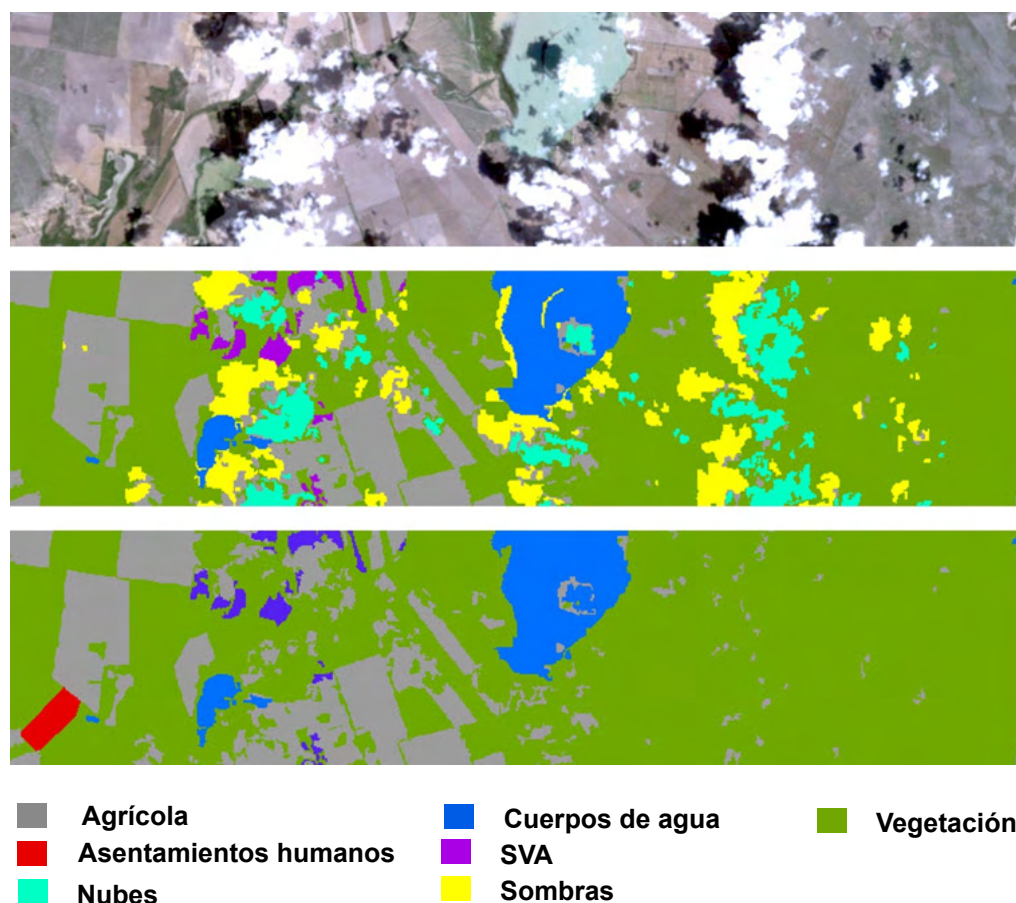
Edición de las clasificaciones

El proceso de clasificación, edición y sus efectos, se ejemplifican en la Figura 7. El proceso de edición de las clasificaciones resultó en la inclusión manual de los asentamientos humanos, los cuales no pudieron ser separados de la cobertura vegetal. La misma figura muestra la adhesión de nubes y sombras a la clase con mayor superficie contigua a estas. Las clasificaciones de las 4 imágenes fueron editadas de manera similar y el resultado de estas ediciones se muestra en la Figura 8. Con base en estas 4 coberturas de la tierra es posible evaluar el CUT, mediante la comparación entre ellas (Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018).

luar el CUT, mediante la comparación entre ellas (Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018).

Detección y cuantificación de cambios

La Tabla 3 muestra las estadísticas por cobertura de la tierra para cada uno de los años estudiados. Las cifras están redondeadas a 2 dígitos decimales, y en ellas se descartaron los 40 km² no cubiertos por las imágenes Landsat-5. Utilizando las estadísticas de cobertura de la tierra, es posible determinar la reducción en cobertura vegetal en el área de estudio. Entre 1987 y 2017, se observó una



■ Figura 7. Detalle de la imagen original (arriba), clasificación (en medio) y edición de la clasificación (abajo) de la imagen Landsat-5 de 1987.

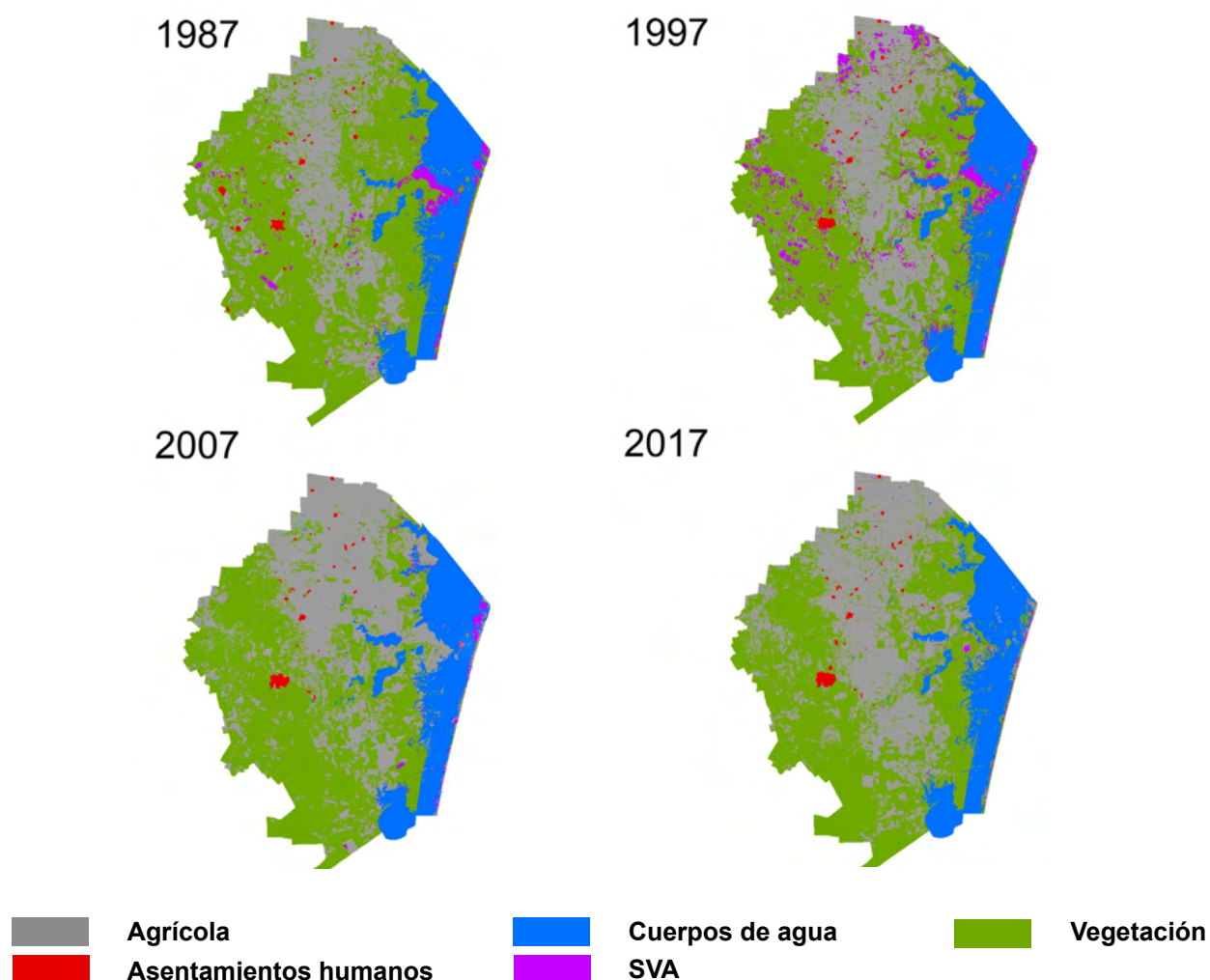
Figure 7. Close-up of the original image (up), classification (middle) and edited classification of the 1987 Landsat-5 Scene (bottom).

pérdida del 6.53 % con respecto al total del municipio, así como el incremento de la frontera agrícola (7.61%) y de los asentamientos humanos (0.88%). La similitud en la magnitud de los cambios de cobertura vegetal y agrícola no significa un CUT directo entre estas clases, ya que, como se observa en la Figura 9, donde se muestra gráficamente el comportamiento de las diferentes coberturas a través del tiempo, el comportamiento del uso de la tierra es dinámico, con apertura y abandono de tierra agrícola. Este dinamismo es posible observarlo en la Figura 10, donde se muestra el CUT entre 1987 y 2017. En esta figura, el cambio a cobertura vegetal, entre 1987 y 2017 se simboliza en color verde; el cambio a uso agrícola en color gris; y el crecimiento de asentamientos humanos en co-

lor rojo. Es evidente que, la apertura y abandono de tierras agrícolas es uno de los principales causantes del CUT en San Fernando, Tamaulipas, como sucede en otras regiones del país (López-Vazquez y col., 2015; Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018) y del mundo (Yin y col., 2018). Los cambios a cuerpos de agua y zonas SVA no se despliegan, ya que estas coberturas se mantienen estables en el periodo estudiado y las variaciones observadas pudieran ser reflejo de las condiciones ambientales bajo las que se adquirieron las imágenes por los satélites Landsat.

Limitantes

Las principales limitantes de la metodología utilizada en este estudio son 1) que no se



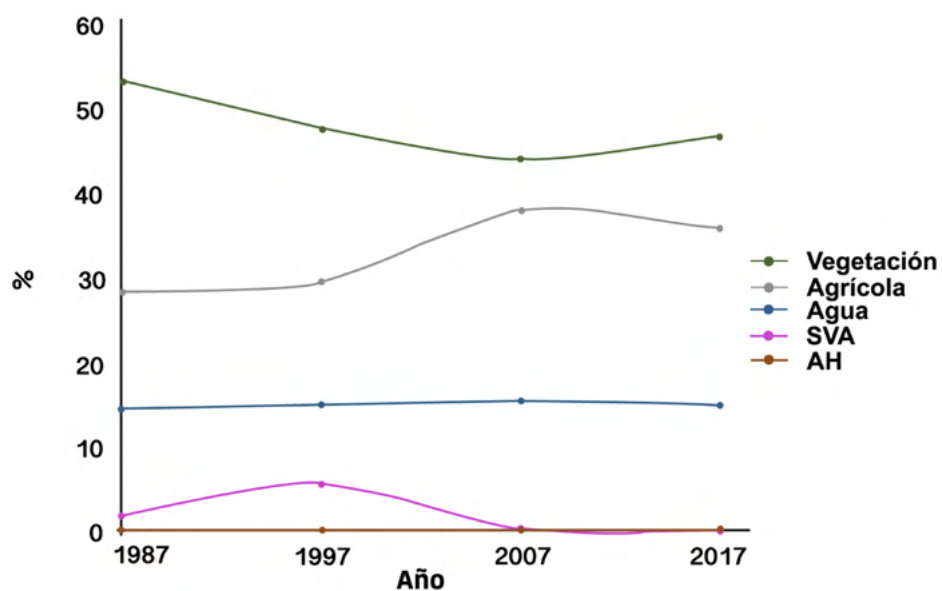
■ Figura 8. Clasificación de la cobertura de la tierra para el municipio de San Fernando, Tamaulipas en los diferentes años estudiados.

Figure 8. Land cover classification for the San Fernando, Tamaulipas municipality per year over the research period.

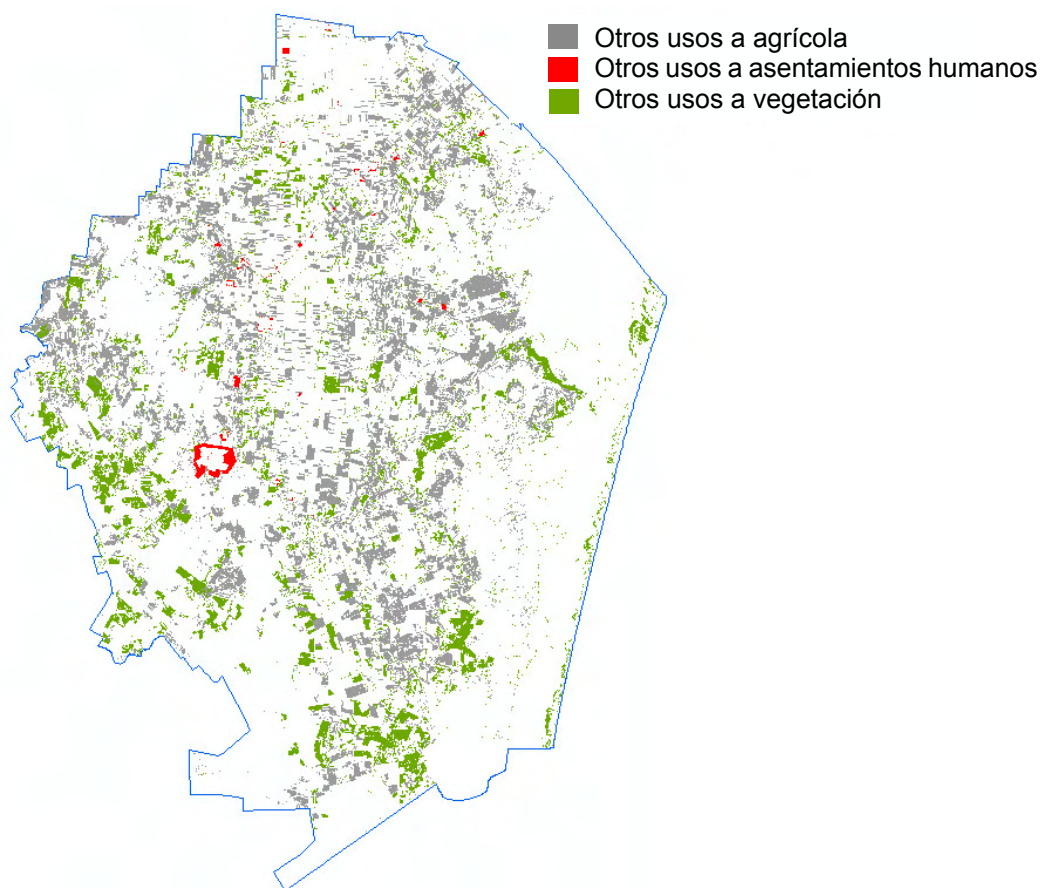
■ Tabla 3. Superficie por cobertura de la tierra para San Fernando, Tamaulipas, en los diferentes años estudiados.

Table 3. Land coverage surface for the San Fernando, Tamaulipas municipality per year over the research period.

Clase	1987		1997		2007		2017	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetación	3 687.62	53.64	3 303.3	48.05	3 061.41	44.53	3 239.09	47.11
Agrícola	1 970.71	28.67	2 059.99	29.96	2 637.55	38.36	2 494.06	36.28
Cuerpos de agua	1 022.5	14.87	1 059.18	15.41	1 089.67	15.85	1 059.85	15.42
Sin vegetación aparente (SVA)	154.73	2.25	413.87	6.02	48.76	0.71	37.31	0.54
Asentamientos humanos	39.46	0.57	38.68	0.56	37.63	0.55	44.71	0.65



■ Figura 9. Evolución de la cobertura de la tierra en el municipio de San Fernando, Tamaulipas.
Figure 9. Land coverage evolution in the San Fernando, Tamaulipas municipality.



■ Figura 10. Cambio de cobertura de la tierra entre 1987 y 2017 en el municipio de San Fernando, Tamaulipas.
Figure 10. Land coverage change between 1987 and 2017 in the San Fernando, Tamaulipas municipality.

contó con información histórica de referencia para evaluar la exactitud de la clasificación de las imágenes; y 2) que aun cuando el archivo de imágenes Landsat inicia su cobertura en 1972, existen pocas imágenes disponibles al inicio del archivo, y en algunos casos es difícil encontrar una imagen libre de nubosidad para el área de estudio. Para subsanar estas deficiencias, futuras investigaciones se pueden enfocar en evaluar la utilización de cartografía heredada (ej. las cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI), como información de referencia para determinar la exactitud de la clasificación de las imágenes satelitales. Respecto a la poca disponibilidad de imágenes al inicio del archivo Landsat, sería conveniente explorar la opción de imágenes multitempo-

rales compuestas de parches libres de nubes y otros efectos atmosféricos.

CONCLUSIONES

El método de clasificación por segmentación de imágenes Landsat permitió evaluar detalles a nivel de parcelas, en el cambio de uso de la tierra (CUT), aunque los objetos pequeños fueron asimilados por áreas homogéneas de mayor tamaño. Este inconveniente pudo ser subsanado mediante su recuperación manual y posterior edición. El estudio permitió establecer que en el municipio de San Fernando, Tamaulipas, en los últimos 30 años, la frontera agrícola creció un 7.61 %, y la cobertura vegetal se redujo 6.53 %, sin una asociación clara con el incremento en asentamientos humanos (+0.08 %).

REFERENCIAS

- Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, A. G., Núñez-López, D. y Muñoz-Robles, C. (2018). Cambios en el paisaje ocasionados por incendios forestales en la región de Madera, Chihuahua. *Madera y Bosques*. 24(3): e2431694.
- Cárdenas-Hernández, O. G. and Gerritsen, P. R. W. (2015). Dinámica paisajista y cambio de cobertura en la comunidad indígena de Cuzalapa (1972 a 2000). *CienciaUAT*. 9(2): 30-40.
- Cohen, W. B., Yang, Z., and Kennedy, R. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. Time Sync-Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*. 114(12): 2911-2924.
- Comaniciu, D. and Meer, P. (2002). Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 24(5): 603-619.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Manual Versión 17*. Clark Labs - Clark University. [En línea]. Disponible en: <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2018.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute (2018a). *Preparar clasificador de máquina de vectores de soporte*. [En línea]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/train-support-vector-machine-classifier.htm>. Fecha de consulta: 24 de octubre de 2018.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute (2018b). *Información general sobre el conjunto de herramientas Superposición*. [En línea]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/tools/analysis-toolbox/an-overview-of-the-overlay-toolset.htm>. Fecha de consulta: 24 de octubre de 2018.
- Gómez, C., White, J. C., and Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 116: 55-72.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). *Guía para la Interpretación de Cartografía: Uso del suelo y Vegetación. Escala 1:250,000, Serie V*. [En línea]. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/uso_suelo/doc/guia_interusosuelov.pdf. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). *Marco Geoestadístico, Febrero 2018*. [En línea]. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463526636>. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2018.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). Glossary of terms. In C. B. Field, V. Ba-

- ros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. ..., and P. M. Midgley (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. [En línea]. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf. Fecha de consulta: 25 de octubre de 2018.
- Jensen, J. R. (2004). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (Third edition). USA: Prentice Hall. 526 Pp.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., and Chipman, J. W. (2004) *Remote Sensing and Image Interpretation. Fifth Edition*. USA: John Wiley & Sons. 763 Pp.
- López-Vazquez, V., Balderas-Plata, M., Chávez-Mejía, M., Juan-Pérez, J. y Gutiérrez Cedillo, J. (2015). Cambio de Uso de Suelo e Implicaciones Socioeconómicas en un Área Mazahua del Altiplano Mexicano. *CIENCIA Ergo-Sum*. 22(2):136-144.
- Lu, D., Hetrick, S., and Moran, E. (2010). Land Cover Classification in a Complex Urban-Rural Landscape with QuickBird Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 76(10):1159-1168.
- NASA, *National Aeronautics and Space Administration* (2018). *Landsat 9: Continuing the Legacy—2020 and beyond*. [En línea]. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2018.
- Osuna-Osuna, A. K., Díaz-Torres, J. J., Anda-Sánchez, J. A., Villegas-García, E., Gallardo-Valdez, J. y Davila-Vazquez, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 10(2):350-362.
- Phiri, D. and Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*. 9(9):967.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., and Flannery, B. P. (2007). *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Third Edition. UK: Cambridge University Press. 1235 Pp.
- Sahagún-Sánchez, F. J. y Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*. 12(2):6-21.
- Sexton, J. O., Urban, D. L., Donohue, M. J., and Song, C. (2013). Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record. *Remote Sensing of Environment*. 128:246-258.
- USGS, United States Geological Survey (2018). EarthExplorer. [En línea]. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Fecha de consulta: 2 de enero de 2018.
- Yin, H., Prishchepov, A. V., Kuemmerle, T., Bleyhl, B., Buchner, J., and Radeloff, V. C. (2018). Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. 210:12-24.



UAT

VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD

NORMAS DE PUBLICACIÓN CIENCIAUAT

CienciaUAT es una publicación multidisciplinaria con periodicidad semestral (enero-junio, julio-diciembre). Su objetivo es difundir el conocimiento científico básico y aplicado, enfocado principalmente a temáticas de Iberoamérica, las cuales son agrupadas en las siguientes áreas:

- Física, Matemáticas y Ciencias de la Tierra
- Biología y Química
- Medicina y Ciencias de la Salud
- Humanidades y Ciencias de la Conducta
- Ciencias Sociales
- Biotecnología y Ciencias Agropecuarias
- Ingenierías

La revista CienciaUAT publica artículos, notas científicas y revisiones críticas bibliográficas, originales, en idioma español, de investigadores adscritos a instituciones educativas o centros de investigación nacionales e internacionales, en formato impreso y electrónico de acceso abierto.

La revista es editada y financiada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. En ella se conjunta la alta calidad científica de los trabajos recibidos con la calidad editorial, formato y presentación del material, editado, en color.

La revista CienciaUAT está indexada en Latindex, Ebsco, Copernicus, Cab Abstracts, Periódica, MIAR, Actividad Iberoamericana, Fundación Dialnet, NAL, DOAJ, REDIB, Open Science Directory, Google académico, Copac, World Cat, Academia.edu, ERIH PLUS, Western Theological Seminary, SHERPA/ROMEO, ¿Dónde lo publico?, The Knowledge Network, Scisearch, SciELO-México, SciELO, Web of Science, Redalyc, iresie y Conacyt.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA PUBLICACIÓN

El material enviado al Comité Editorial de la revista, para su evaluación, debe ser original e inédito y no estar considerado para publicarse simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales. Los manuscritos deben tener calidad científica y utilizar un lenguaje claro y preciso, definiendo los términos técnicos, para permitir su comprensión por lectores de otros campos y niveles académicos. Además, incluir las siguientes secciones en español e inglés: título, resumen, palabras clave, leyendas de tablas y figuras. El autor es responsable de la correcta redacción en cada sección.

RECEPCIÓN DE TRABAJOS

Los manuscritos se postulan a través de la plataforma de CienciaUAT en la siguiente dirección: <http://www.revista.ciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/information/authors>.

PROCESO DE EVALUACIÓN

El autor se debe registrar en el portal de la revista para obtener su clave de usuario y contraseña, con las cuales puede ingresar y subir a la plataforma su manuscrito, así como continuar el proceso editorial, revisar el estatus del mismo (a partir de editor de área) y

enviar y recibir correspondencia (a partir de evaluadores externos). No se reciben artículos por otra vía, impresa o electrónica.

Los manuscritos recibidos están sujetos a un proceso editorial que se desarrolla en etapas, donde los autores deben atender cada una de las observaciones y sugerencias que se le indiquen durante las revisiones, marcando en color rojo los cambios realizados al último manuscrito (es necesario que se trabaje en el mismo word que se le haga llegar en todas las etapas). En las etapas de editor de área y árbitros externos, se envía un formato anexo con las respuestas a cada una de las observaciones y las modificaciones realizadas al último manuscrito. En la primera etapa, los manuscritos estarán sometidos a una evaluación preliminar por parte del Departamento Editorial de la revista, para verificar que cumplan con los requisitos temáticos, de formato, y analizar el nivel de similitud con material previamente publicado (a través del software Turnitin). Una vez que se cumpla con las consideraciones generales de publicación, se asignará el trabajo al editor de área, quien determinará la pertinencia de los manuscritos (en ocasiones requerirá de una segunda revisión), si son aprobados serán arbitrados al menos por dos pares académicos externos, expertos en el tema de interés, quienes determinarán la aceptación o rechazo del artículo, la cual estará basada en el análisis académico y científico del material; en caso de discrepancia en los resultados de los revisores, el escrito se enviará a un tercer árbitro, cuya decisión definirá la publicación. Los autores tendrán un tiempo establecido para atender las observaciones de los evaluadores, en función de los cambios solicitados; si no se realizan los cambios a tiempo, el manuscrito será rechazado. Los manuscritos se someten a un proceso de evaluación doble ciego, en el que los autores desconocen a los evaluadores y viceversa. El resultado del proceso de dictamen académico es inapelable.

En el caso de que los manuscritos sean condicionados a realizar cambios menores para su aceptación, el autor tendrá un periodo máximo de dos semanas para atenderlos, los cuales deberán ir marcados en color rojo, además, se enviará un formato anexo, con las respuestas a cada una de las observaciones y las modificaciones realizadas; de no recibir respuesta, el artículo será rechazado. De la misma forma, se trabajará en el proceso de corrección de estilo y revisión de formato, a la que los manuscritos aceptados son sometidos para adecuarlos a los artículos publicados. Una vez enviadas las pruebas de galera el autor tendrá cuatro días naturales para su revisión; de no recibir respuesta en el tiempo indicado, el artículo se publicará con base en el criterio del editor de la revista. En caso de que él o los autores requieran de un mayor tiempo para la respuesta en las

distintas etapas del proceso, deberán solicitarlo al editor de la revista.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Generalidades

El número de autores del manuscrito debe ser congruente con la calidad y cantidad de trabajo realizado y presentado. Un exceso de autores no justificable, es causa de rechazo del mismo. El manuscrito debe incluir una ficha autor en una hoja por separado que indique: el nombre completo de los autores (evitando uso de iniciales; los apellidos paterno y materno serán enlazados con un guion corto); la institución de adscripción en el siguiente orden: Universidad, Facultad o instituto al que pertenecen, dirección postal completa, correo electrónico del autor para correspondencia, teléfono con lada para localización, CVU Conacyt, ORCID iD, y nivel SNI en caso de tener.

El manuscrito debe estar escrito con letra Times New Roman a 12 puntos, a espacio y medio, en hoja tamaño carta, numeradas en forma continua, formato de procesador de texto Word, con margen en los cuatro costados de 2.5 centímetros. Los renglones deberán estar numerados en forma continua para facilitar el proceso de evaluación.

La redacción del manuscrito será en forma impersonal. Los agradecimientos se incluirán al final del texto solo para el caso de fuentes de financiamiento. Los manuscritos en formato de artículo científico tendrán un máximo de 25 cuartillas (incluyendo figuras, tablas y anexos). Las notas científicas tendrán un máximo de 15 cuartillas y las revisiones actualizadas de 20 cuartillas (incluyendo figuras, tablas y anexos).

En caso de incluir figuras, tablas, imágenes o fotografías, estas deberán estar referenciadas en el texto, ser preferentemente a color y ubicarse al final del manuscrito, cada una en hoja separada.

El texto que describa las figuras estará redactado en forma independiente y no formar parte de la imagen. Las figuras serán enviadas adicionalmente por separado en formato jpg a 300 dpi o superior, para asegurar la calidad de su impresión. En caso de utilizar mapas, estos deberán especificar coordenadas, indicando el área o lugar de estudio, atendiendo el siguiente formato: 98°12'15" W o 45°23'10" N. Cuando se trate de un polígono, deberán indicarse las coordenadas extrema superior izquierda y extrema inferior derecha. Las altitudes sobre el nivel del mar se citarán en metros.

Las tablas referenciadas en el texto deben de aparecer al final del documento en formato Word y no se incluirán como imágenes. No se repetirá en el texto la información descrita en las tablas y figuras, con excepción de aquella necesaria para la discusión de los resultados.

ESTRUCTURA DE LOS ARTÍCULOS Y NOTAS CIENTÍFICAS

Secciones en español e inglés

El título del trabajo describirá claramente el contenido de este, en un máximo de 150 caracteres en español. El

resumen no debe ser mayor de 300 palabras, incluyendo una breve introducción, el objetivo, metodología más importante, principales resultados y una conclusión. Se incluirán de 3 a 5 palabras clave.

Secciones en español

Además de lo anterior, es necesario sugerir un título corto para su investigación.

Aparte del resumen, se deberá incluir las secciones de introducción, materiales y métodos, resultados y discusión (pueden aparecer de manera independiente), conclusiones, agradecimientos (en caso necesario) y referencias.

En la introducción (máximo 3 cuartillas) debe justificarse con una revisión de literatura científica actualizada la importancia del estudio realizado y concluir con el objetivo del trabajo.

La sección de materiales y métodos proporcionará suficiente información que permitiera repetir el trabajo en condiciones similares; debe incluir el diseño experimental, método estadístico, los principales métodos de análisis usados y las fuentes de dónde fueron obtenidos o modificados, así como la forma en que se obtuvieron los especímenes de estudio. Los equipos mencionados deben indicar marca, modelo y origen (ciudad y país).

En caso de estudios del área de salud, se debe hacer mención expresa del comité de ética que aprobó el protocolo de investigación y, en caso de que en esta se haya trabajado con humanos, se manifestará de forma explícita el haber obtenido por escrito el consentimiento informado por parte de los mismos. Todos los procedimientos que se lleven a cabo en humanos deberán ajustarse a las normas éticas sobre experimentación humana de la Declaración de Helsinki de 1975.

Cuando se utilicen animales de experimentación o propiedad de particulares, la sección de métodos indicará claramente que se implementaron las medidas adecuadas para minimizar el dolor y la incomodidad. En caso de utilizar animales de experimentación. Además la sección de métodos contará con una declaración que identifique el comité de revisión de ética que haya garantizado y aprobado la metodología de trabajo. Cuando se utilizan animales propiedad de particulares o clientes en ensayos clínicos, se deberá de obtener el consentimiento informado del propietario y declararlo explícitamente en el documento.

Los experimentos y ensayos clínicos deben realizarse de acuerdo a las directivas establecidas por el Instituto Nacional de Salud (National Institutes of Health, NHI) en USA, en lo que respecta al cuidado y uso de animales para procedimientos de experimentación, o con las Directivas del Consejo de la Comunidad Europea del 24 de noviembre de 1986 (86/609/EEC), y de acuerdo con las leyes y regulaciones nacionales y locales. Los editores se reservan el derecho a rechazar aquellos trabajos que ofrezcan dudas respecto a la obtención de un permiso adecuado o a la aplicación de procedimientos apropiados.

Los resultados de investigación deberán estar sustentados con literatura científica reciente, que demuestre que

el conocimiento generado es nuevo o innovador, por lo que es necesario que al menos el 40 % de las citas, sean de los últimos cinco años.

Las conclusiones deben resaltar el o los logros principales, de manera concreta y clara, evitando repetir las discusiones de resultados previos.

ESTRUCTURA DE LAS REVISIONES ACTUALIZADAS

Secciones en español e inglés

El título describirá claramente el contenido del trabajo, en un máximo de 150 caracteres. El resumen no debe ser mayor de 200 palabras, describiendo con claridad la temática que se revisa, su importancia y alcance a través de una breve introducción, objetivo, principal metodología, resultados y una conclusión. Se incluirán de 3 a 5 palabras clave.

Secciones en español

Además de lo anterior, debe sugerir un título corto para su investigación.

El texto del manuscrito tendrá una amplia revisión bibliográfica que permita al lector profundizar el conocimiento del tema que se describe. En la introducción debe justificarse con una revisión de literatura científica actualizada la importancia del estudio realizado y concluir con el objetivo del trabajo. Al ser una revisión actualizada se espera que incluya más del 40 % de artículos publicados en los últimos cinco años. El contenido estará dividido en secciones acordes con la temática desarrollada. Se incluirá una sección de conclusiones previa a la sección de referencias.

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores deberán hacer una declaración que indique que en su estudio no existen conflictos de intereses que puedan influir en los resultados presentados en su manuscrito, así como en la discusión de los mismos y las conclusiones alcanzadas.

Un conflicto de intereses puede estar asociado con el financiamiento recibido para el desarrollo del estudio y que condicione la publicación e interpretación de los resultados obtenidos, positivos o negativos. Un conflicto de intereses también surge cuando el autor o coautores tienen afinidad, relación laboral, personal o un sentimiento adverso o animoso con empresas, instituciones o grupos que puedan verse afectados o beneficiados directamente con los resultados que se estarían publicando.

La decisión para la aceptación o rechazo del artículo no estará influenciado por la declaración de posibles conflictos de intereses por parte de los autores.

Por su parte, CienciaUAT se compromete a evitar conflictos de intereses durante la evaluación de los artículos, solicitando a editores y árbitros externos que participen en el proceso de evaluación de un manuscrito, que declaren si consideran que existe un conflicto de intereses en su proceso de evaluación, por tener antagonismo con la línea de investigación del manuscrito que están evaluando (la evaluación es método doble ciego).

Unidades de medición

Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio y su abreviación deberán seguir el sistema internacional descrito en <http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>. No usar punto en las

abreviaciones (ejemplo kg, cm, °C, ó m).

Referencias en el texto

Todas las publicaciones citadas en el texto del artículo aparecerán en la sección de referencias y viceversa. El autor debe cerciorarse que los nombres de los autores que cita, y las fechas sean exactamente las mismas tanto en el texto como en el listado de referencias. Asimismo, tiene que revisar que todos los elementos de una referencia bibliográfica estén incluidos. Es responsabilidad del autor(es) la correcta redacción de los nombres de los autores de los trabajos citados en su artículo o revisión.

Las citas o referencias insertadas en los lugares correspondientes del texto deberán ir entre paréntesis y contener el apellido paterno del autor, el año de publicación, ejemplo: (Núñez, 1983). En el caso de dos autores se usará (Núñez y Pérez, 1983). Para señalar más de dos autores se usará Núñez y col. (1982). En caso de más de una referencia, deberán separarse con punto y coma (Núñez y Pérez, 1983; Núñez y col., 1984). Si existen dos referencias de los mismos autores que pudieran confundirse se usarán letras minúsculas, de acuerdo al abecedario (Núñez y Pérez, 1983a; 1983b).

Las citas textuales (texto copiado íntegramente) de menos de 40 palabras, deberán ir entre comillas dobles, anotando entre paréntesis además del autor y el año, la(s) página(s) correspondiente(s), ejemplo: (Núñez, 1982:126); Núñez (1982), encontró que "El efecto placebo desapareció cuando..." (p. 126).

En caso de utilizar una fuente secundaria (lo cual debe hacerse con moderación, cuando la obra ya está agotada o solo disponible en otro idioma), debe mencionarse de la siguiente manera: Barney (1991, p. 34) cita a Douglas (1988) al definir que "...xxxxxxxxxxxxxx". En la lista de referencia se ubicará la fuente secundaria.

En caso de usar autor corporativo, como institutos, ministerios, organizaciones, entre otros, definirá el significado de las siglas la primera vez que aparezca la cita. Ejemplo: según datos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2015) ..., y en lo subsecuente solo incluirá las siglas (IMSS, 2015).

Los textos de materiales legales se citan de la siguiente forma: La Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos (2008), en su artículo 27, establece que "La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación".

Las citas de entrevistas personales, cartas, correos electrónicos deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: (Luis Fuentes-García, procesador de jaiba en Tamaulipas, Comunicación personal, 12 de junio, 2015).

No se incluirán referencias o notas al pie de página. Se deben evitar citas a tesis, manuales, apuntes y cualquier otro material que sea difícil de consultar.

Referencias

Las referencias bibliográficas deberán aparecer al final del artículo en orden alfabético y cronológico de acuerdo con el formato APA, con las siguientes especificaciones:

Para más información consultar el portal: <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx>

CienciaUAT is a multidisciplinary journal that publishes two issues per year (January-June and July-December). Its aim is to disseminate basic and applied scientific knowledge, focused mainly on Ibero American topics, which are grouped as follows:

- Physics, Mathematics and Earth Sciences
- Biology and Chemistry
- Medicine and Health Sciences
- Humanities and Behavioral Sciences
- Social Sciences
- Biotechnology and Agricultural Sciences
- Engineering

The CienciaUAT Journal publishes original articles, scientific notes and critical literature reviews in Spanish whose authors are researchers from our educational institution and other national and international institutions and research centers. The journal is published in both print and online versions and supports an open access policy.

The journal is edited and financially supported by the Universidad Autónoma de Tamaulipas. The journal combines the highly scientific quality of the papers received with the quality of the editorial process, formatting and full color presentation of the published material.

The CienciaUAT Journal is indexed in: Latindex, Ebsco, Copernicus, Cab Abstracts, Periódica, MIAR, Actualidad Iberoamericana, Fundación Dialnet, NAL, DOAJ, REDIB, Open Science Directory, Google scholar, Copac, World Cat, Academia.edu, ERIH PLUS, Western Theological Seminary, SHERPA/ROMEO, ¿Dónde lo publico?, The Knowledge Network, Scribd, SciELO-México, SciELO, WEB of Science, Redalyc, iresie and Conacyt.

GENERAL CONSIDERATIONS FOR PUBLICATION

Manuscripts submitted to the Editorial Committee of the journal for evaluation should be original, unpublished and not under consideration for publication simultaneously in another journal or editorial agency. Manuscripts should have scientific quality and use clear and accurate language, defining technical terms as necessary to make it accessible to readers from other academic fields and levels. In addition, manuscripts must include the following sections in Spanish and English: title, abstract, key words, tables and figures captions. The author is responsible for writing each of the sections in an appropriate manner.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscripts should be submitted through the CienciaUAT platform, which can be found at the following address: <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/information/authors>

PEER REVIEW PROCESS

Authors are required to register first at the journal's portal in order to obtain a username and a password which are used to log in and upload their manuscript to the platform. They will also be

used to continue the editorial process, review the status of their manuscripts (from the area editor), and send and receive correspondence (to and from reviewers). Manuscripts will not be received by any other print or electronic means.

All submitted manuscripts are subject to an editorial process which develops in stages.

Authors are expected to fully comply with the revisions required during the review process, highlighting in red color the changes made to the most updated version of the manuscript (authors are expected to use the same Word document received in each of the stages). In the case of the comments and suggestions made by the Editor and the external reviewers, authors are also required to submit a separate sheet in which they provide a detailed explanation about how they dealt with each of the comments and suggestions on the revised version. In the first stage, manuscripts will be subject to a preliminary review by members of the Editorial Department of the journal, to ensure that they meet the thematic and format requirements, and to determine the levels of similarity (through Turnitin software). Once all the general considerations for publication are met, the manuscript will be assigned the area editor, who will decide on its relevance (some manuscripts may require a second round of review). If approved by the area editor, the manuscript will then be reviewed by at least two external expert reviewers who will determine whether it is accepted or rejected based on an academic and scientific analysis. In the event of disagreement between the reviewers' decisions, the manuscript is sent out to a third reviewer whose decision will define publication. Authors will have a pre-determined time period to meet the comments and suggestions as required by the reviewer's. Failure to make the required corrections within the specified time frame will result in manuscript rejection. All manuscripts undergo a double blind review process, in which the authors do not know the reviewers and vice versa. The result of the review process is irreversible.

In the case of those manuscripts that are accepted with minor revisions, their authors will have a two week period to make the required corrections, which will need to be highlighted in red color. As mentioned above, authors will need to submit a separate form in which they provide a detailed response to each of the reviewers' comments or suggestions. Failure to respond to this requirement, will result in the rejection of the manuscript. Similarly, all accepted manuscripts undergo a process of editorial and format revision to adjust them to the required publication format. During the proofing stage, authors will have four calendar days to check and correct their proofs. If the authors do not respond within the time frame, the article will be

published following the Editor's judgment. Nonetheless, if the authors need an extension to respond to the requirements in any of the different stages of the process, they will have to make a formal request to the journal's Editor.

MANUSCRIPT PREPARATION

The number of authors of the manuscript should be in accordance to the quality and the quantity of the work carried out and presented. An unjustified number of authors may cause the rejection of the manuscript. Each submission should include an author's data sheet on a separate file with the following information: full name of each of the authors (initials must be avoided; both last names should be hyphenated); institution of affiliation in the following order: University, school or institute, full postal address, e-mail address of the author for correspondence, phone number-including area code- where the author can be reached, CONACyT CVU, ORCID iD, and SNI level as appropriate.

The manuscript should be written in 12-point Times New Roman, spaced at 1.5, formatted into Letter page size (21.59 cm x 27.94 cm), page numbered, in MS Word, with 2.5 cm margins on every side. Rows should be numbered continuously to facilitate the evaluation process.

The manuscript must be written in impersonal form. Acknowledgments must be included in the final part of the text and only for cases of monetary support.

Manuscripts in the form of scientific manuscripts must have a maximum of 25 pages (including figures, tables, and appendices). Scientific notes must have a maximum of 15 pages; the revised versions must have a maximum of 20 pages (including figures, tables, and appendices).

In case the manuscript includes figures, tables, images or pictures, these must be referenced in the text and should preferably be in color and placed towards the end of the manuscript, each in a separate sheet.

The text describing the figures must be drafted independently and not as part of the image. Figures should be additionally sent in a separate file in jpg format (300 dpi or higher to ensure printing quality). In case of using maps, these should specify geographical coordinates indicating the area or place of study, adhering to the following format: 98°12'15" W o 45°23'10" N. When it comes to a polygon, the upper left and lower right coordinates should be indicated. The altitude above the sea level should be cited in meters.

Tables referenced in the text should be included at the end of the document in MS Word format and should not be included as images. Information in tables and figures should not be repeated in the text, except those that are necessary for the discussion of results.

STRUCTURE OF ARTICLES AND SCIENTIFIC NOTES

Sections in both Spanish and English

The title should clearly describe the

contents of the paper within a length of 150 characters in Spanish. The abstract must not exceed 300 words, including a brief introduction, the objective or purpose, the methods used, main findings and a conclusion. A list of three to five keywords should be included.

Sections in Spanish

In addition to the aforementioned components, authors should also provide a shorter version of the manuscript title.

Besides the abstract, the sections of introduction, materials and methods, findings and discussion (can be either merged or independently organized), conclusions, acknowledgements (where necessary) and references should be included.

In the Introduction section (3 pages maximum in length), the importance of the study must be presented with an updated review of the scientific literature and the objective or purpose of the study must also be indicated.

The Materials and Methods section needs to provide sufficient information in a way that the study can be replicated under similar conditions. The experimental design, statistical method, techniques of analysis used and data sources need to be clearly indicated. Brand names, year and origin (city and country) of the research devices used for the study need to be clearly indicated.

In the case of health related studies, a reference needs to be made to the Ethics committee that approved the research protocol. Furthermore, in the case of those studies whose research subjects are humans, copies of the signed research consent forms need to be provided. In all the cases, studies in which humans are involved must adhere to the ethical guidelines for human experimentation as stated in the 1975 Declaration of Helsinki.

In the case of the studies that make use of animals for experimentation, all the appropriate measures implemented to minimize pain and uneasiness need to be clearly indicated. In addition, a declaration identifying the ethics committee that approved that research methodology needs to be provided in the methods section. Similarly, when animals are used in clinical trials, the informed consent from their owners or customers needs to be gained and explicitly declared in the document.

The experiments and clinical trials should be conducted following the guidelines established by the National Health Institute (NHI) of the USA, particularly those related to the care and use of animals in experimentation procedures. Alternatively, the guidelines for ethical practice developed by the European Community Council dated November 24, 1986 (86/609/EEC) can also be followed in accordance with national and local laws and regulations. The editors of the journal reserve the right to reject those works that appear to have failed to secure an adequate informed consent from the involved parties or to apply appropriate procedures.

The findings of the research should be supported with up-to-date literature and should demonstrate that the generated knowledge is new or innovative. Therefore, at least 40% of the references used

should be not older than 5 years.

The conclusion section should highlight the main contributions of the study in a clear and concrete manner, avoiding the repetition of discussion of previous findings.

STRUCTURE OF UPDATED LITERATURE REVIEWS

Sections in both Spanish and English

The title should clearly describe the contents of the work within a length of 150 characters. The abstract must not exceed 200 words, clearly describing the topic being reviewed, its relevance and scope through a brief introduction, objective or purpose, methods used, main findings and a conclusion. A list of three to five keywords should be included.

Sections in Spanish

In addition to the aforementioned components, authors should also provide a shorter version of the manuscript title.

The text of the manuscript must contain a clear, broad review of the literature that facilitates a deep understanding of the topic described. In the Introduction section, the importance of the study must be presented with an updated review of the scientific literature. The objective or purpose of the study must also be indicated. Given that it is an updated literature review, it is expected that more than 40 % of the references included are articles published within the last five years. The content must be divided into sections, depending on the subject matter addressed. It is recommended that a section of Conclusions be included before the list of References.

Declaration of non-conflicts of interests

Authors must submit a formal statement, in which they declare that no conflicts of interests are involved in their study that can influence the findings presented, as well as the discussion and conclusions drawn.

A conflict of interest can be associated with the financial relationships that can exert influence in the development of the research project and can represent a threat to the interpretation and publication of the findings of the study. A conflict of interest can also arise when the author (s) has affinity, a personal or work relationship or an adverse feeling towards enterprises, institutions or groups that can be positively or negatively affected by the outcomes of the published research.

The decision to accept or reject a manuscript will be based on the academic and scientific analysis of the material. Such analysis will be conducted by external reviewers and will not be influenced by the authors' statement of potential conflict of interests.

The *CienciaUAT Journal* is committed to providing a fair review process by requesting the participating editors and external referees to state whether potential conflicts of interests exist in such process, including any potential antagonism with the research topic addressed in the manuscript under review. In addition, the Journal follows a double-blind review process, which ensures that the reviewers do not know the authors and the authors do not know the reviewers.

Measurement units

The units of any scientific or lab data and their abbreviation should adhere to the international system previously described at <http://physics.nist.gov/cuu/Units.html>. Dots should NOT be used in the abbreviations (e.g. kg, cm, °C, or m).

References

All publications cited in the text of the article must appear in the references section and vice versa. Authors must verify that the names of the authors and dates are exactly the same in the text and the list of references. Authors must also make sure that all the elements of bibliographic references are included. It is the responsibility of the author(s) to verify the correct spelling of authors' names cited in articles or literature reviews.

Citations or references inserted in the corresponding places in the text must be placed in parenthesis, contain the surname of the author and include the year of publication. For example: (Núñez, 1983). In the case of two authors: (Núñez y Pérez, 1983). To indicate more than two authors: Núñez y col. (1982). In case of more than one reference, they should be separated with semi colon (Núñez y Pérez, 1983; Núñez y col., 1984). If there are two references of the same authors, small letters in alphabetical order are used to avoid confusion (Núñez y Pérez, 1983a; 1983b).

Textual citations (entirely copied text) that contain 40 or fewer words will be placed in quotation marks and will include, in addition to the author(s) name and year of publication, the page number(s). For example, (Núñez, 1982: 126); Núñez (1982), found that "The placebo effect disappeared when..." (p.126).

When using corporate authors such as institutes or ministries or organizations among others, acronyms must be spelled out the first time they are cited in the text. Example: according to reports provided by the Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2015).... Only the acronym will be cited subsequently.

Legal material texts are cited as follows: The Mexican constitution (2008), in its 27 article, establishes that "The property of land and water comprised within the national territory boundaries originally corresponds to the Nation"...

Interview notes, letters or email messages must be cited as follows: (L., Fuentes-García, crab processor, Personal communication, June 12, 2015).

No references or notes should be included as footnotes. No theses, manuals, book notes or any other hard to find material should be cited.

References

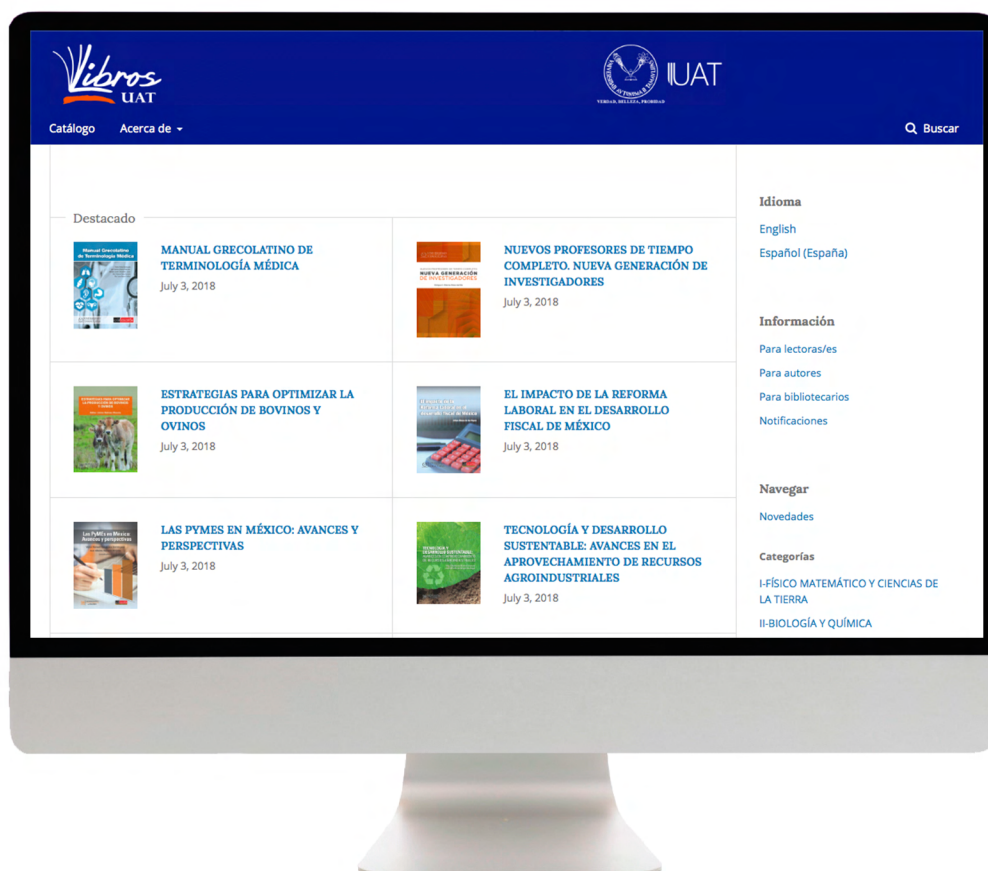
A list of all the references used in the text must be provided at the end of the manuscript in alphabetical order following the APA format, with the following specifications:

For more information, please consult the journal portal at : <http://www.revis-taciencia.uat.edumx>

La **UAT** invita a SUS profesores e investigadores a difundir SUS libros académicos a través del portal **<http://libros.uat.edu.mx>**

Ventajas

- Visibilidad internacional
- Descargable en PDF
- Compartir en redes sociales
- Incrementan las citas
- Posibilidad de colaboraciones
- Invitaciones a eventos académicos



Catálogo

Navegar 183 títulos

Destacado  MANUAL GRECOLATINO DE TERMINOLOGÍA MÉDICA July 3, 2018	 NUEVOS PROFESORES DE TIEMPO COMPLETO. NUEVA GENERACIÓN DE INVESTIGADORES July 3, 2018
 ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE BOVINOS Y OVINOS July 3, 2018	 PALACIO MUNICIPAL DE TAMPICO: Un proyecto ejecutivo con enfoque July 3, 2018
 EL IMPACTO DE LA REFORMA LABORAL EN EL DESARROLLO FISCAL DE MÉXICO July 3, 2018	 LAS PYMES EN MÉXICO: AVANCES Y PERSPECTIVAS July 3, 2018
 TECNOLOGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE: AVANCES EN EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS AGROINDUSTRIALES July 3, 2018	 LAS REFORMAS ESTRUCTURALES DEL GOBIERNO FEDERAL MEXICANO EN PERSPECTIVA July 3, 2018
 APROVECHAMIENTO DE LA JAIBA AZUL: (Callinectes sapidus) en la Laguna Madre de Tamaulipas May 29, 2018	 Armando A. Nutricio.: El juego de la nutrición May 29, 2018
 SOCIEDAD RURAL Y MIGRACIÓN EN ESPAÑA May 29, 2018	 NUEVAS PERSPECTIVAS SOBRE INOCUIDAD ALIMENTARIA May 29, 2018

Revista arbitrada e indexada en bases de datos internacionales



THOMSON REUTERS



Envía tus colaboraciones científicas a:

cienciauat@uat.edu.mx