

CienciaUAT



VERDAD, BELLEZA, PROGRESO

UAT

Registro ISSN 2007-7521



**Modelo de inclusión
y equidad basado en
experiencias de
universitarios con
discapacidad**

▶ **116**

VOLUMEN 16

**NÚMERO 1 JUL-DIC
2021**



**TIC para reducir el
desperdicio de frutas y
verduras**

▶ **178**

▶ **62**

**Relación entre la adicción
a las redes sociales
y la reprobación escolar
en estudiantes universitarios**

"Inflorescencia y raíz micorrizada *Jatropha gossypifolia*"

Imagen de Víctor Abraham Vargas Vázquez

Riqueza de especies de hongos micorrízicos asociados a plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México

Species richness of mycorrhizal fungi associated with plants from the Euphorbiaceae family in the Altas Cumbres Protected Area, Tamaulipas, Mexico

Víctor Abraham Vargas-Vázquez¹, Ninfa Isabel Sanchez-Rangel^{1,2}, Laura Verónica Hernández-Cuevas³, Gonzalo Guevara-Guerrero^{4*}

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son importantes para el desarrollo y supervivencia de las plantas. Esto ha motivado el análisis del uso de algunas especies de HMA de uso comercial como biofertilizantes de cultivos a nivel nacional. En Tamaulipas, el conocimiento acerca de la diversidad de HMA es escaso. El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia e identidad taxonómica de hongos micorrízicos arbusculares asociados a la familia Euphorbiaceae (*sensu lato*) en el Área Natural Protegida Altas Cumbres. Las esporas fueron obtenidas a través de propágulos extraídos de plantas trampa de diferentes especies, cultivadas en suelo y raíces de la zona de estudio. El estatus micorrízico se determinó mediante la técnica de tinción de Phillips y Hayman y la identificación de HMA, a través de la extracción de esporas por el método de tamizado húmedo con centrifugación con sacarosa, y su caracterización morfológica. Todas las raíces mostraron estructuras típicas de los HMA, evidenciando la presencia de esta asociación en los 74 taxones de euforbiáceas. Se registró una riqueza de 9 especies de HMA ubicadas dentro de 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes, siendo *Glomus* (Familia Glomeraceae) el género con mayor riqueza específica. Se detectó la presencia de los géneros *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* por primera vez en Tamaulipas. Los resultados denotan lo ampliamente distribuidos que se encuentran los HMA en las plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres y la necesidad e importancia de continuar con investigaciones sobre las micorrizas arbusculares.

PALABRAS CLAVE: endomicorrizas, riqueza de especies, Glomeromycota, Euphorbiaceae.

ABSTRACT

The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important for the development and survival of plants. This has motivated the analysis of the use of some AMF species with commercial use as crop biofertilizers at the national level. In Tamaulipas, knowledge of AMF diversity is scarce. The objective of this work was to determine the presence and taxonomic identity of AMF associated with the Euphorbiaceae family (*sensu lato*) in the Altas Cumbres Protected Area. The spores were obtained through propagules extracted from trap plants of different species grown in the soil and roots of the area under study. The mycorrhizal status was determined by the Phillips and Hayman staining technique and the identification of AMF through the extraction of spores by the wet sieving method with sucrose centrifugation and their morphological characterization. All the roots showed typical AMF structures, evidencing the presence of this association in the 74 euphorbiaceae taxa. A richness of 9 AMF species located within 6 genera, 4 families and 3 orders were recorded, with *Glomus* (Glomeraceae family) being the genus with the highest specific richness. The presence of the genera *Entrophospora*, *Funneliformis* and *Rhizophagus* was detected for the first time in Tamaulipas. The results denote how widely distributed AMF are found in plants of the Euphorbiaceae family in the Altas Cumbres Protected Area, highlighting the need to continue with investigations on arbuscular mycorrhizae.

KEYWORDS: endomycorrhizal, species richness, Glomeromycota, Euphorbiaceae.

*Correspondencia: guevaragg@hotmail.com/ Fecha de recepción: 20 de enero de 2021/ Fecha de aceptación: 23 de abril de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹ Ecological Research Azcatl, Tampico, Tamaulipas, México. ² Centro Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicio 024, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ³ Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Laboratorio de Biología Molecular, Tlaxcala, Tlaxcala, México. ⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, División de Estudios de Posgrado e Investigación, boulevard Emilio Portes Gil núm. 1301, col. Enrique Cárdenas González, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87010.

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son uno de los grupos de microorganismos más importantes para el desarrollo y sobrevivencia de las plantas (Ferlian y col., 2018). Esta asociación es la principal vía de obtención de nutrientes del suelo, como nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio, fósforo y agua. Asimismo, actúan como una barrera física que impide la pérdida de agua y el ingreso de patógenos (Noda, 2009). Las micorrizas se clasifican en 7 diferentes tipos, sin embargo, las endomicorrizas o micorrizas arbusculares son las más frecuentes y abundantes en algunos ecosistemas (Kumar y col., 2015; Barman y col., 2016; Brundrett y Tedersoo, 2018). Los HMA se caracterizan por el desarrollo de estructuras fúngicas al interior de las células del córtex de la raíz denominadas arbusculos, especializadas en el intercambio de nutrientes y en la formación de estructuras de almacenamiento conocidas como vesículas en algunas especies de HMA (Oehl y col., 2011). Los HMA pertenecen exclusivamente al phylum Glomeromycota (Schüßler y col., 2001; Oehl y col., 2011), el cual se caracteriza por su micelio cenocítico (carente de septos), ausencia de reproducción sexual (Schüßler y col., 2001) y distribución cosmopolita (Sturmer y col., 2018), además de ser simbioses obligados de organismos fotosintéticos (Schüßler y col., 2001). La mayoría de las especies de plantas, exceptuando las acuáticas estrictas y algunas familias de plantas terrestres (Chimal-Sánchez y col., 2016), han sido documentadas como formadoras de HMA. Debido a su importancia ecológica (Ferlian y col., 2018) y sus múltiples aplicaciones en el sector agropecuario (Rodríguez y Sanders, 2014; Oliveira y col., 2016) desde hace varias décadas los HMA han generado gran interés en la investigación científica.

El phylum Glomeromycota se ha mantenido con pocas variaciones evolutivas desde su origen en el periodo Ordovícico debido a la eficiencia en sus adaptaciones (Davison y col., 2015). Por ello, posiblemente la diversidad de especies a nivel mundial es menor que la de otros grupos de hongos (Davison y col., 2015),

limitándose aproximadamente a poco más de 300 especies (Crossay y col., 2017; Álvarez-Lopezello y col., 2018) repartidas en 29 géneros, 14 familias, 5 órdenes y 3 clases (Oehl y col., 2011). En México se han registrado 105 especies de HMA, principalmente en zonas áridas, semiáridas y tropicales (Chimal-Sánchez y col., 2016; Álvarez-Lopezello y col., 2018; 2019), sin embargo, la representatividad geográfica de ecosistemas y de grupos de plantas aún es escasa, considerando la gran diversidad biológica del país (Chimal-Sánchez y col., 2016; Álvarez-Lopezello y col., 2019). Por ello, los trabajos relacionados con la diversidad de HMA son indispensables en México, principalmente en los grupos de plantas más diversos y dominantes en los ecosistemas, como es el caso de la familia Euphorbiaceae, la cual se aprecia como la sexta más diversa de Angiospermas a nivel mundial, después de Orchidaceae, Asteraceae, Fabaceae, Poaceae y Rubiaceae (Steinmann, 2002; Villaseñor, 2016). Su riqueza específica va desde las 6 600 especies en *sensu stricto* (ThePlantList, 2020), hasta las 8 700 en *sensu lato* (Webster, 1994; Steinmann y Ramírez-Amezcuca, 2016).

En la actualidad, Euphorbiaceae *sensu lato* (Webster, 1994) es considerada como 5 familias distintas (Euphorbiaceae *sensu stricto*, Phyllanthaceae, Pandaceae, Picrodendraceae y Putranjivaceae) englobadas dentro del orden Malpighiales (Steinmann y Ramírez-Amezcuca, 2016). Este grupo de plantas, bajo ambos criterios de clasificación, posee una gran variedad de formas de vida y una distribución cosmopolita tanto geográfica como a nivel de ecosistemas, siendo con frecuencia al menos una especie de dicha familia co-dominante dentro de las comunidades (Steinmann, 2002). Además, Euphorbiaceae es sumamente importante a nivel económico, ya que muchas especies se cultivan para su uso medicinal, industrial, alimenticio y ornamental (Steinmann, 2002). Por todo ello, a nivel mundial la familia Euphorbiaceae ha sido utilizada como modelo biológico en el estudio de las micorrizas tanto con fines ecológicos como económicos (Ramanankierana y col., 2007; Callejas-Ruiz y col., 2009; Díaz-Her-

nández y col., 2013). Partiendo de que esta familia representa uno de los principales componentes de los ecosistemas por su diversidad y abundancia, así como la derrama económica que genera en algunas regiones (Steinmann, 2002), precisar las asociaciones que determinan su resiliencia, como las micorrizas, es indispensable para su conservación (Liu y col., 2010). Sin embargo, las asociaciones micorrízicas de dicha familia en el estado de Tamaulipas se desconocen por completo, ya que las especies regionales no han sido objeto de estudio.

El conocimiento de las micorrizas en Tamaulipas se limitó por mucho tiempo a la diversidad e inoculación de macromicetos ectomicorrízicos (García-Jiménez y col., 2014), muchos de ellos de hábitos hipogeos (Guevara y col., 2013). Actualmente las observaciones sobre las micorrizas han girado su atención a la aplicación de los HMA comerciales para favorecer el crecimiento, fructificación y resistencia a las sequías en los principales cultivos del estado, como la col (Díaz-Franco y col., 2017), el sorgo (Díaz-Franco y col., 2016a; Díaz-Franco y col., 2016b; Díaz-Franco y col., 2019), el maíz, la soya y el algodón (Díaz-Franco y col., 2019), aunque han ignorado la diversidad de especies de HMA nativos. Por otra parte, existen pequeñas contribuciones sobre diferentes HMA asociados al maguey tequilero (Almaguer-Sierra y col., 2004) y algunas especies de cactáceas del altiplano tamaulipeco (Guevara-Guerrero y col., 2011). Así mismo, se han desarrollado algunas tesis respecto al tema, si bien aún no han sido publicadas (Guevara-Guerrero y col., 2011; 2014). La gama de especies de HMA de Tamaulipas se desconoce en un gran porcentaje, incluyendo a los sitios prioritarios de conservación como lo es el Área Natural Protegida Altas Cumbres (ANPAC), localizada en la zona centro de Tamaulipas en una sección de la Sierra Madre Oriental, caracterizada por una alta diversidad de plantas vasculares (1 164 especies), ecosistemas y ambientes (García-Morales y col., 2014). Esas características hacen del ANPAC un sitio óptimo para la exploración de los HMA, siendo el presente análisis el primero al grupo Glome-

romycota en la región de la Sierra Madre Oriental tamaulipeco.

El objetivo de este trabajo fue identificar en el Área Natural Protegida Altas Cumbres el estatus micorrízico, el tipo de micorriza y las especies de hongos micorrízicos arbusculares asociados a las raíces y al área rizosférica de plantas de la familia Euphorbiaceae (*sensu lato*).

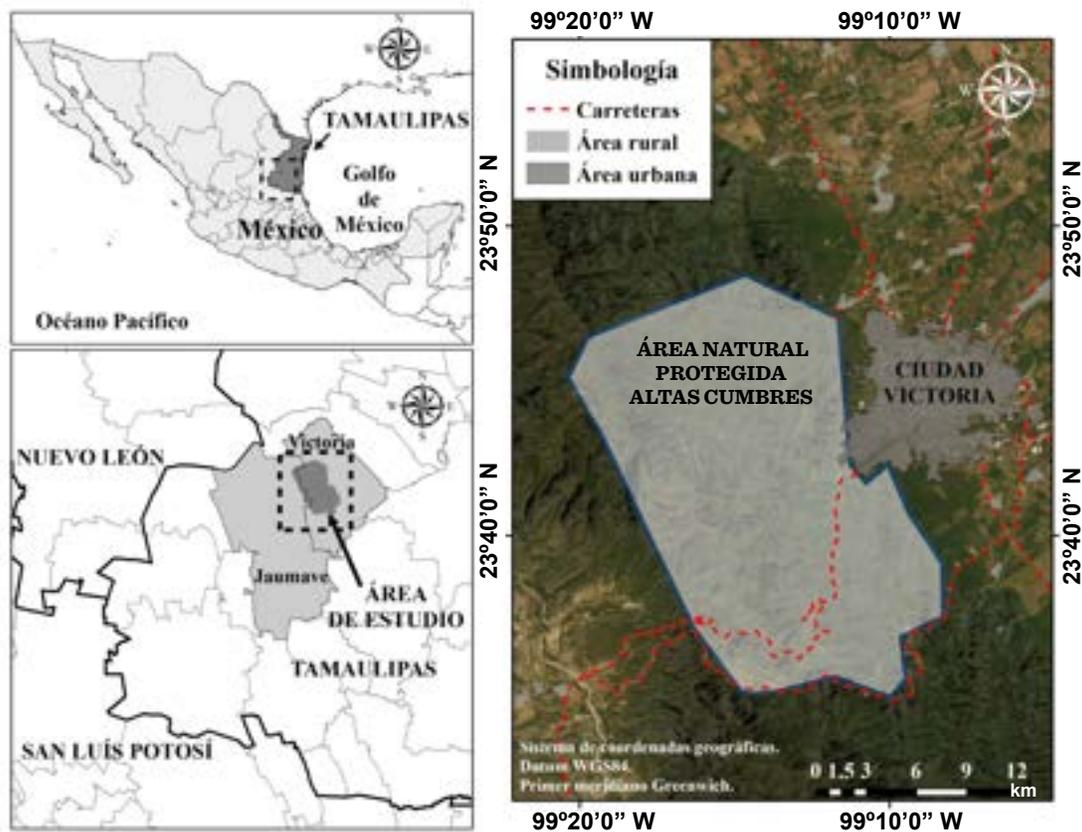
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ANPAC, decretada como tal el 19 de noviembre de 1997, con una superficie total de 31 251.23 ha, se localiza en los municipios de Jaumave y Victoria (Figura 1) dentro de la región de la Sierra Madre Oriental de la zona centro del estado de Tamaulipas, noreste de México, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020). Su topografía es diversa debido a la presencia de la Sierra Madre Oriental, y va desde zonas de lomas y lomeríos hasta altas montañas y profundos cañones, con un rango de elevación de 350 msnm a 2 200 msnm, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013). De igual manera, sus suelos son variados, siendo los principales: litosoles, vertisoles pélicos salinos, regosoles éutricos, así como rendzinas petrocálcica y pedregosa (Batjes y col., 2020). Los climas son semicálido templado subhúmedo ((A)C(w1) y (A)C(w0)), cálido subhúmedo (Aw1) y semiárido templado (BS1hw) (Cuervo-Robayo y col., 2019). Los tipos de vegetación donde se realizaron los muestreos abarcan matorral submontano, matorral desértico micrófilo, matorral espinoso tamaulipeco, selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, vegetación secundaria, bosque de pino, bosque ripario y áreas de cultivo (García-Morales y col., 2014).

Muestreo

Se realizó previamente un inventario florístico de las especies de plantas pertenecientes a la familia Euphorbiaceae considerando un muestreo aleatorio estratificado. Para ello, primeramente se generaron sobre un mapa temático



■ **Figura 1.** Ubicación del área de estudio (Área Natural Protegida Altas Cumbres).
 Figure 1. Study area location (Altas Cumbres Protected Area).

puntos al azar dentro del área de estudio, seleccionando los cuatro con mayor acceso para cada combinación de variables, con base en los estratos elevacionales (cada 200 msnm, desde los 350 msnm hasta los 2 200 msnm) y los 11 tipos de vegetación (INEGI, 2013; García-Morales y col., 2014). Este proceso fue realizado con el *software* de sistema de información geográfica (ArcGIS, por sus siglas en inglés: arc geographic information system) versión 10.6 (ESRI®, 2018). Las visitas se efectuaron en el periodo comprendido de septiembre de 2012 a octubre de 2013, con un total de 24 salidas y 200 puntos de colecta, donde los individuos de las especies de euforbiáceas fueron ubicados en un radio de 5 m, obteniendo una muestra de material botánico, raíces y suelo del área rizosférica de un ejemplar de cada especie. Se hizo presencia en los sitios una vez en cada estación del año, durante el periodo de evaluación, con la finalidad considerar el efec-

to de la estacionalidad en la composición florística y con ello asegurar la representatividad de todas las especies locales de euforbiáceas. Para cada especie encontrada se seleccionó un único individuo, del cual solo se tomó una única muestra por parcela circular, independientemente de que se hayan encontrado la misma especie en otras parcelas. Esto último considerando tener repeticiones, ya que no es completamente probable encontrar micorrizas en todas las raíces, por ello, deben revisarse la mayor cantidad de raíces posibles para poder aceptar o descartar la presencia de micorrizas en una especie. En la mayoría de estas parcelas solo se encontró una especie (y por eso solo se tomó una porción de un ejemplar), aunque en algunas parcelas llegaron a encontrarse hasta un máximo de 5 especies (y por ende se tomaron 5 porciones). Por la naturaleza de estas especies, el número de individuos analizados para cada especie fue muy con-

trastante entre ellas. Un ejemplo de especies encontradas en diversas parcelas estudiadas fueron *Croton ciliatoglandulifer* (la más abundante, frecuente y ampliamente distribuida) con 31 muestras, *Croton cortesianus* con 24, *Euphorbia hirta* con 15, *Euphorbia graminea* con 13, *Phyllanthus carolinensis* y *Cnidioscolus multilobus* con 10 cada una y *Euphorbia dentata* con 7 muestras. Estas 7 especies representaron 110 muestras, es decir el 27.5 % del total. En contraste, *Euphorbia subpeltata* y *Euphorbia macropus* fueron algunas de las especies de las cuales en todo el estudio (incluso hasta la fecha) solo se lograron encontrar un solo ejemplar.

El suelo utilizado en los análisis fue extraído del cepellón formado por las raíces con apoyo de una cuchara para jardín GTS-SH (Truper®, México, D.F.), cuidando de tomar solo el perteneciente a la rizósfera, considerando un radio de 15 cm a partir del centro de la raíz y una profundidad también de 15 cm. Las raíces se tomaron directamente de la planta con tijeras y una pala, evitando que se mezclaran con raíces de otras plantas. Ambas muestras se depositaron en bolsas de papel estraza. El material botánico fue procesado y conservado a través del método clásico de prensado y herborizado (Lot y Chiang, 1986), para su posterior identificación y corroboración taxonómica. Enseguida fue depositado en el herbario del Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT).

Estatus micorrízico

La determinación del estatus micorrízico se efectuó mediante la búsqueda de estructuras fúngicas (micelio cenocítico, vesículas y arbusculos) en el córtex de las raíces, teñidas por el método de Phillips y Hayman (1970). Para ello se utilizaron las raíces finas (de aproximadamente 2 mm de diámetro), revisando un total de 400 muestras, las cuales se limpiaron con agua corriente, se colocaron en cápsulas de tinción de tejidos, se aclararon (10 % de KOH y 5 % de H₂O₂, en baño María por 1 h) y se acidificaron con 1 % de HCl por 30 min. Posteriormente se tiñeron con azul tripano

(0.05 %) (Brundrett y col., 1996). Con esta técnica, las células de la raíz se aclaran, coloreando de azul intenso las células de los HMA (Castillo-Agüero y col., 2003). Las raíces teñidas fueron montadas en laminillas, en fragmentos de 2 cm de longitud, y analizadas a través de un microscopio modelo Stemi 2000-C (Carl Zeiss®, Gottingen, Alemania) y una cámara modelo PowerShot G5 (Canon®, Tokio, Japón). Este proceso se realizó en cada una de las muestras en el laboratorio inmediatamente después de cada visita a campo para evitar daños al material biológico.

Propagación, aislamiento e identificación de esporas

Las muestras de suelo y las de raíces restantes del proceso de tinción se mantuvieron en refrigeración a 4 °C, para preservarlas durante el muestreo en campo. Al culminar la fase de campo, tanto el suelo como las raíces secundarias mencionadas fueron utilizadas para propagar las esporas a través de cultivos con plantas trampa mixtas. Las propagaciones se hicieron en recipientes de unicel de 1 L, utilizando como sustrato un compuesto de arena, grava delgada, tierra para maceta comercial y tezontle pulverizado en proporción 1: 1: 1: 1, el cual fue esterilizado previamente a la inoculación para evitar la contaminación por microorganismos antagonistas. Se le agregaron, para cada especie de euforbiácea, 50 g de la muestra de suelo y algunas raíces secundarias. Las especies trampa fueron sorgo (*Sorghum vulgare*), guajillo (*Leucaena pulverulenta*), hierba de la golondrina (*E. hirta*), lecheroncilla (*E. graminea*), catalina (*E. heterophylla*) y polocote (*Helianthus annuus*), seleccionadas por ser micotróficas. Los cultivos se mantuvieron en el invernadero del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Victoria, con un riego de aproximadamente 350 mL cada 72 h durante 10 meses

Después de 10 meses de desarrollo de las plantas trampa, las muestras fueron procesadas mediante decantación (tamices de 1 mm, 100 µm y 44 µm de apertura) y centrifugado en una solución de sacarosa al 44 % y un lavado con apo-

yo de una membrana filtro de 22 μm . Las esporas fueron aisladas del material procesado de manera manual utilizando una pipeta Pasteur modificada y un microscopio estereoscópico modelo SMZ-2b (Nikon®, Tokio, Japón), y posteriormente montadas en un portaobjetos con 0.1 mL de reactivo de PVLG-Melzer (1:1) (Castillo-Agüero y col., 2003; Hernández-Cuevas y col., 2003; Martínez y col., 2009; Álvarez-Lopezello y col., 2019).

La identidad taxonómica de las especies se realizó con base en bibliografía taxonómica especializada en Glomeromycota (Schenck y Pérez, 1990; Hernández-Cuevas y col., 2003), por comparación y contrastación de las características morfológicas de las esporas, observadas con un microscopio óptico con contraste de interferencia de Nomarski modelo Optiphot-2 (Nikon®, Tokio, Japón). Las esporas identificadas fueron fotografiadas con una cámara Toupcam modelo UCMOS02000KPB y el *software* ToupView x86 (ToupTek®, Hangzhou, China) adaptada a un microscopio óptico modelo IRO-NC-58 (Iroscope®, Ciudad de México, México). Las preparaciones permanentes se depositaron en la colección del Herbario Micológico “José Castillo Tovar” del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Victoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los muestreos florísticos permitieron registrar 400 individuos pertenecientes a 74 taxones, dentro de 17 géneros y 62 especies, además de una subespecie y 11 morfotipos sin identificar (Tabla 1), los cuales representan el 45 % de las especies de la familia, estimadas para el estado de Tamaulipas (Villaseñor, 2016). Las raíces de todos los ejemplares presentaron micelio cenocítico al interior de las células del córtex. También se observaron algunas células con arbusculos y con menor frecuencia, vesículas (Figura 2). Estos indicios demuestran que las especies de euforbiáceas del ANPAC presentan HMA, los cuales han sido registrados anteriormente entre las especies de euforbiáceas sudamericanas de los géneros *Acalypha* (Urcelay y Battistella, 2007), *Adelia*, *Croton* (Ramos-Montaña y col., 2010), *Ricinus* (Zhang y

col., 2018; Beltrame y col., 2019), *Ditaxis*, *Drypetes*, *Euphorbia*, *Jatropha*, *Manihot* y *Phyllanthus* (Wang y Qiu, 2006; Santhoshkumar y col., 2018; Su-Kyi y Tin, 2019).

En México se han explorado las relaciones micorrízicas en plantas de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) debido a su importancia ornamental (Callejas-Ruiz y col., 2009). En específico, algunas de las euforbiáceas encontradas en esta investigación han sido reportadas con presencia de HMA en otras regiones geográficas. En los matorrales xerófilos y selvas bajas del Valle de México y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se han localizado HMA asociados a *C. ciliatoglandulifer*, *E. dentata* y *R. communis* (Carmargo-Ricalde y col., 2003; Castillo-Agüero y col., 2003; Wang y Qiu, 2006). Esta última especie también cuenta con registros de micorrización en cultivos de Israel y China (Zhang y col., 2018; Beltrame y col., 2019). Mientras que en las sabanas del sureste de China se han identificado asociadas con HMA a las especies *E. heterophylla* y *E. hirta* (Tao y col., 2003). En el caso específico de *E. hirta*, su asociación con los HMA ha sido documentada en cultivos de suelo arenoso de Senegal (Thoen, 1986), en ambientes antropizados de China (Muthukumar y col., 2003) y entre vegetación secundaria y dentro de instalaciones nucleares de la India (Ganesan y col., 1991, Thangaswamy y col., 2004). Por su parte, *Phyllanthus niruri* ha sido ubicada como una especie asociada a los HMA en algunos cultivos de Israel (Thangaswamy y col., 2004) y en condiciones antropizadas de regiones aledañas a una central nuclear de la India (Wang y Qiu, 2006). También se destaca la presencia de HMA asociados a *Euphorbia hypericifolia*, ambos como colonizadores primarios, en rocas volcánicas en islas de Hawaii (Gemma y Koske, 1990). Aunque la familia Euphorbiaceae se encuentra asociada con mayor frecuencia a HMA, también pueden presentarse otros tipos de micorrizas en este grupo. Tal es el caso de la especie africana *Uapaca bojeri*, que desarrolla ectomicorrizas con especies de macromicetos de la división Basidiomycota, de los géneros *Amanita*, *Boletus*, *Cantharellus*, *Lactarius* y *Leccinum* (Ramanankierana y col., 2007).

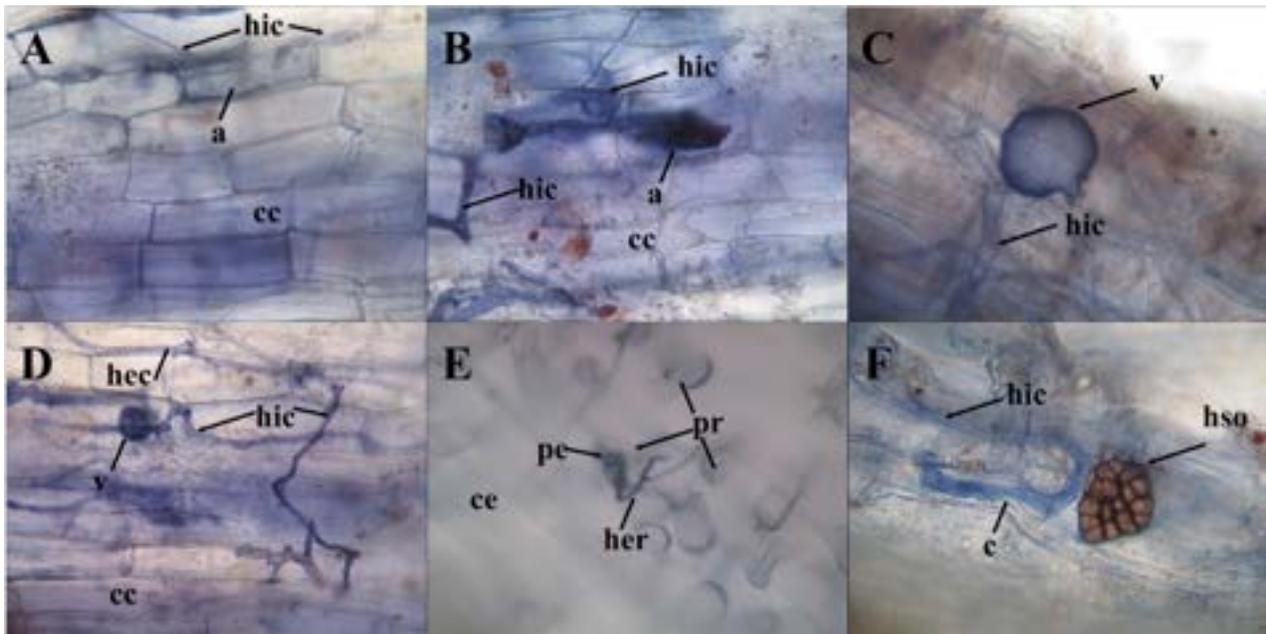
■ Tabla 1. Especies y estatus micorrízico (EM) de la familia Euphorbiaceae *sensu lato* (incluyendo la familia en la que se ubican en la clasificación actual) del Área Natural Protegida Altas Cumbres. Table 1. Species and mycorrhizal status (EM) of the Euphorbiaceae family *sensu lato* (including the family in which they are located in the current classification) from the Altas Cumbres Protected Area.

Espece	Familia	Estatus micorrízico
<i>Acalypha lindheimeri</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha monostachya</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha ostryifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha polystachya</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha schiedeana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 1	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 2	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 3	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 4	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 5	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 6	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 7	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 8	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 9	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia barbinervis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia oaxacana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia vaseyi</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Bernardia mexicana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Bernardia myricifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Cnidoscolus multilobus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Cnidoscolus rotundifolius</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton argenteus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton capitatus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton ciliatoglandulifer</i>	Euphorbiaceae	W; CR
<i>Croton cortesianus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton humilis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton hypoleucus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton incanus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton lobatus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton niveus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton pottsii</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton</i> sp. 1	Euphorbiaceae	V
<i>Croton</i> sp. 2	Euphorbiaceae	V
<i>Dalechampia scandens</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Ditaxis humilis</i>	Euphorbiaceae	V

Continúa...

<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia berteriana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia colletioides</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia cuphosperma</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia cyatophora</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia dentata</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia furcillata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia graminea</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Euphorbiaceae	W
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	T, W, C
<i>Euphorbia hormorrhiza</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia hypericifolia</i>	Euphorbiaceae	W
<i>Euphorbia hyssopifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia indivisa</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia macropus</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia nutans</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia ophthalmica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia serpens</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia subpeltata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia velleriflora</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia villifera</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia villifera</i> var. <i>nuda</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Jatropha dioica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Jatropha gossypifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Manihot pringlei</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	W, C
<i>Sebastiania pavonia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia brevispica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia glanduligera</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia nepetifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia ramosa</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia volubilis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Andrachne phyllanthoides</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Astrocasia neurocarpa</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Phyllanthus carolinensis</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Phyllanthus niruri</i>	Phyllanthaceae	W
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Drypetes laeterifolia</i>	Putranjivaceae	V

Estatus micorrízico: V = Reportado solo en este trabajo; T = Thoen (1986); CR = Camargo-Ricalde y col. (2003); C = Castillo-Argüero y col. (2003); W = Wang y Qiu (2006).



■ Figura 2. Imágenes (40x) de algunas de las raíces micorrizadas de euforbiáceas. A) *Euphorbia cyathophora*; B) *Croton ciliatoglandulifer*; C) *E. heterophylla*; D) *E. hirta*; E) *Ricinus communis*; F) *Phyllanthus niruri*. a = arbúsculo; hic = hifa intracelular; cc = célula del córtex; v = vesícula; hec = hifa extracelular; ce = célula epidérmica; pe = poro epidérmico; pr = pelo radicular; her = hifa extrarradical; c = codón; hso = hongo septado oscuro.

Figure 2. Images (40x) of some Euphorbiaceae mycorrhizal roots. A) *Euphorbia cyathophora*; B) *Croton ciliatoglandulifer*; C) *E. heterophylla*; D) *E. hirta*; E) *Ricinus communis*; F) *Phyllanthus niruri*. a = arbuscule; hic = intracellular hypha; cc = cortex cell; v = vesicle; hec = extracellular hypha; ce = epidermal cell; ep = epidermal pore; pr = root hair; her = extraradical hypha; c = codon; hso = dark septate fungi.

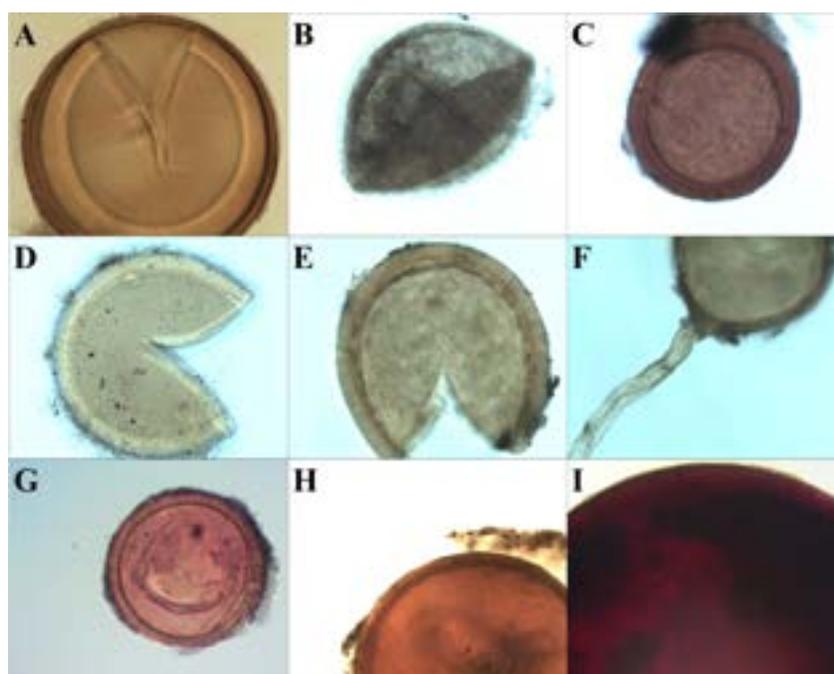
De igual manera, las asociaciones ectomicorrizógenas han sido localizadas en otras 4 especies del género *Uapaca*, así como en *Ampelea xiphoclada* (Wang y Qiu, 2006). Sin embargo, en el presente estudio no se registraron características externas representativas de las ectomicorrizas, como la formación de un manto en las raicillas o la red de Harting, lo que sugiere que, al menos en los sitios de muestreo, en las especies estudiadas, la asociación MA tiene una mayor representatividad que las ectomicorrizas.

Entre las esporas extraídas de las muestras de suelo rizosférico se detectaron 9 taxones, distribuidos en 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes (Tabla 2). Sin embargo, las condiciones de deterioro de algunas esporas durante la realización del análisis microscópico fueron des-

favorables, por ello 4 taxones únicamente pudieron ser determinados hasta nivel de género (Figura 3). El género con mayor riqueza específica fue *Glomus*, con 4 especies; el resto (*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Funneliformis*, *Rhizophagus* y *Gigaspora*) estuvieron representados por solo 1 especie. Los géneros *Glomus* y *Gigaspora* habían sido situados como especies asociadas a la familia Euphorbiaceae en México (Callejas-Ruiz y col., 2009) y en Senegal (Thoen, 1986), destacando esta última localidad debido a que coincide con el registro micorrizico para *E. hirta*. Mientras que *Entrophospora infrequens* y *Funneliformis geosporus* han sido reportadas en la Reserva del Pedregal de San Ángel, asociadas a plantas xerófilas. Para México, *E. infrequens* también se ha localizado asociada a otras especies de plantas, como aguacate (Raya-Montaña y col., 2019), ca-

■ Tabla 2. Especies de hongos micorrízicos arbusculares encontrados en la rizósfera de las especies de plantas de la familia Euphorbiaceae del Área Natural Protegida Altas Cumbres.
 Table 2. Arbuscular mycorrhizal fungi species found in the rhizosphere of the plant species of the Euphorbiaceae family from the Altas Cumbres Protected Area.

Espece	Familia	Orden
<i>Acaulospora</i> sp.	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora</i> aff. <i>decipiens</i>	Gigasporaceae	Gigasporales
<i>Entrophospora infrequens</i>	Entrophosporaceae	Glomerales
<i>Funneliformis geosporus</i>	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus spinuliferum</i>	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 1	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 2	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 3	Glomeraceae	Glomerales
<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	Glomeraceae	Glomerales



■ Figura 3. Riqueza de especies de hongos micorrízicos arbusculares encontradas en el estudio: a) *Acaulospora* sp.; b) *Entrophospora infrequens*; c) *Funneliformis geosporus*; d) *Glomus spinuliferum*; e) *Glomus* sp. 1; f) *Glomus* sp. 2; g) *Glomus* sp. 3; h) *Rhizophagus fasciculatus*; i) *Gigaspora* aff. *decipiens* (20x).

Figure 3. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi found in this study: a) *Acaulospora* sp.; b) *Entrophospora infrequens*; c) *Funneliformis geosporus*; d) *Glomus spinuliferum*; e) *Glomus* sp. 1; f) *Glomus* sp. 2; g) *Glomus* sp. 3; h) *Rhizophagus fasciculatus*; i) *Gigaspora* aff. *decipiens* (20x).

fé (Bertolini y col., 2020) y maguey mezcalero (Trinidad-Cruz y col., 2017). Para Tamaulipas, los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora*

han sido reconocidos como presentes de manera natural en cultivos de *Agave tequilana* (Almaguer-Sierra y col., 2004) y de cítricos (Gar-

za-Ocañas y col., 2005). Por otra parte, los géneros *Glomus*, *Scutellospora* y *Sclerocystis* fueron anteriormente ubicados en Tamaulipas asociados naturalmente a especies de cactáceas nativas de la región del altiplano tamaulipeco (Guevara-Guerrero y col., 2011). Cabe mencionar que los HMA de Tamaulipas reportados previamente se detectaron a nivel de género. Esta es la primera investigación donde se lograron identificaciones a nivel de especie. Aunque los géneros *Scutellospora* y *Sclerocystis* no fueron encontrados en este trabajo, la presencia de *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* se registra por primera vez en Tamaulipas, dando así una riqueza total de 8 géneros para el estado hasta el momento.

Por su adaptación a las condiciones climatológicas, las especies de HMA nativas documentadas en la presente investigación tienen un uso potencial como biofertilizantes. El desarrollo en los cultivos de maguey mezcalero, cítricos y maíz ha sido estimulado experimentalmente a través de la síntesis micorrízica con especies de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* (Almaguer-Sierra y col., 2004; Garza-Ocañas y col., 2005; Hoang-Yen y col., 2018) y *Entrophospora* (Trinidad-Cruz y col., 2017). Esta última también ha demostrado ser una opción para los cultivos de aguacate (Raya-Montaño y col., 2019) y café (Bertolini y col., 2020). Por otra parte, *F. geosporus* es una especie cuyo efecto positivo en el desarrollo de los cultivos de trigo ha sido comprobado (Abu-Elsaoud y col., 2017). Finalmente, el uso de *Rhizophagus fasciculatus* podría ser explorado, dado que otra especie del mismo género, *R. intraradices*, ha sido utilizada favorablemente para estimular el desarrollo de plantas de soya (Díaz-Franco y col., 2015), sorgo (Díaz-Franco y col., 2016b) y de col (Díaz-Franco y col., 2017) en cultivos experimentales de Tamaulipas. Estas posibles aplicaciones denotan la importancia del conocimiento de la composición y de la riqueza específica local como plataformas para el desarrollo de futuras investigaciones.

El método de cultivo trampa, utilizado en este estudio, tuvo resultados desfavorables debido a

la baja densidad y diversidad de esporas encontradas. Quizás el aislamiento de esporas directamente del suelo de la rizósfera sea una mejor opción, puesto que requiere menor inversión de tiempo y registra mejores resultados (Castillo-Agüero y col., 2003; Hernández-Cuevas y col., 2003; 2008). Por ello, se recomienda que en nuevas investigaciones en la región se utilice el método de aislamiento directo, considerando el tiempo máximo de almacenamiento que pueden tener las muestras (Hernández-Cuevas y col., 2003).

Los resultados del presente trabajo exponen una panorámica de los HMA en condiciones naturales, así como de la diversidad de la división Glomeromycota en una de las familias vegetales mejor representadas en el estado de Tamaulipas. Sin embargo, aún falta profundizar en el conocimiento del papel ecológico y el potencial biotecnológico de las especies nativas tamaulipecas. Por ello, el incremento de estudios similares a éste resulta necesario.

CONCLUSIONES

Los 74 taxones de la familia Euphorbiaceae *sensu lato* analizados presentaron micorrizas arbusculares, lo que indica que esta familia tiene una estrecha asociación con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), al menos dentro del Área Natural Protegida Altas Cumbres (ANPAC). Las especies de hongos identificadas pertenecen a nueve taxones del grupo phylum Glomeromycota, distribuidos en 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes. De estos, la presencia de los géneros *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* se reporta por primera vez para el estado de Tamaulipas. La información obtenida podía ser útil en la elaboración de biofertilizantes para los cultivos de la región noroeste de México. Esta aportación remarca la necesidad de continuar con estudios sobre micorrizas en general y en particular con las especies de HMA, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas en las plantas de la familia Euphorbiaceae del ANPAC, tal y como se comprobó en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Abu-Elsaoud, A. M., Nafady, N. A., and Abdel-Azeem, A. M. (2017). Arbuscular mycorrhizal strategy for zinc mycoremediation and diminished translocation to shoots and grains in wheat. *Plos One*. 12(11): e0188220.
- Almaguer-Sierra, P., Garza-Ocañas, F., Guevara-Guerrero, G. y López-Mendoza, F. J. (2004). Estatus micorrícico de *Agave tequilana* Weber (Agave tequilero). *Tecnointelecto*. 1(1): 16-18.
- Álvarez-Lopezello, J., del-Castillo, R. F., Robles, C., and Hernández-Cuevas, L. V. (2019). Spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in human-modified neotropical ecosystems. *Ecological Research*. 34(3): 394-405.
- Álvarez-Lopezello, J., Hernández-Cuevas, L. V., Del-Castillo, R. F., and Robles, C. (2018). Second world record of *Glomus trufe-mii* (Glomeromycota: Fungi), an arbuscular mycorrhizal fungus from a Mexican savanna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89(1): 298-300.
- Barman, J., Samanta, A., Saha, B., Datta, S., and Vidyaniketan, B. (2016). Mycorrhiza The Oldest Association Between Plant and Fungi. *Resonance Journal of Science Education*. 21(1): 1093-1104.
- Batjes, N. H., Ribeiro, E., and van-Oostrum, A. (2020). Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019), Wageningen, The Netherlands, in *International Soil Reference and Information Centre: world soil information*. [En línea]. Disponible en: <https://www.soilgrids.org/index.html>. Fecha de consulta: 25 de diciembre de 2020.
- Beltrame, S. R., Cruz, R. M., Lourenço, E., and Alberton, O. (2019). Meta-analysis of ‘Lamiaceae’ and ‘Euphorbiaceae’ medicinal plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi. *Australian Journal of Crop Science*. 13(4): 588-598.
- Bertolini, V., Montano, N. M., Salazar-Ortuño, B. L., Chimal-Sánchez, E. y Várela, L. (2020). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacana, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*. 127: e1602.
- Brundrett, M., Beegher, N., Dell, B., Groove, T., and Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Canberra: Australian Center for International Agricultural Research. 374 Pp.
- Brundrett, M. C. and Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytol*. 220(4): 1108-1115.
- Callejas-Ruiz, B. A., Castillo-González, A. M., Colinas-León, M. T., González-Chávez, M. D. C., Pineda-Pineda, J. y Valdez-Aguilar, L. A. (2009). Sustratos y hongos micorrícicos arbusculares en la producción de nochebuena. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 15(1): 57-66.
- Camargo-Ricalde, S. L., Dhillion, S. S., and Jimenez-Gonzalez, C. (2003). Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semiarid Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico. *Mycorrhiza*. 13(2): 77-83.
- Castillo-Agüero, S., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. y Hernández-Cuevas, L. V. (2003). Ecología de los hongos micorrizógenos arbusculares de un matorral xerófilo sobre sustrato volcánico en el Valle de México. En F. J. Álvarez-Sánchez (Ed.), *Ecología de Micorrizas Arbusculares y Restauración del Ecosistema* (pp. 73-101). México, D. F.: Facultad de Ciencias, UNAM.
- Chimal-Sánchez, E., Montano, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., García-Sánchez, R. y Hernández-Cuevas, L. V. (2016). Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(1): 242-247.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2020). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México 2020, en *Geportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta: 25 de diciembre de 2020.
- Crossay, T., Antheaume, C., Redecker, D., Bon, L., Chedri, N., Richert, C., ..., and Amir, H. (2017). New method for the identification of arbuscular mycorrhizal fungi by proteomic-based biotyping of spores using MALDI-TOF-MS. *Scientific Reports*. 7(1): 1-16.
- Cuervo-Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez-Albores, M. A., Meneses-Mosquera, A. K., Téllez-Valdés, O. y Martínez-Meyer, E. (2019). Bioclimas, periodo: 2000 (1980-2009). [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2020.
- Davison, J., Moora, M., Öpik, M., Adholeya, A., Ainsaar, L., Bâ, A., ..., and Zobel, M. (2015). Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. *Science*. 349(6251): 970-973.
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., and Ortiz-Chávez, F. E. (2017). Use of organic fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi in the production of cabbage. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*. XVI(1): 15-21.
- Díaz-Franco, A., Castillo-Tovar, H., Ortiz-Chávez, F. E. y Espinosa-Ramírez, M. (2019). Tratamiento químico combinado de semilla y su influencia en el crecimiento de plántulas de sorgo, maíz, soya y algodón. *Acta Universitaria*. 29(2): e2026.
- Díaz-Franco, A., Ortiz-Chávez, F. E., and Espinosa-Ramírez, M. (2016a). Mycorrhizal symbiosis and growth of sorghum plants irrigated with saline water. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*. XV(1): 55-65.
- Díaz-Franco, A., Espinosa-Ramírez, M. y Ortiz-Chávez, F. E. (2016b). Promoción de biomasa y contenido de azúcares en sorgo dulce mediante abonos orgánicos y micorriza arbuscular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 32(3): 353-360.

Díaz-Franco, A., Magallanes-Estala, A., Aguado-Santacruz, A. y Hernández-Mendoza, J. L. (2015). Respuesta de la soya a inoculantes microbianos en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(2): 227-238.

Díaz-Hernández, B. G., Aguirre-Medina, J. F. y Díaz-Fuentes, V. H. (2013). Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 599-610.

ESRI, Environmental System Research Institute (2018). n'Query® Advisor Copyright (Versión 10.6) [Software de computo]. West Redlands, California, Estados Unidos: Environmental System Research Institute.

Ferlian, O., Biere, A., Bonfante, P., Buscot, F., Eisenhauer, N., Fernandez, I., ..., and Martinez-Medina, A. (2018). Growing Research Networks on Mycorrhizae for Mutual Benefits. *Trends in Plant Science*. 23(11): 975-984.

Ganesan, V., Ragupathy, S. Parthipan, B., Rajini-Rani, D. B., and Mahadevan, A. (1991). Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coal, lignite, and calcite mine spoils of India. *Biology and Fertility of Soils*. 12(2): 131-136.

García-Jiménez, J., Valenzuela, R., Raymundo, T., García-Morales, L. J., Guevara-Guerrero, G., Garza-Ocañas, F., ... y Ruiz-Cancino, E. (2014). Macrohongos asociados a encinares (*Quercus* spp.) en algunas localidades del estado de Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 103-140). Cd. Victoria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

García-Morales, L. J., Estrada-Castillón, Á. E., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Cantú-Ayala, C., Jurado-Ybarra, E. y Vargas-Vázquez, V. A. (2014). Florística y Vegetación del Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 15-74). Cd. Victoria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

Garza-Ocañas, F., Guevara-Guerrero, G., Hernández-Jasso, R. E. y Zúñiga-Medina, A. G. (2005). Hongos micorrizógenos asociados a cítricos. *Tecnointelecto*. 2(1): 8-10.

Gemma, J. N. and Koske, R. E. (1990). Mycorrhizae in recent volcanic substrates in Hawaii. *American Journal of Botany*. 77(9): 1193-1200.

Guevara, G., Bonito, G. y Cázares, E. (2013). Revisión del género Tuber (Tuberaceae: Pezizales) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 39-49.

Guevara-Guerrero, G., Cázares-González, E., Bonito, G., Healy, R. A., García-Jiménez, J., Garza-Ocañas, F., ... y Trappe, J. (2014). Hongos hipogeos de Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 87-102). Cd. Victo-

ria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

Guevara-Guerrero, G., García-Jiménez, J., Almaguer-Sierra, P. y Martínez-Ávalos, J. G. (2011). Determinación del estatus micorrizógeno de once especies de cactáceas del municipio de Tula, Tamaulipas, México. *Tecnointelecto*. 8(1): 10-15.

Hernández-Cuevas, L. V., Castillo-Agüero, S., Guadarrama-Chávez, P., Martínez-Orea, Y., Romero-Romero, M. A. y Sánchez-Gallén, I. (2003). *Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel*. México, D. F.: Facultad de Ciencias, UNAM. 84 Pp.

Hernández-Cuevas, L. V., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. y Ramos-Zapata, J. A. (2008). Micorriza Arbuscular: Colonización intrarradical y extracción de esporas del suelo. En F. J. Álvarez-Sánchez y A. Monroy-Ata (Eds.), *Técnicas de Estudio de las Asociaciones Micorrizicas y sus Implicaciones en la Restauración* (pp. 1-16). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Hoang-Yen, L. T., Hong-Anh, L., Dam-Linh, M. T., and Van-Hop, D. (2018). Isolation of mycorrhizal fungi from maize cultivation soil and the production of biofertilizer from these fungi. *Tap Chi khoa Hoc*. 34(3): 1-9.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), México, D. F., en *Continuo de Elevaciones Mexicano*. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2019.

Kumar, A., Dames, J. F., Gupta, A., Sharma, A., Gilbert, J. A., and Ahmad, P. (2015). Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: a biotechnological perspective. *Critical Reviews in Biotechnology*. 35(4): 461-474.

Liu, H., Luo, Y., and Liu, H. (2010). Studies of mycorrhizal fungi of Chinese Orchids and their role in orchid conservation in China—A review. *The Botanical Review*. 76(2): 241-262.

Lot, A. y Chiang, F. (1986). *Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. México, D. F.: Consejo Nacional de Flora de México A. C. 342 Pp.

Martínez, J. L., Hernández-Cuevas, L. V., Santiago-Martínez, M. G., Guerra-De-La-Cruz, V. y Legorreta-Padilla, F. D. J. (2009). *Manual para la propagación y micorrización de plantas arbustivas silvestres para la restauración de suelos degradados*. Tlaxcala, México: Universidad Autónoma de Tlaxcala. 23 Pp.

Muthukumar, T., Sha, L., Yang, X., Cao, M., Tang, J., and Zheng, Z. (2003). Mycorrhiza of plants in different vegetation types in tropical ecosystems of Xishuangbanna, southwest China. *Mycorrhiza*. 13(6): 289-297.

Noda, Y. (2009). Las micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*. 32(2): 1-10.

- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., and Alves-Da-Silva, G. (2011). Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA fungus*. 2(2): 191-199.
- Oliveira, R. S., Ma, Y., Rocha, I., Carvalho, M. F., Vosátka, M., and Freitas, H. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi are an alternative to the application of chemical fertilizer in the production of the medicinal and aromatic plant *Coriandrum sativum* L. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 79(7): 320-328.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55(1): 158-161.
- Ramanankierana, N., Ducouso, M., Rakotoarimanga, N., Prin, Y., Thioulouse, J., Randrianjohany, E., ..., and Duponnois, R. (2007). Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas of *Uapaca bojeri* L. (Euphorbiaceae): sporophore diversity, patterns of root colonization, and effects on seedling growth and soil microbial catalytic diversity. *Mycorrhiza*. 17(3): 195-208.
- Ramos-Montaña, C., Posada-Almanza, R. H., Ronderos-Figueroa, M. A. y Penagos-Cañón, G. A. (2010). Relación entre asociación micorrícica con el estado fitosanitario en el arbolado urbano de Bogotá D. C., Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 15(1): 245-258.
- Raya-Montaña, Y. A., Apáez-Barrios, P., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Paz-Da Silva, R. y Lara-Chávez, M. B. N. (2019). Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(23): 267-276.
- Rodríguez, A. and Sanders, I. R. (2014). The role of community and population ecology in applying mycorrhizal fungi for improved food security. *The ISME Journal*. 9(5): 1053-1061.
- Santhoshkumar, S., Nagarajan, N., and Santhoshkumar, S. (2018). Studies on the arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in the plant species of Kondranghi hills, Dindugul district, Tamil Nadu, India. *Kongunadu Research Journal*. 5(2): 34-40.
- Schenck, N. C. y Pérez, Y. (1990). *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. Gainesville, USA: Synergistic Publications. 286 Pp.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., and Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*. 105(12): 1413-1421.
- Steinmann, V. W. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botánica Mexicana*. 61(1): 61-93.
- Steinmann, V. W. y Ramírez-Amezcuca, Y. (2016). Euforbiáceas (Euphorbiaceae). En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *La Biodiversidad en Colima. Estudio de Estado* (pp. 238-243). México, D.F.: CONABIO.
- Sturmer, S. L., Bever, J. D., and Morton, J. B. (2018). Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza*. 28(7): 587-603.
- Su-Kyi, H. and Tin, K. (2019). Multiplication of mycorrhiza inoculum from five weed plants and its effect on *Lactuca sativa* L. *Journal of the Myanmar Academy of Arts and Science*. 17(4): 675-688.
- Tao, L., Jianping, L., and Zhiwei, Z. (2003). Arbuscular mycorrhizas in a valley-type savanna in southwest China. *Mycorrhiza*. 14(5): 323-327.
- Thangaswamy, S., Padmanabhan, C., Yu-Jin, J., and Kim, H. (2004). Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi and their effect on plant growth in endangered vegetations. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 14(4): 885-890.
- Theplantlist, Royal Botanic Gardens Kew, Missouri Botanical Garden (2020). The Plant List V1.1, Reino Unido, en *The Plant List*. [En línea]. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/>. Fecha de consulta: 21 de diciembre de 2020.
- Thoen, D. (1986). First observations on the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in hydrophytes, hygrophytes, halophytes and xerophytes in the region of lake Retba (Cap-Vert, Senegal) during the dry season. *Mémoires de la Société Royale de Botanique de Belgique*. 9(1): 60-66.
- Trinidad-Cruz, J. R., Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández-Cuevas, L. V., López-Pérez, L. y Rincón-Enríquez, G. (2017). Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Micología*. 45: 13-25.
- Urcelay, C. y Battistella, R. (2007). Colonización micorrícica en distintos tipos funcionales de plantas herbáceas del centro de Argentina. *Ecología Austral*. 17(2): 179-188.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3): 559-902.
- Wang, B. and Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*. 16(5): 299-363.
- Webster, G. L. (1994). Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 81(1): 3-32.
- Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C., and Guo, J. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*. 117: 13-19.



Imágenes de Luis Antonio Vázquez Ochoa

Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina

Hydrological model, water quality and climate change: support for the integral management of the Soto la Marina river watershed

Luis Antonio Vázquez-Ochoa¹, Alfonso Correa-Sandoval^{1*}, Rocío Del Carmen Vargas-Castilleja², María De La Luz Vázquez-Sauceda³, Jorge Homero Rodríguez-Castro¹

RESUMEN

La gestión del recurso hídrico es prioritaria en la agenda de la Organización de las Naciones Unidas. Tres vectores son esenciales, cantidad, calidad y escenarios del cambio climático en el recurso hídrico. En la región centro de Tamaulipas, México, destaca la red fluvial de la cuenca del río Soto la Marina, con los ríos Corona, Purificación y Pílon, como principales tributarios. En esta región existen importantes volúmenes de aguas residuales y otros vertimientos que ponen en riesgo las condiciones del sistema hídrico, particularmente de la presa Vicente Guerrero. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo hidrológico de disponibilidad y calidad del agua de la cuenca del río Soto la Marina (CRSLM) que considere el cambio climático mediante la regionalización de dos modelos de circulación global, los cuales son los más cercanos a la latitud en que se encuentra la cuenca (GFDL-CM3 y HAGDGEM2-ES), usando dos vías de concentración representativas (RCP): 4.5 y 8.5 con proyección al año 2100, con el propósito de analizar el comportamiento de la cuenca, a efecto de simular la vulnerabilidad hídrica. Se evaluó la calidad del sistema espacio-temporal: avenidas y sequías, mediante la determinación de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto, además de temperatura, en 15 sitios de la cuenca del río Soto la Marina, con modelado del abatimiento del oxígeno disuelto. Se elaboraron vectores de hidrología, monitoreo y calidad del agua. Las concentraciones de los contaminantes valorados presentaron un incremento en la presa Vicente Guerrero, aunque su comportamiento estacional fue más sensible en estiaje que en avenidas. En las simulaciones con el modelo construido WEAP con escenarios de cambio climático se predijeron resultados más conservadores en periodo de estiaje que en época de avenidas, siendo el RCP 4.5 W/m² para el modelo el GFDL-CM3 la proyección más adversa.

PALABRAS CLAVE: WEAP, hidrología, calidad del agua, cambio climático, modelación.

ABSTRACT

The management of water resources is a priority on the agenda of the United Nations. Three vectors are essential, quantity, quality, and climate change scenarios in water resources. In the central region of Tamaulipas, México, the fluvial network of the Soto la Marina river watershed stands out, with the Corona, Purificación and Pílon rivers as the main tributaries. In this region there are significant volumes of wastewater and other discharges that put the conditions of the water system at risk, particularly of the Vicente Guerrero dam. The objective of this work was to develop a hydrological model of water availability and quality of the Soto la Marina river watershed (CRSLM) that considers climate change through the regionalization of two global circulation models, which are the closest to the latitude in which the watershed is located (GFDL-CM3 and HAGDGEM2-ES), using two representative concentration routes (RCP): 4.5 and 8.5 with projection to the year 2100, with the purpose of analyzing the watershed behavior, in order to simulate water vulnerability. The quality of the spatial-temporal system was evaluated: floods and droughts, by determining the biochemical oxygen demand, chemical oxygen and dissolved oxygen demand, as well as temperature, in 15 sites of the Soto la Marina river watershed, with modeling of the abatement of dissolved oxygen. Vectors for hydrology, monitoring and water quality were developed. The concentrations of the measured pollutants showed an increase in the Vicente Guerrero dam, although their seasonal behavior was more sensitive in low water levels than in floods. In the simulations with the WEAP built model with climate change scenarios, more conservative results were predicted in the dry season than in the rainfall season, with the RCP 4.5 W / m² for the GFDL-CM3 model being the most adverse projection.

KEYWORDS: WEAP, hydrology, water quality, climate change, modeling.

*Correspondencia: alf_correas@hotmail.com/ Fecha de recepción: 27 de noviembre de 2020/ Fecha de aceptación: 14 de julio de 2021 / Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Boulevard Emilio Portes Gil núm.1301 Poniente, Apartado Postal 175, Ciudad Victoria, Tamaulipas, C. P. 87010. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, Tampico, Tamaulipas, México. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

La planeación del recurso hídrico respecto a la disponibilidad es un tema prioritario debido a que se puede comprometer el suministro de agua de una región o país, limitando con ello el desarrollo social y económico de la población, considerando que el estrés hídrico de los últimos años se ha elevado de forma crítica en las cuencas hidrográficas por el incremento de la demanda constante de agua (Moncada y col., 2020). Aunado a lo anterior, se hallan los cambios sociales como el crecimiento de la población, urbanización, y las políticas basadas en enfoque económico sin medida del consumo del recurso hídrico, ni conciencia del deterioro de la calidad del agua, misma que se vierte en los mismos cuerpos sobre los que se demanda nuevamente el recurso de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2020), además de la incertidumbre del cambio climático, lo que está provocando cambios sustanciales en la demanda y la conservación del agua. Las condiciones mencionadas afectarán todos los sectores productivos y sociales, los cuales se encuentran estrechamente relacionados con el equilibrio de los ecosistemas, requiriendo una comprensión holística y definición de las interdependencias existentes (Schull y col., 2020).

La disponibilidad del agua de los cuerpos superficiales del norte de México es limitada por su condición de aridez y bajas precipitaciones, acentuada por efecto del cambio climático, por lo que para proponer estrategias que minimicen estos efectos, es fundamental evaluar sus implicaciones y entender perfectamente su evolución logrando estructurar un plan de manejo exitoso (Silva-Hidalgo y col., 2017).

Los ríos, presas y lagos del mundo han sido usados como los grandes vertederos de residuos provenientes de las actividades industriales, agropecuarias y domésticas (Chapra, 1997). En México se estima que más del 52.7 % de las aguas residuales que se generan no llegan a recibir algún tratamiento previo a su disposición (Conagua, 2015). Existe notoria nece-

sidad de conjugar la gestión de los sistemas de recursos hidráulicos, donde la calidad del agua tiene gran importancia, ya que la mala calidad del agua afecta directamente a las personas que dependen de estas fuentes como su principal suministro, limitando aún más su acceso al agua (es decir, la disponibilidad de agua) y aumentando los riesgos para la salud relacionados con el agua, sin mencionar su calidad de vida en general (UNESCO, 2019). Sin embargo, para ello es ineludible unir las herramientas más competentes y de uso actualizado de simulación de parámetros como el oxígeno disuelto y la demanda de oxígeno, entre otros (Jingshui y col., 2017).

Haciendo énfasis en las cuencas hidrológicas de las costas mexicanas, es importante mencionar que estas representan un foco de atención especial debido a que la mayor parte de la población se concentra en estas zonas. En este caso el área de estudio resulta vulnerable, ya que se localiza en la planicie costera del estado de Tamaulipas y, por su actividad económica, depende de las condiciones climáticas en cuanto al rendimiento de producción (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2017). Por otro lado, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Semarnat, 2013) establece una visión a corto, mediano y largo plazo para mitigar sus efectos con enfoque en la sustentabilidad del agua, debido a que se deberán atender los recursos más vulnerables, así como desarrollar la infraestructura adecuada para reducirlos.

Como instrumentos para el fortalecimiento de la problemática descrita, existen herramientas informáticas mediante las cuales se desarrollan modelos para la simulación de diversos factores como la hidrología, calidad del agua y cambio climático, entre otros. Un *software* ampliamente usado a nivel mundial por su fiabilidad es el sistema de evaluación y planificación del agua (WEAP, por sus siglas inglés: water evaluation and planning system) (Jaramillo y col., 2016), que opera bajo el modelo de balance hídrico. Sus algoritmos permiten la planificación de recursos hídricos balanceando la disponibilidad de agua y la demanda, lo

cual ha permitido analizar los efectos de cambio climático en la disponibilidad del recurso en diferentes lugares del mundo tales como California, Sri Lanka, Grecia, Corea, Brasil, Norte de África, Perú al igual que en México, en donde existe una importante experiencia en la cuenca del río Soto la Marina perteneciente al estado de Tamaulipas (Hervis-Granda y col., 2017).

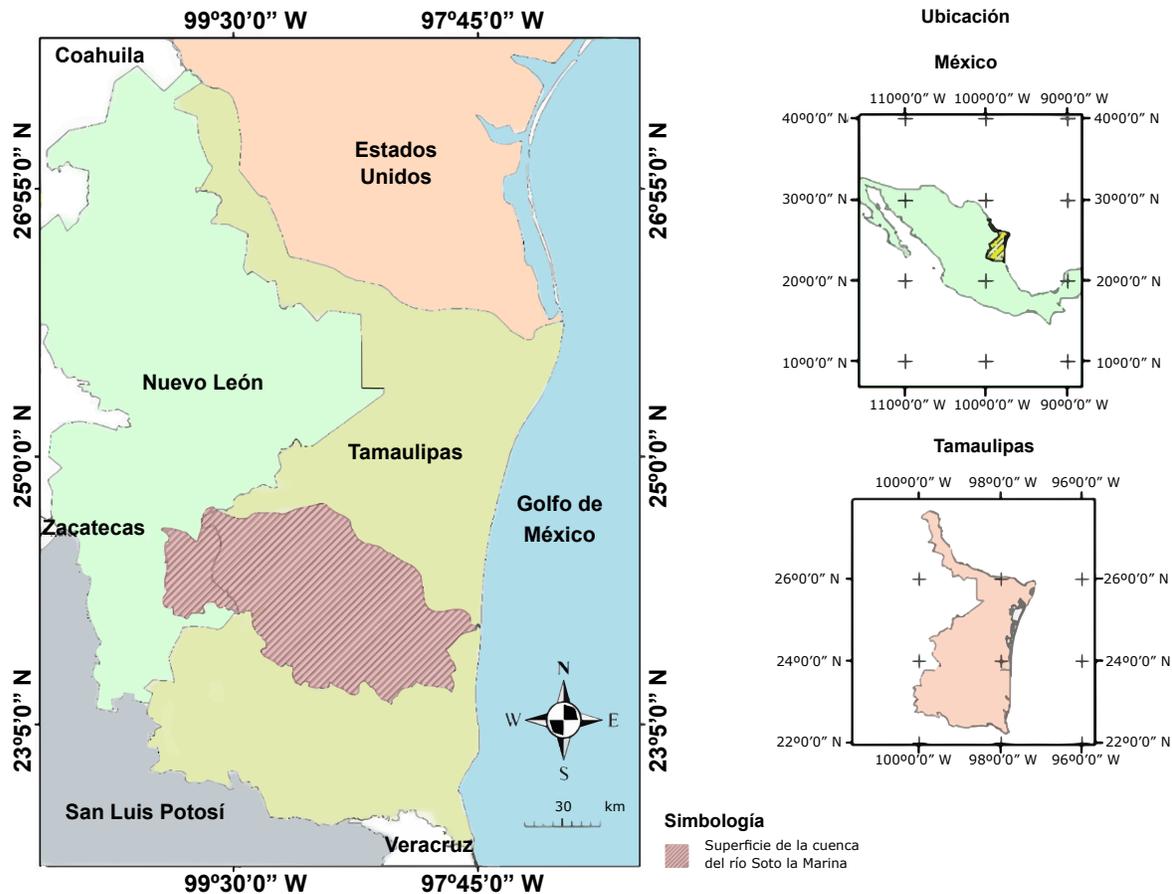
El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo hidrológico y de calidad del agua en la cuenca del río Soto la Marina que considere el cambio climático mediante la regionalización de dos modelos de circulación global, los cuales son los más cercanos a la latitud en que se encuentra la cuenca del río Soto la Marina (GFDL-CM3 y HAGDGEM2-ES), usando dos vías de concentración representativas

(RCP): 4.5 W/m² y 8.5 W/m², con una proyección al año 2100, con el propósito de conocer el comportamiento de la cuenca del río Soto la Marina a efecto de simular la vulnerabilidad respecto a la disponibilidad y calidad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del río Soto la Marina (CRSLM) (Figura 1) se localiza en la Región Hidrológica 25 (RH25) San Fernando-Soto la Marina, que nace en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental, donde confluyen los ríos Purificación y Corona. Fluye en dirección este, hacia el golfo de México y luego de cruzar la zona norte de la sierra de Tamaulipas, atraviesa el cañón de Boca de la Iglesia. En su curso superior el río Soto la Marina es llamado río Blanco y río Purificación, transitando con dirección oriente hasta



Fuente: Conagua, 2017.

■ Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Soto la Marina en el noreste de México.
Figure 1. Soto la Marina river watershed location in northeastern Mexico.

las inmediaciones de las llanuras costeras donde tributa el arroyo de Jiménez; siguiendo con dirección sur hacia la localidad de Soto la Marina donde se unen las aguas del arroyo las Palmas. La RH25 tiene un área de aportación de 56 928 km², por lo que la CRSLM representa el 37.2 % de la superficie total de la RH25, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, siendo sus principales componentes hidrográficos los señalados en la Tabla 1 (Conagua, 2017).

La cuenca del río Soto la Marina cubre una superficie territorial de 87.9 % dentro del estado de Tamaulipas (Figura 1) y 12.1 % dentro del estado de Nuevo León (Conagua, 2017).

En la cuenca del río Soto la Marina, el escurrimiento natural medio superficial es de 2 086 millones de m³ al año y la longitud del propio río Soto la Marina es de 416 km. La cuenca tiene una superficie de 21 185 km², de acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020).

Metodología

La validez y utilidad del desarrollo de este trabajo están en función de las condiciones del modelamiento y la elección de los sitios de muestreo. Se evaluó la evolución de la calidad del sistema espacio-temporal mediante la determinación analítica de 3 parámetros: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), en 15 sitios de la cuenca alta del río Soto la Marina, en períodos estacionales a partir de abril del 2018 y hasta febrero de 2019, utilizando para ello una

sonda multiparamétrica (marca Hanna modelo HI 9829, Estados Unidos de Norteamérica) y los métodos analíticos estándar.

Se desarrollaron los trabajos en vectores de hidrología, monitoreo y calidad del agua, así como regionalización de modelos globales de cambio climático con el propósito de valorar las condiciones de la cuenca. El primer paso fue estimar el escurrimiento natural de la cuenca alta del río Soto la Marina por el método del Servicio de Conservación del Suelo (SCS, por sus siglas en inglés: soil conservation service), ahora llamado Servicio de Conservación de Recursos Naturales, usado por el Gobierno de los Estados Unidos de América para valoraciones hidrológicas (US Department of Agriculture, 1972), a efecto de comparar los resultados con el procedimiento oficial descrito por la norma oficial mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 que establece el procedimiento para estimar la disponibilidad media anual de aguas superficiales a cargo de la Conagua.

Se requirió de una serie de actividades de campo, laboratorio y gabinete para conocer detalladamente bancos de datos de hidrometría y climatología, particularmente de las estaciones: Corona (23°56'30" N; 98°57'07" W), Padilla II (24°02'10" N; 98°53'30" W), Paso de Molina II (23°45'22" N; 98°44'22" W), Paso de Aura (23°38'30" N; 98°04'45" W) y Soto la Marina (23°57'48" N; 98°38'40" W), donde los escurrimientos que se presentan van desde los 309.97 m³/s registrados en la estación Soto la Marina durante el impacto de un fenómeno hidrometeorológico en septiembre de 2013, has-

■ **Tabla 1. Conformación de la cuenca del río Soto la Marina.**

Table 1. Soto la Marina river watershed conformation.

Fracción de la cuenca del río Soto la Marina (Superficies en km ²)		Componentes de la cuenca alta (Superficies en km ²)	
Cuenca baja	3 928.88	Río Pílon	1 508.20
Cuenca Media	7 265.68	Río Purificación	384.13
Cuenca Alta	6 482.67	Río Blanco	2 885.68
		Río Corona	1 704.66

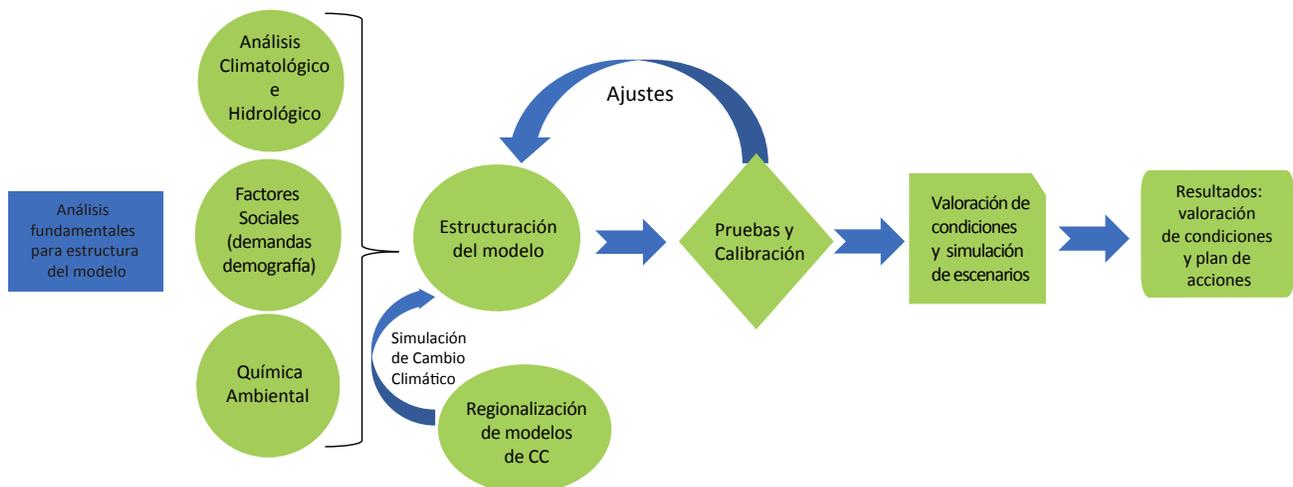
ta un nulo escurrimiento en temporada de estiaje en todas las corrientes; así como de su configuración, superficies de cada tramo que la constituye, población de cada municipio, índices de desarrollo poblacional, demandas de agua y demás información que se encuentra disponibles en sitios oficiales como el INEGI (2010); Consejo Nacional de Población (Conapo, 2015); Conagua (2019); Servicio Meteorológico Nacional (2019), entre otras instancias; información que se incorpora para alimentar la modelación de acuerdo con el diagrama metodológico que ilustra el proceso desarrollado (Figura 2).

Adicionalmente, para consolidar el modelo y realizar simulaciones de cambio climático de la CRSLM, se requirió fundamentalmente del *software* especializado en simulaciones de planeación integrada de recursos hídricos que incluye hidrología, calidad del agua, cambio climático y preservación de ecosistemas; conocido como (WEAP, por sus siglas en inglés: Water Evaluation and Planning System) versión 2019.2, WEAP ofrece una selección de tres métodos para simular procesos hidrológicos de la cuenca: un método de solo demanda de riego, un método de lluvia y escorrentía y un método de humedad del suelo (Sahukhal y Tri-Ratna, 2019).

Para la obtención de datos, las fuentes de información consultada para el desarrollo de este proyecto, como climatología, hidrometría, censos de población, suelos, vegetación y concesiones de agua fueron las siguientes:

- Superficies y límites geográficos de la cuenca para cada una de las 13 subcuencas en que se divide; como lo señala el acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos en la Subregión Hidrológica Río Soto La Marina de la Región Hidrológica número 25 San Fernando-Soto la Marina, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de julio de 2016.
- Banco climatológico del SMN, base de datos conocida como Proyecto Computación Climática (CLICOM, por sus siglas en inglés: CLImate COMputing Project) de la red de estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Soto la Marina en el periodo 1981 a 2010.
- Banco de datos de información hidrométrica de la Conagua (BANDAS), de las estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Soto la Marina en el periodo 1981 a 2010 que forman parte de la información técnicamente validada.

Conceptualización metodológica



■ **Figura 2. Diagrama metodológico.**
 Figure 2. Methodological diagram.

- Base de datos de WorldClim – Global Climate en una rejilla sobre la cuenca alta del río Soto la Marina, que de acuerdo con Hijmans y col. (2005), la climatología base del WorldClim está organizada en superficies de clima interpolado para todo el globo con una resolución muy aceptable de 0.5 °C. Las variables que incluye son temperaturas media, máxima y mínima y precipitación, todas mensuales; del periodo 1950 a 2010.

- Banco de información de los resultados de la Red Nacional de Monitoreo de la Conagua, específicamente de estaciones de calidad de aguas superficiales disponibles en la cuenca alta del río Soto la Marina.

- Bancos de información y cartografía escala 1:50 000 de INEGI y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) sobre características edafológicas: tipos de suelo y vegetación en la CRSLM.

- Banco de información del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de la Conagua, donde se establecen los volúmenes concesionados y de extracción por corriente por usos consuntivos: Público-Urbano, Servicios, Industrial, Agrícola, Pecuario y agua en bloque para los distritos y unidades de riego que operan en esta cuenca.

- Resultados del INEGI sobre los censos de población y vivienda de los años 2010 y el conteo 2015.

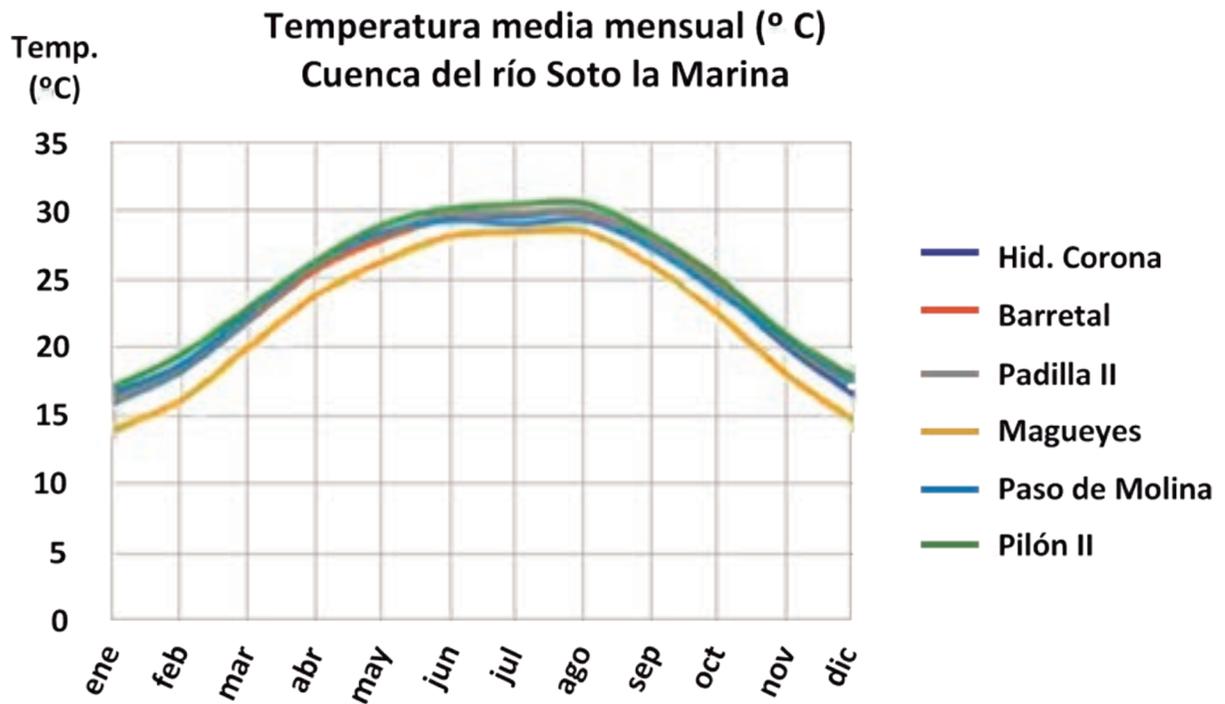
Estimación de los escurrimientos en la cuenca

Debido a que no existe un banco de mediciones hidrométricas con cobertura en toda la cuenca, se utilizó la técnica de estimación del escurrimiento natural por la metodología del Servicio de Conservación del Suelo (Lal y col., 2017), que es el procedimiento útil para este propósito, referenciado en el Manual Nacional de Ingeniería del SCS, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se realizó el análisis de los factores que determinan el escurrimiento, tales como:

precipitación, vegetación, evapotranspiración y tipo de suelo (US Department of Agriculture, 1972).

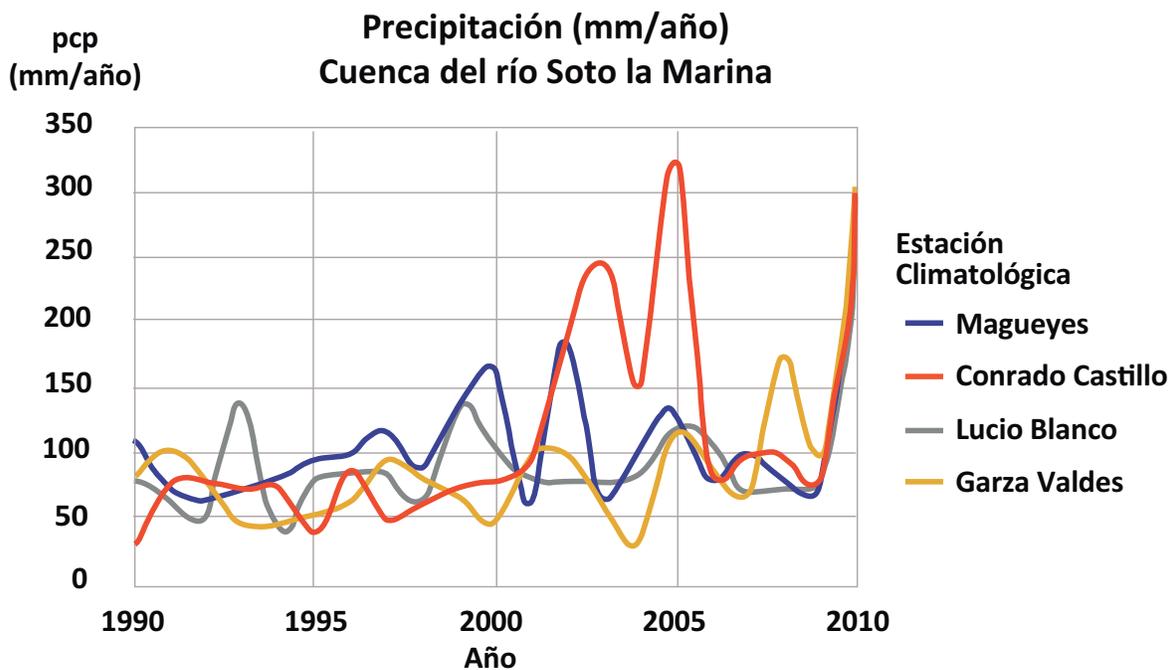
El análisis climatológico se llevó a cabo mediante la base de datos mundial (Global Climate) organizada en superficies de clima interpolado con resolución de 0.5 °C, información que se verificó con la proporcionada por el SMN de la Conagua, la base de datos CLICOM, en el periodo 1981 a 2010, donde se determina para cada subcuenca las temperaturas y precipitaciones medias mensuales; con resultados cercanos entre ambas fuentes de información. La Figura 3 muestra el comportamiento gráfico de la temperatura media en estaciones representativas del norte de la cuenca que oscilan entre los 14 °C y 32 °C, mientras que en la Figura 4 se observa una gran amplitud los datos de precipitación media mensual que varía desde los 40 mm/a hasta los 320 mm/a. Definidas, revisadas y analizadas las variables anteriores, se calculó el escurrimiento natural usando el método del SCS para estimar el gastomedio mensual.

Para este tipo de análisis hidrológico, se establece un estándar de clasificación de los suelos definidos en cuatro grupos, los cuales pueden ser A, B, C o D, donde el grupo A considera suelos de mínimo potencial de escurrimiento y el D con potencial de escurrimiento más alto. Para poder definir al suelo, su clasificación, se toma en cuenta su composición, su textura y la profundidad del nivel freático. El factor CN (número de curva que define la precipitación efectiva de una tormenta) se determinó en función de la velocidad de infiltración de la lluvia que puede ser rápida (en arenas) calificada como A (superior a 76 mm/h); o bien B (de 76 mm/h a 37 mm/h); C (menor de 37 mm/h a 13 mm/h) y hasta D, si se trata de arcillas de muy lenta infiltración (menor a 13 mm/h); y hasta una selección de 18 posibles clasificaciones de tipo de suelo. La construcción del modelo hidrológico conformó las variables: gasto o volumen de escurrimiento (aguas arriba), precipitación, evaporación, escurrimiento por cuenca propia, flujos de retorno, gastos de tri-



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

■ **Figura 3.** Temperatura media mensual en estaciones operadas por SMN (periodo 1981-2010).
Figure 3. Average monthly temperature in stations operated by SMN (1981-2010 period).



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 2019.

■ **Figura 4.** Precipitación registrada en la cuenca del río Soto la Marina en período 1981-2010 .
Figure 4. 1981-2010 Soto la Marina river basin precipitation records.

butarios y volumen comprometido (aguas abajo), volúmenes de extracción (usos del agua), evapotranspiración, caudal ecológico, volúmenes de exportación (salidas). Finalmente, la calibración del modelo se realizó manualmente a prueba y error, por comparación de mediciones de hidrometría directas de manera que se ajustaron los factores permisibles del modelo como capacidad del suelo, evapotranspiración, factor del suelo entre otros (Vieira y Solis, 2017).

Muestreos y análisis de calidad del agua

Debido a la escasez de información en calidad del agua y la modelación de ella en la cuenca alta del río Soto la Marina, se desarrollaron campañas de muestreo durante todo un año que se distribuyen en vectores espacio-temporal para cubrir los ríos tributarios: Corona, Purificación y Pílon, así como la presa Vicente Guerrero. Para la elección de los sitios de muestreo, se consideraron las condiciones del río a evaluar (Jingshui y col., 2017). Estos aspectos son los trabajos previos de reconocimiento de la zona; identificación de los usos de ríos, embalses y en general, de los cuerpos de agua superficiales; conocimiento de los flujos, interconectividad del sistema y aportaciones de descargas; reconocimiento de características de las descargas (contaminantes), para selección de los parámetros y técnica de preservación de las muestras y plan logístico de desarrollo de muestreos.

Una vez que se realizó el estudio de las zonas, se definió una red de sitios de muestreo de los principales cuerpos de agua de la CARSLM para la generación de información de calidad (Borges y col., 2017). Debido a información insuficiente, se realizaron muestreos dobles bimestrales (los meses de abril, junio, agosto, octubre y diciembre de 2018 y cerrando el ciclo de muestreo en febrero de 2019) con el propósito de cubrir una réplica de la condición de calidad del agua en su origen (sitios de referencia antes de descargas) hasta los sitios sujetos a estrés hídrico por vertimientos de aguas residuales, cubriendo prácticamente toda la CARSLM, determinando los parámetros DBO₅, DQO, OD y temperatura. En esta red de muestreo se seleccionaron 15 sitios (Figura 5) ubicados en

los ríos Corona, Purificación y Pílon, así como la presa Vicente Guerrero, donde se colectaron y analizaron durante un período anual las muestras superficiales (Tabla 2).

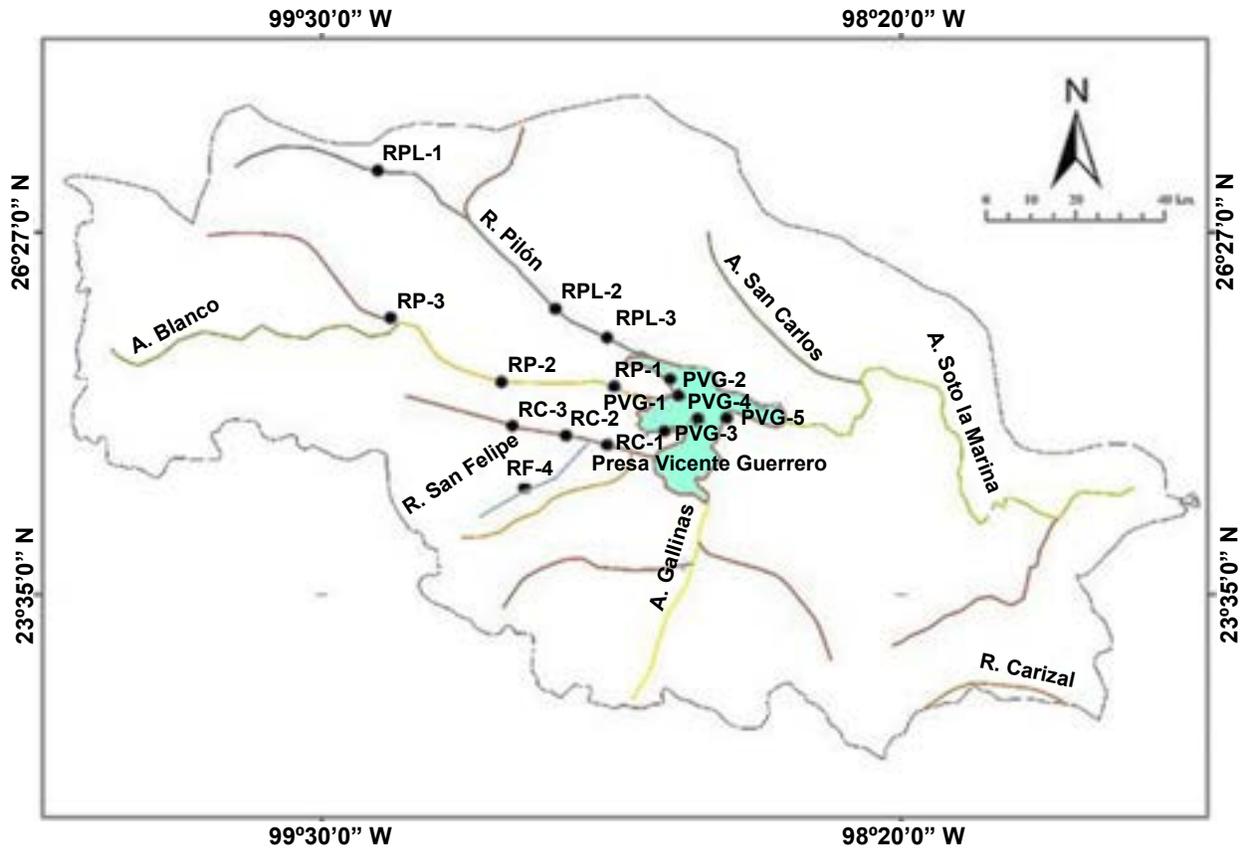
Análisis de calidad del agua

Los parámetros que se determinaron en el sistema, así como la vinculación con las normas oficiales en materia de calidad del agua fueron: pH (NMX-AA-008-SCFI-2016), temperatura (NMX-AA-007-SCFI-2013), DBO (NMX-AA-028-SCFI-2001), DQO (NMX-AA-030/1-SCFI-2011), oxígeno disuelto (NMX-AA-012-SCFI-2001); las técnicas analíticas están referenciadas en APHA-AWWA-WEF Standard Method to the Examination of Water and Wastewater 23 st edition (Aird y col., 2017).

El *software* WEAP en su versión educativa, incluye los módulos con reacciones conservativas, reacción DBO lenta y DBO rápida, sólidos suspendidos inorgánicos, oxígeno disuelto en sus conceptos de demanda, oxígeno de saturación, reaireación natural y forzada (Chapra y col., 2012), no obstante, solo se determinó el oxígeno disuelto convencional y la DBO₅ total en esta valoración, que son los métodos referenciados en la normativa nacional (citados en párrafo que antecede), está basada en los métodos estándar, que desde 1905 son las normas de referencia estandarizadas internacionalmente para desarrollar los análisis de calidad del agua.

Existen una gran variedad de modelos de calidad del agua, sin embargo, se aplica el modelo de dispersión unidimensional (Streeter y Phelps) que refiere la interrelación entre temperatura, volúmenes y concentraciones de OD y DBO (Chapra y col., 2012). Se aplica el modelo que relaciona la biooxidación de materia orgánica y consumo de OD, establecido en las siguientes funciones diferenciales: ecuación 1; ecuación 2 y ecuación 3.

Se puede apreciar de las ecuaciones 1, 2 y 3, que la función de la razón de cambio de la DBO (biooxidación) dependiente de la cinética, factores y características de la corriente que se observa en la ecuación 1:



■ Figura 5. Localización geográfica de los sitios de muestreo.
 Figure 5. Geographical location of the sampling sites.

■ Tabla 2. Denominación de las estaciones de muestreo de calidad del agua.
 Table 2. Designation of the water quality sampling stations.

Sitio de Muestreo		
Clave	Nombre	Descripción
RC-1	Río Corona - Final	A 2 460 m. aguas abajo del puente sobre carretera Victoria-Matamoros
RC-2	Río San Felipe - Tributario del RC	Sobre acceso al poblado Güémez
RC-3	Río Corona - Testigo Medio	Sobre puente de la carretera Victoria-Monterrey
RF-4	Río Corona - Testigo	Carretera Interejidal - Aguas arriba del ejido El Alamito
RP-1	Río Purificación - Final	Puente carretero poblado Nuevo Padilla
RP-2	Río Purificación - Medio	Sobre puente carretero del poblado El Barretal
RP-3	Río Purificación -Testigo	11 km antes del El Tomaseño. Por poblado y a 2 km aguas arriba del río
RPL-1	Río Pilon - Testigo	A 10 km al norte de Villagrán por la brecha a Garza Valdés
RPL-2	Río Pilon - Medio	Carretera La Soledad-San Carlos 15.73 km al norte (Camacho Viejo)

Continúa...

RPL-3	Río Pílon - Final	Carretera Victoria-Matamoros a 6.5 km al norte de Nuevo Padilla
PVG-1	Presa Vicente Guerrero-confluencia río Pílon	Acceso fluvial. Ubicación con apoyo de GPS
PVG-2	Presa Vicente Guerrero-confluencia río Purificación	Acceso fluvial. Ubicación con apoyo de GPS
PVG-3	Presa Vicente Guerrero-confluencia río Corona	Acceso fluvial. Ubicación con apoyo de GPS
PVG-4	Presa Vicente Guerrero-Centro	Acceso fluvial. Ubicación con apoyo de GPS
PVG-5	Presa Vicente Guerrero-Cortina	Acceso fluvial. Ubicación con apoyo de GPS

$$V \frac{dL}{dt} = -Kd VL - Ks VL = -Kr VL \dots \dots (Ec. 1)$$

donde “L” representa la variación de la concentración como DBO en el tiempo “t”, que depende del volumen del sistema “V” o flujo volumétrico (también conocido como gasto de la corriente), de las constantes de desoxigenación (Kd), saturación (Ks) y reoxigenación (Kr). La constante de desoxigenación Kd toma valores de entre 0.46 d hasta los 0.942 d, las mayores tasas de esta constante favorecen sobre estos ríos la biooxidación de la carga de DBO5 y el consecuente abatimiento y recuperación del OD (Jingshui y col., 2017).

Por otro lado, el fenómeno de degradación por oxidación biológica demanda un ejercicio de consumo de oxígeno que resulta crítico para algunas corrientes, dependiendo de sus condiciones, queda expresado en la ecuación 2:

$$V \frac{dO}{dt} = -Kd VL + Ka V(Os - O) \dots \dots (Ec. 2)$$

Esta función diferencial, al igual que la anterior, dependen de la variación del OD en el tiempo, que es una función de dichas constantes de transferencia de oxígeno y de la capacidad de saturación del OD. En esta función es importante destacar que el término (Os - O) refiere a un déficit de oxígeno.

Finalmente, se puede evaluar el déficit de oxígeno de la corriente en estudio considerando que $D = (Os - O)$, y en el caso particular de sus

condiciones iniciales, es decir cuando $t = to$, también: $L = Lo$ y $D = Do$, queda expresada la ecuación 3:

$$D = Do e^{-Kd t} + \frac{Kd Lo}{Ka - Kr} [e^{-Kr t} - e^{-Ka t}] \dots (Ec. 3)$$

cuya curva es importante, ya que determina la recuperación natural del sistema en función de todas las variables involucradas (Chapra, 1997), lo que puede representar riesgos para la vida acuática cuando se ejerza OD por debajo de la concentración de 4.0 mg/L establecida como mínima para conservación de la vida acuática.

Aplicación de modelos de cambio climático

Se espera que los cambios de precipitación proyectados durante el siglo XXI aumenten en las regiones tropicales y en latitudes altas y disminuyan en las regiones subtropicales asociadas con las expansiones proyectadas hacia los polos (IPCC, 2007). Se prevé que el cambio total de humedad del suelo disminuya en las latitudes altas del hemisferio norte y aumente en África Central y Asia, mientras que la humedad del suelo cerca de la superficie tiende a disminuir en la mayoría de las áreas de acuerdo con el aumento del calentamiento y la evaporación (Informe de Cambio Climático, 2014).

Respecto a la valoración de los efectos del cambio climático en la CRSLM, se trabajó con dos Modelos de Circulación General; el primero de ellos es el modelo establecido por Estados Uni-

dos de América denominado GFDL-CM3 y el modelo inglés, HAGDGEM2-ES; ambos modelos se regionalizaron para su aplicación, incorporándolos en la construcción del modelo en WEAP como escenarios con cambio climático (Abdallah y Rosenberg, 2019), para conocer las proyecciones futuras del comportamiento hidrológico de la cuenca.

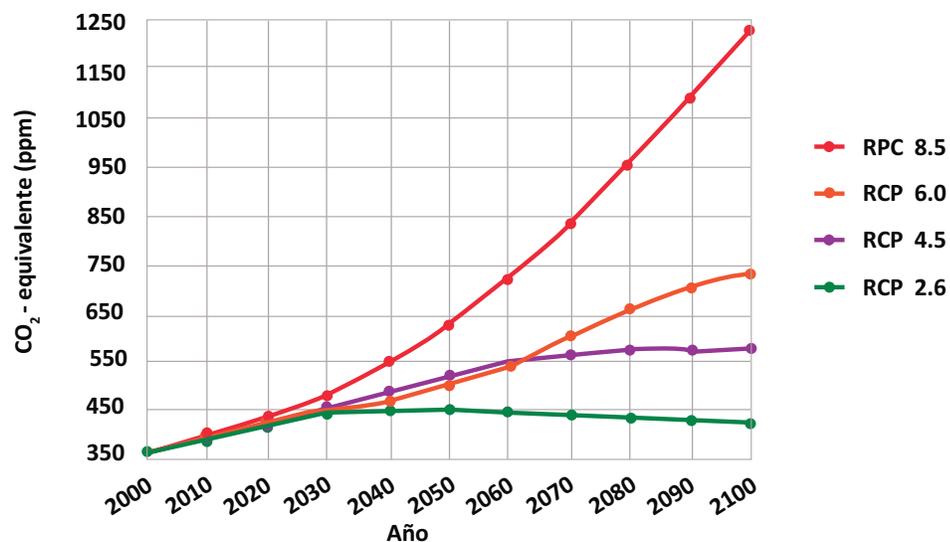
Para estructurar el modelo y escenarios, se consideran tres vectores; la determinación del escurrimiento natural a partir de registros de información hidroclimatológica, la aplicación de los escenarios de cambio climático para simular las condiciones base o actuales y las condiciones futuras con los datos (Mishra y col., 2017).

Las vías de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés: representative concentration pathways), utilizadas en este trabajo para identificar los escenarios de cambio climático se consideraron que son rutas de concentraciones de gases de efecto invernadero adoptadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés: intergovernmental panel on climate change) dependiente de las Nacio-

nes Unidas, que tienen el objetivo de proporcionar al mundo información científica para comprender los riesgos e impactos del cambio climático (Papas y Fellow, 2017). Las RCP propuestas mundialmente son 2.6 W/m^2 ; 4.5 W/m^2 ; 6.0 W/m^2 y 8.5 W/m^2 (Figura 6). Este proyecto tomó en cuenta los forzamientos 4.5 W/m^2 y 8.5 W/m^2 para los dos Modelos de Circulación General mencionados anteriormente. Se tiene que precisar la que la variabilidad climática representa fenómenos naturales de la variabilidad del clima dentro de rangos típicos de su medición histórica en un lugar determinado, lo que no implica cambio climático. Cabe precisar que existen muchos estudios que intentan abordar el problema desde diferentes perspectivas científicas e institucionales, sin embargo, ninguno de ellos explora los diferentes extremos (no debe confundirse con eventos extremos como sequías e inundaciones) que podrían realizarse a partir de conjunto de proyecciones climáticas disponibles y por comparativa de sus modelos (Sridharan y col., 2019).

Diseño y estructura del modelo en WEAP

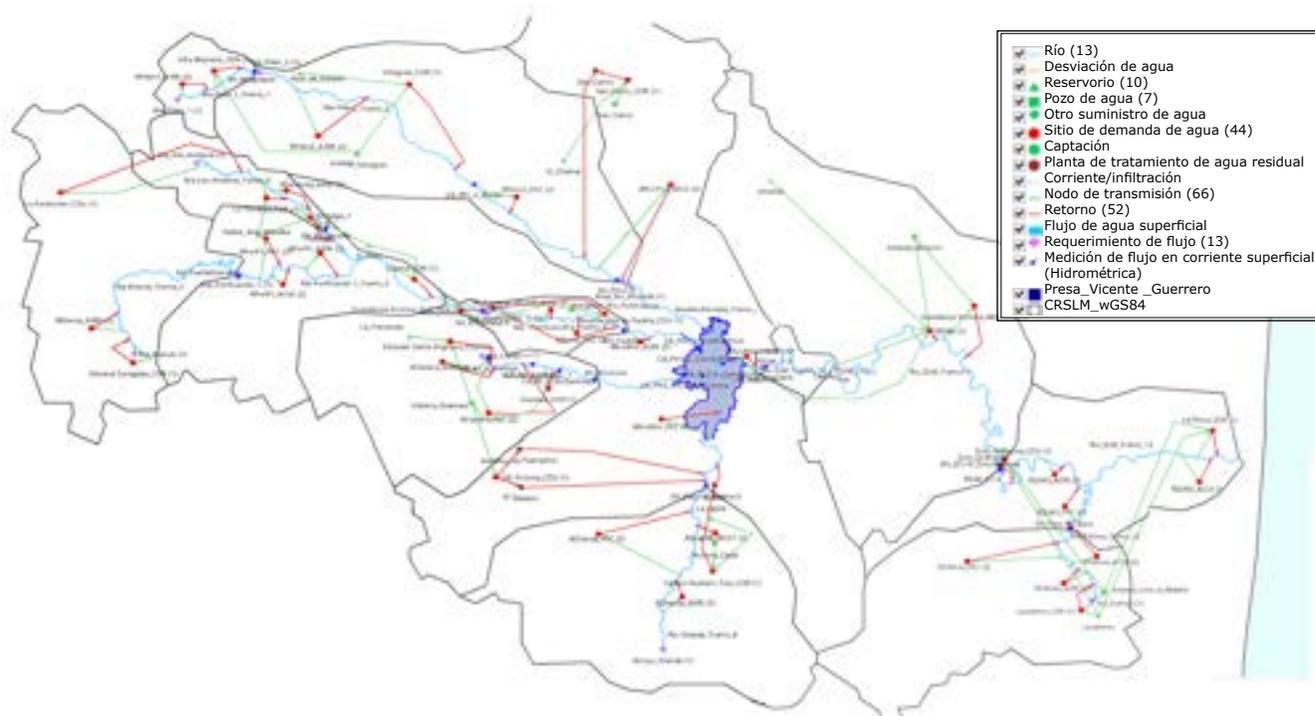
Con las ecuaciones del balance hidrológico, WEAP calcula un balance de masa de agua pa-



Fuente: Quinto informe de evaluación del IPCC sobre predicciones de Cambio Climático.

■ Figura 6. Proyecciones de la concentración global de CO_2 (en ppm) en el periodo 2000 a 2100.

Figure 6. 2000 to 2100 CO_2 (in ppm) global concentration projections.



■ **Figura 7. Construcción del modelo digital en WEAP de la cuenca de estudio.**

Figure 7. Construction of the digital model in WEAP of the study watershed.

ra cada nodo y enlace en el sistema en un intervalo de tiempo mensual (Figura 7). Para determinar el flujo de agua en las corrientes, se consideran los sitios de demanda, flujos de retorno y estimación del caudal natural previamente analizado con el método SCS. Así mismo, permite modelar cargas puntuales de contaminación en los cuerpos receptores de descargas y sus concentraciones de calidad del agua considerando un modelo unidimensional de la DBO₅ y el OD (Ramadan y col., 2019).

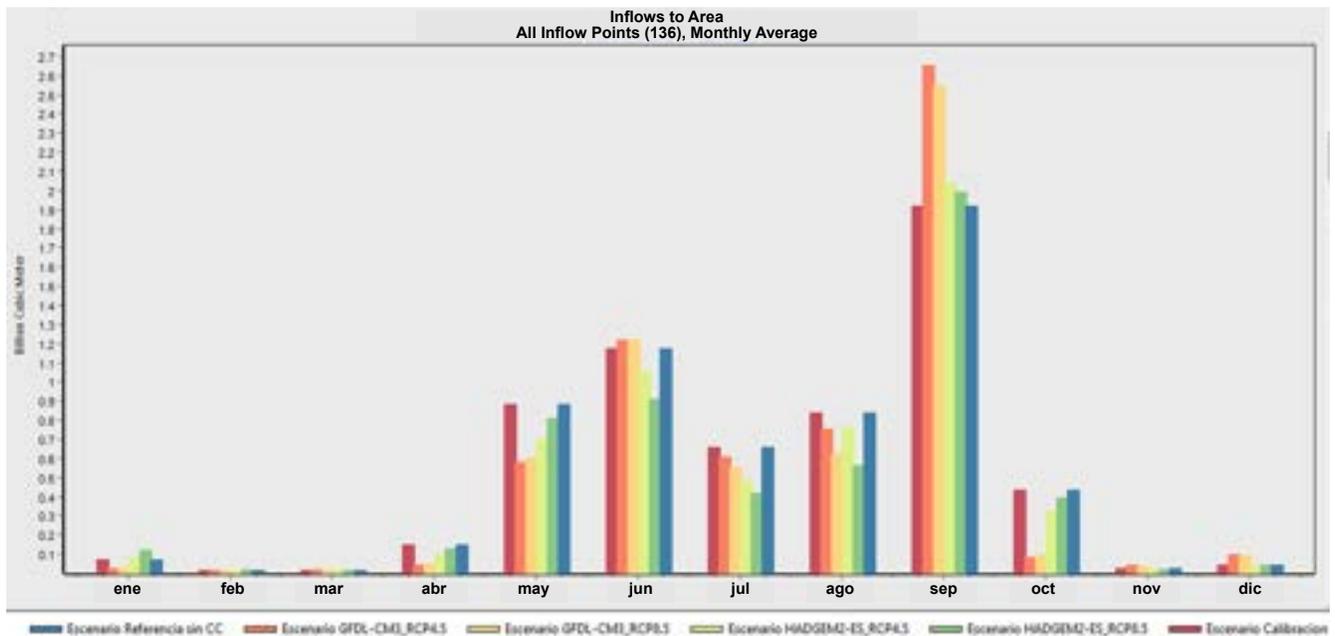
Mediante el principio de funcionamiento de WEAP se puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de los sistemas hídricos, incluyendo análisis hidrológicos lluvia-escorrentía, recarga potencial de los acuíferos por precipitación y calidad del agua que pueden ser integrados a la modelación (Jaramillo y col., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la determinación de los escurrimientos a nivel mensual en la cuenca del río Soto la Marina (Figura 8), muestran que existe una gran heterogeneidad en la dis-

tribución mensual del escurrimiento natural, con una marcada tendencia de incremento en los meses de mayo a septiembre y sensiblemente en este último mes; situación que es importante de resaltar para poner en evidencia la falta de políticas públicas asertivas y promotoras del uso sustentable del recurso hídrico. Lo anterior advierte que un criterio de disponibilidad a nivel anual como lo establece la NOM-011-CONAGUA-2015, no es opción para la estimación del escurrimiento superficial en la CRSLM, tanto en épocas naturales de estiaje y en aquellas de mayor disponibilidad o épocas de avenidas, por lo que el análisis de disponibilidad debe realizarse a nivel mensual, ya que estos criterios conservadores de estimación, pueden comprometer el desarrollo social y económico de la región, al sustentar la gestión de los recursos hídricos en una normativa cuyo enfoque se ha basado únicamente en la preservación de la cantidad del agua con los datos históricos anuales registrados.

De lo anterior, se puede decir que la diferencia en el uso de ambos métodos estriba en que la NOM-011-CONAGUA-2015 establece 3 cate-



■ **Figura 8. Resultado de la simulación hidrológica mensual en WEAP.**

Figure 8. WEAP model monthly hydrological simulation result.

rías de suelos y 14 diferentes usos de éstos; mientras que el método del SCS utiliza 4 categorías de uso del suelo y 14 usos de ellos, donde algunos factores incluso se pueden evaluar para condiciones de suelos en secos o húmedos, o bien, permite también estimar la abstracción inicial, equivalente a la evapotranspiración y la infiltración. En síntesis, al comparar los resultados obtenidos entre el método Indirecto de la norma y el método del SCS, se observa que el primero estima escurrimientos bastante menores que el método del SCS; por lo que se podría sugerir que el método Indirecto de la norma oficial, subestima el escurrimiento superficial, y que el método del SCS está, posiblemente, más cercano a la realidad.

Por lo anterior, se infiere que debido a que no se tienen datos precisos de las extracciones de agua en todos los tramos de la cuenca de estudio por parte de los usuarios del agua, al aceptar los resultados del método Indirecto de la norma oficial, se asume que los usuarios del agua pudieran aprovechar el recurso de acuerdo a sus necesidades, ya que los resultados oficiales señalan que al no haber disponibilidad en algunos de los tramos de la cuenca del

río Soto la Marina, se puede pensar que estos quedarían completamente secos, lo cual no resulta así, al menos sobre los tributarios, cuyos escurrimientos son permanentes todo el año, limitando con ello los posibles proyectos de desarrollo económico en la zona. El propósito fundamental de la valoración hidrológica se centra en reducir la brecha entre la gestión del agua y el escenario natural de la propia hidrología (Rochdane y col., 2012), abordando tanto los factores biofísicos que influyen en el río como los factores socioeconómicos que afectan la demanda doméstica, agrícola e industrial y manejo de reservorios.

Un aspecto radical de la norma es que establece disponibilidades anuales, particularmente en el escenario de referencia sin cambio climático, que es la condición actual real, donde se observa que el 87.7 % del escurrimiento que transita en la cuenca se encuentra en el periodo de mayo a septiembre; especialmente tan solo en septiembre escurre el 30.8 % del volumen total anual. Esta condición es muy importante, ya que la norma oficial mexicana no refleja un adecuado criterio técnico para sustentar la administración y disponibilidad de

este recurso vital. La primera de las simulaciones que proporciona este modelo es referente a la marcada heterogeneidad de la distribución mensual de los escurrimientos en la cuenca (Figura 8).

Los resultados obtenidos son elementos suficientes para poder considerar varios aspectos que resultan sumamente importantes en el contexto de administración sustentable del recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad y su proyección futura hacia el inicio del otro siglo.

La información regionalizada del modelo GFDL_CM3 con el nivel de radiación forzada de 4.5 W/m^2 fue incorporada al modelo WEAP, cuyos resultados mostraron patrones de estimación con mayores escurrimientos debido a las anomalías climáticas registradas en el periodo de avenidas, incluso superando considerablemente los volúmenes mensuales de escurrimientos en septiembre, que es el mes dominante de lluvias y escurrimientos en la CRSLM, y por el contrario, este mismo modelo presenta para ambas condiciones de radiación forzada de 4.5 W/m^2 y 8.5 W/m^2 , valores exactamente idénticos en temporada de estiaje e iguales, o muy similares a las condiciones del escenario base, es decir, el periodo de enero a marzo.

Por otro lado, las simulaciones efectuadas con el modelo HAGDGEM2-ES muestran una condición diferente, ya que en época de avenidas las simulaciones del mismo periodo, especialmente del periodo junio a diciembre resultan ligeramente menores a las condiciones del escenario base, con excepción de septiembre, que se presenta ligeramente mayor a la condición real. El caso del periodo de estiaje (específicamente los meses de febrero y marzo) resulta muy similar, siendo la simulación en el mes de enero mayor al escenario base.

Los resultados de calidad del agua obtenidos en las campañas de muestreo y análisis, representaron la variabilidad espacio-temporal de los parámetros: OD, DBO_5 Y DQO, para los ríos

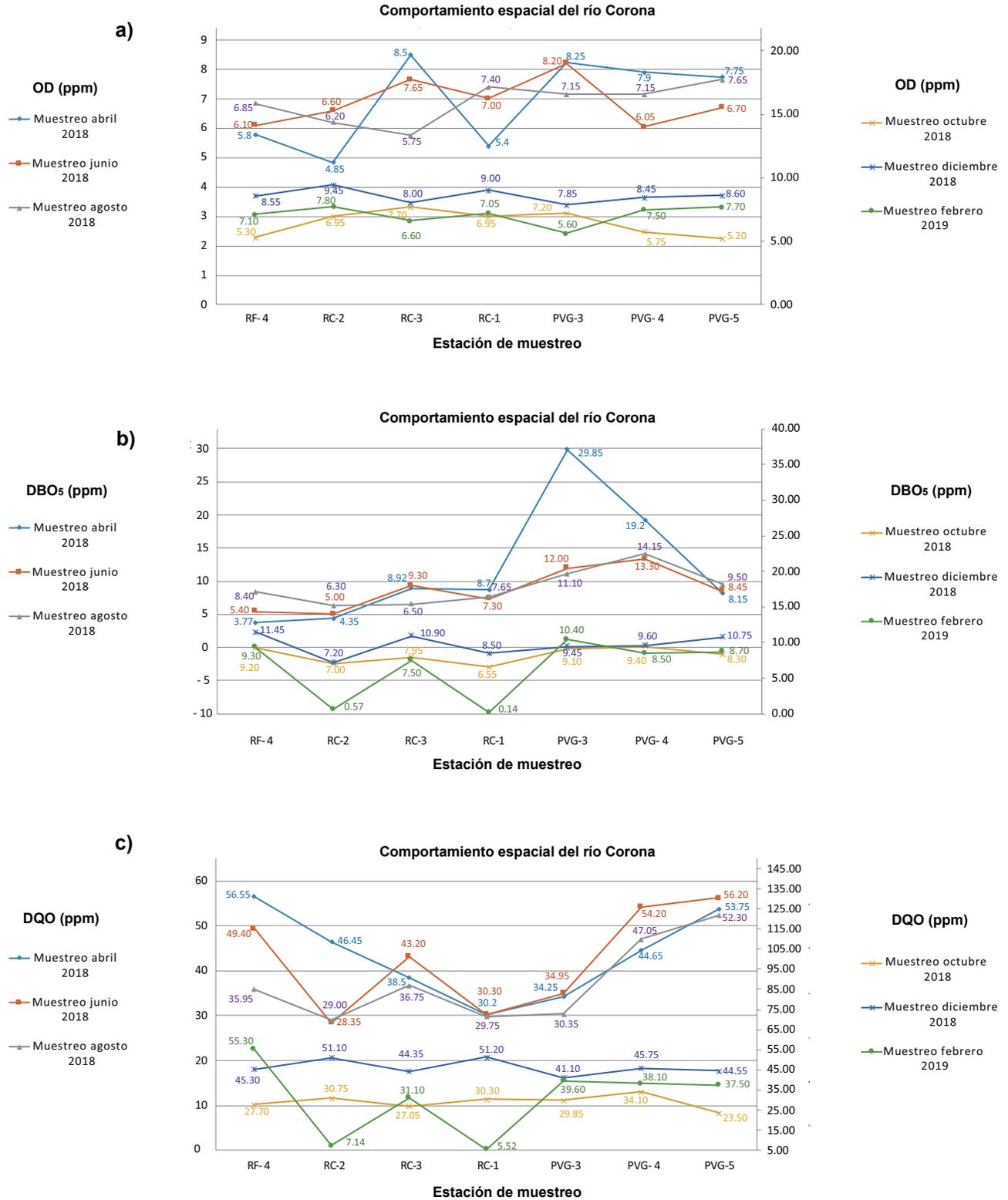
Corona y Purificación, como los principales tributarios (Lawani y col., 2017) (Figuras 9 y 10).

Aunque en la agricultura estos parámetros no son considerados de primer orden en importancia, lo son social y ambientalmente, ya que existen fuentes de suministro público-urbano, doméstico y para la conservación de otras especies pecuarias y pesqueras.

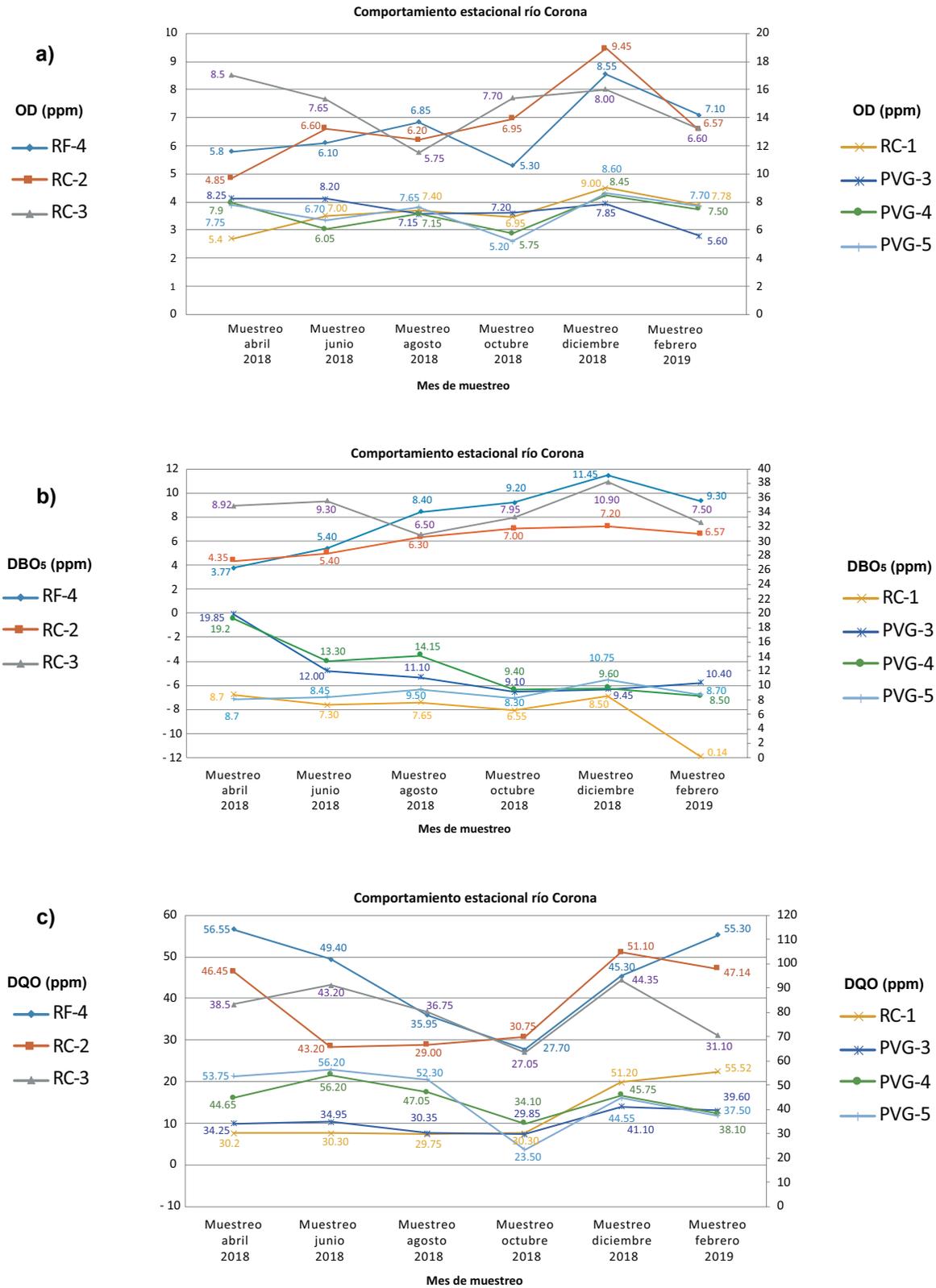
Por lo que respecta al OD, este presentó valores aceptables durante todo el muestreo. No obstante, existen señalamientos de afectación a la calidad del agua del río Corona por parte de las cooperativas de pescadores de la zona ante autoridades municipales de Güemez, ya que señalan el desarrollo de lirio acuático en el río Corona y la baja del producto pesquero como consecuencia (dominio público local).

Con respecto al comportamiento estacional (Figuras 10a; 10b y 10c), se observa en términos generales que la tendencia de los parámetros baja ligeramente en los meses de agosto a octubre y se incrementan las concentraciones de la DBO_5 y DQO en los meses de estiaje (diciembre a abril). Así mismo, se aprecia en la Figura 9b que el parámetro DBO_5 muestra en la parte terminal en sentido del flujo de agua (es decir hacia la presa Vicente Guerrero), específicamente una mayor tendencia en la estación PVG-4, en donde se supone no hay comunidades o afectaciones por descargas de origen público-urbano o rural. Para la DQO en la figura 9c, se presenta un ligero incremento en el periodo de abril, junio y agosto en la estación PVG-5, bajando su concentración por efecto de las avenidas que se presentan el mes de octubre (Vallejo-Rodríguez y col., 2017).

En relación con la DBO_5 , se aprecia que la mayor parte de los resultados son aceptables. No obstante, resulta importante precisar que, un sitio puntual sobre la presa, que es la entrada o confluencia del río Corona, denota niveles que se sugieren ser considerados como afectados, debido a que supera los 30 mg/L , existiendo para ese sitio un valor de 28.5 mg/L y 31.2 mg/L para los meses de enero y febrero, respecti-



■ Figura 9. Comportamiento espacial del río Corona respecto al: a) oxígeno disuelto; b) demanda bioquímica de oxígeno y c) demanda química de oxígeno (unidades en mg/L).
 Figure 9. Spatial behavior of the Corona river with respect to: a) dissolved oxygen; b) biochemical oxygen demand and c) chemical oxygen demand (units in mg/L).



■ Figura 10. Comportamiento estacional del río Corona respecto al: a) oxígeno disuelto; b) demanda bioquímica de oxígeno y c) demanda química de oxígeno (unidades en mg/L).
 Figure 10. Seasonal behavior of the Corona river with respect to: a) dissolved oxygen; b) biochemical oxygen demand and c) chemical oxygen demand (units in mg/L).

vamente. Esto puede confirmarse debido a que, en la actualidad, se presentan importantes niveles de crecimiento de lirio acuático en los últimos 11 km del río Corona, así como la afectación de una superficie aproximada de 150 ha del vaso de la presa Vicente Guerrero. El desarrollo de este tipo de maleza está documentado mediante registros de videos y fotografías de la zona, al paso del tiempo, en Muro Político (2020), y se debe precisamente a altas cargas orgánicas acompañadas de una concentración excesiva de nutrientes como nitratos, sulfatos, fosfatos y otros detonantes de maleza acuática.

Por otro lado, los hallazgos obtenidos de la DQO frecuentemente superaron en diversos sitios y temporadas los criterios de calidad del agua para considerar como aceptable su condición. Una concentración superior a los 40 mg/L de DQO clasifica a las aguas naturales como contaminadas de acuerdo con ese criterio (Conagua, 1989). Al considerar estos resultados con relación a los obtenidos a la DBO₅, se observa que los materiales que reflejan la alta concentración de DQO no son susceptibles de biooxidación, por lo que sus orígenes son distintos a los presentes en cargas de origen público-urbano o doméstico en zonas rurales.

El modelo de decaimiento del OD sobre el río Corona (Figura 11), muestra una curva de recuperación de sus condiciones debido a factores naturales, lo que revierte el impacto del vertimiento del río San Felipe, y se confirma con los valores de OD en la estación RC-1 denominada Río Corona-Final, que es la última estación sobre el río Corona antes de su confluencia a la presa Vicente Guerrero, cuyos valores oscilaron entre 5.4 mg/L y 9.0 mg/L, excepto el mes de febrero de 2019, donde presentó un valor de 7.78 mg/L (Figura 10a).

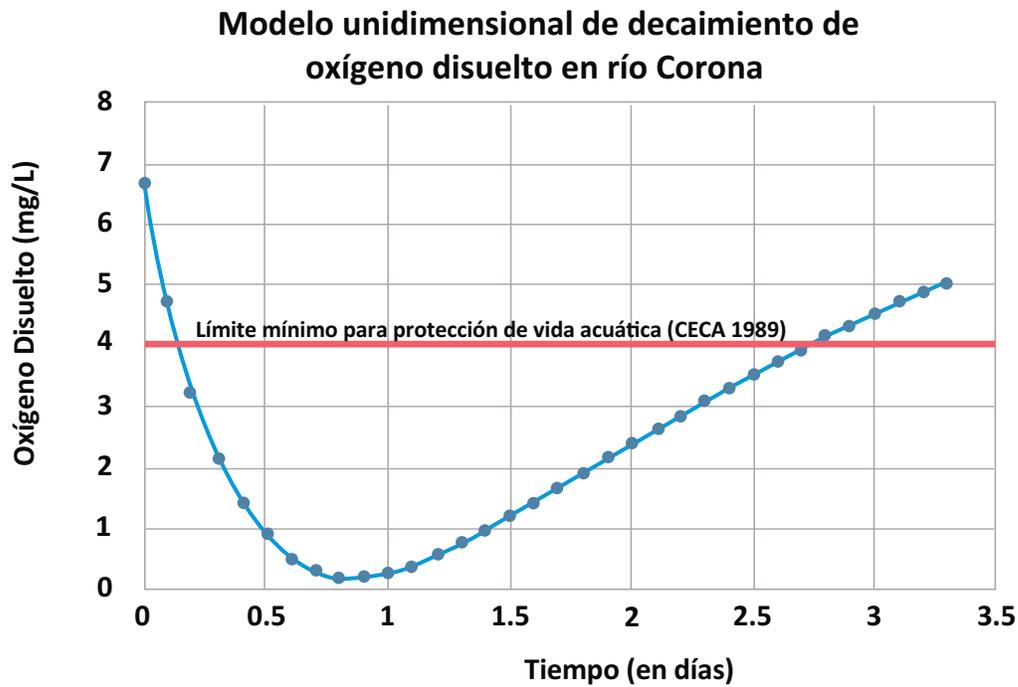
Cabe señalar que el río Pílon es una corriente cuyas aportaciones de agua en época de estiaje a la presa Vicente Guerrero es muy baja (poco flujo), como lo hacen los ríos Corona y Purificación. Aunado a ello, la calidad del agua del río Pílon no se ve afectada por descarga de zo-

nas urbanas e industriales, o retornos agrícolas en zonas de riego, como es el caso del río Corona, donde los problemas mayores en materia de calidad del agua que tiene el sistema los tiene esta corriente (en los recorridos realizados se pudo apreciar que existen efectos visibles). Es importante destacar que el mayor tributario durante todo el año es el río Purificación, y en segundo término el río Corona, pero como este último recibe grandes volúmenes de aguas residuales, el presente trabajo enfocó su atención mayormente en esta corriente.

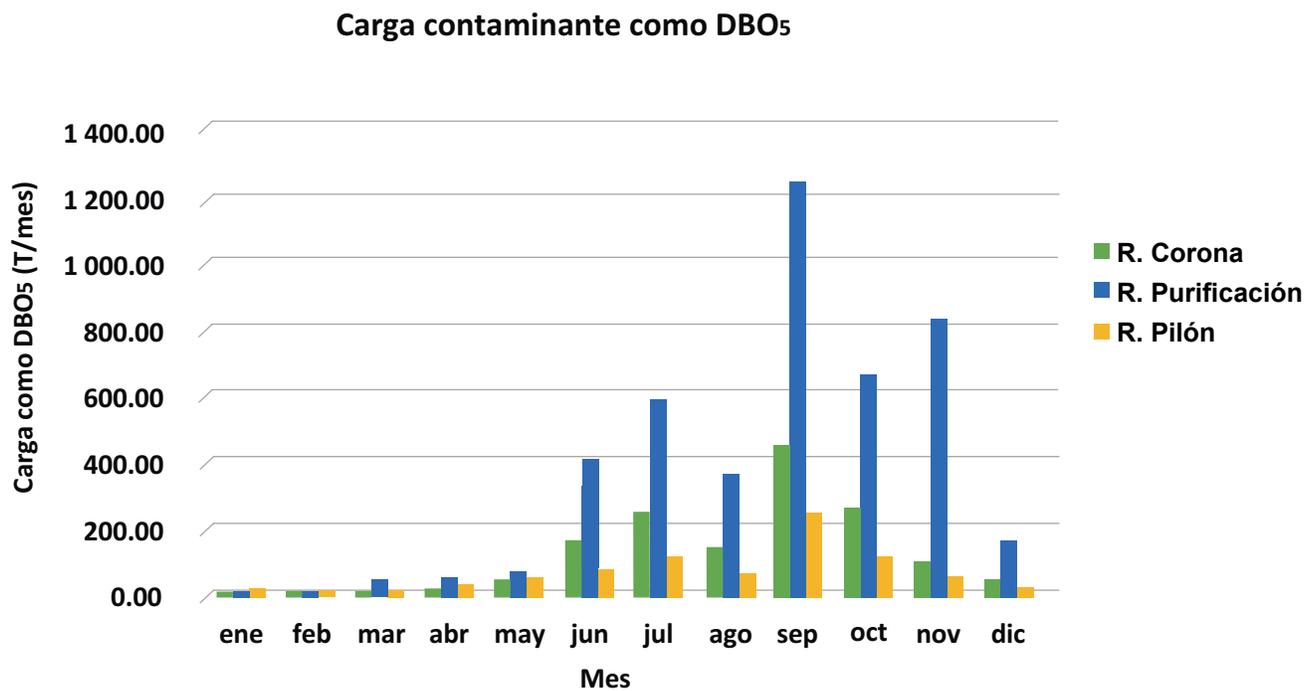
Aun siendo favorable el fenómeno representado en la Figura 11, los materiales asociados a estas cargas orgánicas no evaluadas en la presente investigación (nutrientes), son de suma importancia, ya que existe un fuerte desarrollo de lirio acuático en la zona, señal inequívoca de una acelerada eutroficación. Con relación a la modelación de la calidad del agua en la presa Vicente Guerrero, WEAP no tiene posibilidad de modelar embalses (Slaughter y col., 2016), por lo que es recomendable aplicar otro *software* o bien, desarrollar un modelo por celdillas (cubicación) para valorar las condiciones de la presa en función de su hidrodinámica.

Para comprender la situación relacionada con los niveles de concentraciones obtenidos en cada uno de los tributarios de la presa Vicente Guerrero, que conforma el principal embalse que soporta actividades socioeconómicas relevantes e indudablemente la fuente de suministro de agua potable principal de la cuenca, se determinaron las cargas orgánicas contaminantes que entran a la presa como DBO₅ y DQO (Figuras 12 y 13).

Como se observa en la Figura 12, las mayores cargas que transitan y se vierten a la presa, se acentúan en los meses de junio a noviembre, coincidentemente con el comportamiento dominante de escurrimientos, particularmente el mes de septiembre se observa en todos los tributarios un pico que sobresale del resto, con valores que alcanzan las 1 251.12 T; 464.44 T y 263.70 T, para los ríos Purificación, Corona y Pílon, respectivamente. Cabe resaltar que la car-

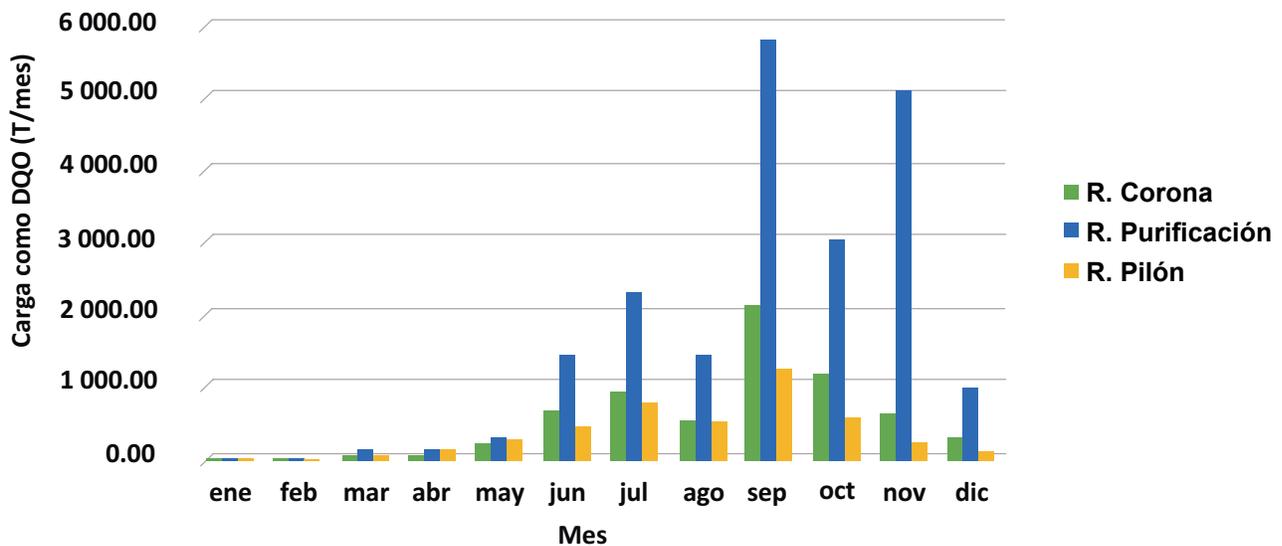


■ Figura 11. Modelo unidimensional de decaimiento del OD (unidades en mg/L).
 Figure 11. One-dimensional model of DO decay (units in mg/L).



■ Figura 12. Carga contaminante a la presa de cada tributario como DBO₅ (unidades en T/mes).
 Figure 12. Pollutant load to the dam of each tributary as BOD₅ (units in T/month).

Carga contaminante como DQO



■ Figura 13. Carga contaminante a la presa de cada tributario como DQO (unidades en T/mes).
Figure 13. Pollutant load to the dam of each tributary as COD (units in T/month).

ga total anual como DBO_5 que entra como aportación de estos tres tributarios es de 6 808.38 T, cifra bastante significativa de aportación al vaso lacustre de la presa Vicente Guerrero, más aún si se considera que el vaso ya presenta una reconocida concentración de DBO_5 .

Con relación a la DQO, se encontró un comportamiento similar, presentándose las mayores cargas de este parámetro los meses de junio a noviembre y de igual forma, en septiembre se alcanzan las mayores cargas contaminantes del orden de 5 787.61 T; 2 148.49 T y 1 278.47 T para los ríos Purificación, Corona y Pilón, respectivamente. Para este parámetro la carga anual fue 32 427.49 T, carga que entra al embalse de la presa.

Las Figuras 12 y 13 son útiles para dimensionar el grado de afectaciones de estas concentraciones que, aparentemente son pequeñas cantidades de material en los cuerpos de agua de esta cuenca, sin embargo, son traducidas como cargas contaminantes significantes. Cabe señalar que, aunque el efecto dilución se encuentra presente de junio a noviembre, es precisamente este incremento del gasto sobre estos tribu-

tarios, lo que incrementa las cargas de DBO_5 y DQO que finalmente se vierten en la presa Vicente Guerrero.

Es importante evidenciar que las grandes cantidades de aportaciones como cargas de DBO_5 y DQO, por la naturaleza de dichos parámetros, pueden tener una relación estrecha entre ambos. En ese sentido, se alcanzó un máximo de relación de 28.81 % del contenido DBO_5 /DQO y hasta un rango menor de 2.56 %, lo cual es indicativo de una mayor presencia de materiales difícilmente degradables, incluso del tipo refractarios que son conservativos y se caracterizan por aquellas aguas duras con altos índices de sales disueltas como carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y otros materiales, que elevan grandemente los valores de DQO, como son las aguas naturales de las corrientes superficiales de esta cuenca.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran la necesidad urgente de planear con enfoque mensual el recurso hídrico, ya que el escurrimiento natural es muy heterogéneo, siendo el periodo de noviembre a marzo el menor

escurrimiento y en extremo crítico los meses de febrero y marzo. Los escenarios de ambos modelos de cambio climático proyectados al año 2100, prevén condiciones del 12 % de reducción del escurrimiento natural medio mensual en el periodo de estiaje, además del correspondiente incremento en su demanda, lo cual implica grandes retos por reducir la brecha hídrica, así como garantizar el sostenimiento del desarrollo socio-económico de los habitantes de la cuenca del río Soto la Marina por el fenómeno proyectado en estas simulaciones. Así mismo, de la proyección de escenarios con el RCP 4.5 W/m² en ambos modelos, GFDL-CM3 y HAGDGEM2-ES, se deduce que septiembre, presenta un notable incremento de los volúmenes del escurrimiento natural, lo que pone de manifiesto la alerta en zonas de alto riesgo por inundaciones y de aquellos sectores vulnerables a ello, posiblemente asociadas al incremento en la presencia de fenómenos meteorológicos como ciclones o tormentas tropicales. Por otro lado, es importante considerar que aunque la modelación de calidad del agua por el modelo unidimensional aplicado resulta favorable para la recuperación de sus condiciones de salud ambiental, las cantidades como cargas contaminantes determinadas en el

sistema hídrico, son del orden de varios miles de toneladas anuales como DBO₅ y DQO, situación que refleja el gran estrés hídrico al que se sujeta el sistema y que se complica por la gran heterogeneidad estacional del escurrimiento natural y su variabilidad ante los efectos del cambio climático simulado en este proyecto, principalmente en el escenario GFDL-CM3 para el forzamiento RCP 4.5 W/m², lo que eleva aún más el estrés hídrico en conjunción de estos vectores, por lo que a fin de consolidar un efectivo plan de manejo en la cuenca del río Soto la Marina, es fundamental tomar en cuenta estos resultados. También, es preciso señalar, que la condición de presencia de lirio acuático en los últimos años sobre el tramo del río Corona desde la confluencia de la presa Vicente Guerrero y hasta varios kilómetros aguas arriba sobre el cauce de este río, denotan una condición de concentraciones orgánicas y de nutrientes atípicos en este sistema, lo cual es un factor detonante del proceso de eutrofización de la presa Vicente Guerrero, que si no se atiende en tiempo y forma resultará en un alto costo de inversión para el dragado y retiro de dicha maleza, con la consecuente pérdida de la calidad del agua y el ecosistema original.

REFERENCIAS

- Abdallah, A. and Rosenberg, D. (2019). A data model to manage data for water resources systems modeling. *Environmental Modelling & Software*. 115: 113-127.
- Aird, R., Eaton, A., and Rice, E. (2017). *Standard Method to the Examination of Water and Wastewater*. Water Environmental Federation. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23rd_edition. Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2019.
- Borges, C. A., Leite, H., Silva, M. C., Ferreira, A., Hora, J., Lopes, S., and Oliveira, G. (2017). Assessment of water quality using principal component analysis: a case study of the açude da Macela-Sergipe – Brazil. *Modern Environmental Science and Engineering*. 32(4): 227-234.
- Chapra, S. (1997). Surface Water - Quality Modeling. *Research Gate*. 13-25.
- Chapra, S., Pelletier, G., and Tao, H. (2012). *QUAL2K: a Modeling Framework for Simulating River and Stream*. Medford, MA.: Tufts University. 11 Pp.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea]. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>. Fecha de consulta: 14 de septiembre de 2020.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua (2015). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2015). Comisión Nacional del Agua. Biblioteca de Publicaciones Oficiales del Gobierno de la República. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/situacion-del-subsector-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento?idiom=es>. Fecha de consulta: 19 de mayo de 2019.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua (2017). *Estadísticas del agua en México*. México: SINA, Sistema Nacional de Información del Agua. 32-52 Pp.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua (2019). Consulta de Información estadística del agua: Hidrometría, climatología, plantas de tratamiento, zonas de riego y demandas de agua inscritos en registro público del agua (REPDA). [En línea]. Disponi-

ble en: <http://www.conagua.gob.mx>. Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.

Conapo, Consejo Nacional de Población (2015). Conciliación demográfica de México 1950-2015 y proyecciones demográficas 2030. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2019.

Gobierno del Estado de Tamaulipas (2017). Atlas de Riesgos del Estado de Tamaulipas. [En línea]. Disponible en: (<https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2017/09/ATLAS-DE-RIESGOS-DEL-ESTADO-DE-TAMAULIPAS.pdf>). Fecha de consulta: 7 de septiembre de 2019.

Hervis-Granda, G., López-Seijas, T., Vargas-Castilleja, R., Rolón-Aguilar, J. y Sánchez-Torres, G. (2017). Aplicación del modelo WEAP para la planeación hidrológica de la cuenca San Diego, municipio Los Palacios, provincia Pinar del Río, Cuba. *Research Gate*. 2-4.

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15): 1965-1978.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censos de población y vivienda 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2019.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Información Nacional Hidrológica, en *Portal de Información Digital de INEGI*. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.

Informe de Cambio Climático (2014). Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en *Organización Meteorológica Mundial*. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf. Fecha de consulta: 10 de julio de 2020.

IPCC, Panel Intergubernamental en Cambio Climático-Organización de las Naciones Unidas (2007). Informe del Grupo de Trabajo I-Fourth Assessment Report: Climate Change 2007-RT.5.2 Proyecciones a gran escala para el siglo XXI. [En línea]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tss-ts-5-2.html. Fecha de consulta: 10 de julio de 2020.

Jaramillo, M.-F., Galvis, A., Escobar, M., Forni, L., Purkey, D., Siebel, J.-S., ..., and Sabas, C. (2016). Integration of WEAP and Qual2k model for the simulation of water quality surface resources. Case study: La Vieja River Basin, Colombia, en *Aqua-LAC*. [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247568>. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020.

Jingshui, H., Yin, H., and Chapra, S. (2017). Modelling dissolved oxygen depression in an urban river in China. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 1-2.

Lal, M., Mishra, S. K., Pandey, A., Pandey, R. P., Meena, P. K., Chaudhary, A., ..., and Kumar, Y. (2017). Evaluation of the Soil

Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. *Hydrogeology Journal*. 25(1): 151-167.

Lawani, R., Kelome, N., and Agassounon-Djikpo-Tchiboza, M. (2017). Organic pollution of Ouémé River in Benin Republic, in *ResearchGate-International Water Resources Association (IWRA)*. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Organic-pollution-indication-OPI-map-of-the-Oueme-River-in-Benin-Republic_fig2_318214369. Fecha de consulta: 7 de abril de 2020.

Mishra, B., Regmi, R., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., and Saraswat, C. (2017). Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*. 9: 67-77.

Moncada, A. M., Escobar, M., Betancourth, A., Vélez, U. J., Zambrano, J., and Alzate, L. M. (2020). Modelling water stress vulnerability in small Andean basins: case study of Campoalegre River basin, Colombia. *International Journal of Water Resources Development*. 37(4): 640-657.

Muro Político (2020). Presa Vicente Guerrero se llena de maleza acuática, en *muropolítico.mx*. [En línea]. Disponible en: <https://muropolitico.mx/2020/11/25/presa-vicente-guerrero-se-llena-de-maleza-acuatica/>. Fecha de la consulta: 28 de enero de 2021.

Norma Mexicana de Análisis de Agua NMX-AA-012-SCFI-2001 (2001). Determinación del Oxígeno Disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166768/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

Norma Mexicana de Análisis de Agua NMX-AA-028-SCFI-2001 (2001). Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

Norma Mexicana de Análisis de Agua NMX-AA-030/2-SCFI-2011 (2011). Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166775/NMX-AA-030-2-SCFI-2011.pdf>. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

Norma Mexicana de Análisis de Agua NMX-AA-007-SCFI-2013 (2013). Medición de la Temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-007-SCFI-2000.pdf>. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

Norma Mexicana de Análisis de Agua NMX-AA-008-SCFI-2016 (2016). Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales

tratadas – Método de prueba, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 (2015). Conservación del recurso agua. Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015. Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2020). Agua y Nutrición, en *Agua para el Desarrollo Sostenible*. [En línea]. Disponible en: <https://www.unscn.org/uploads/web/news/document/Water-Paper-SP-WEB.pdf>. Fecha de consulta: 14 de octubre de 2019.

Pachauri, R., Meyer, L., and Team, A. C. (2015). *Informe de AR5: Cambio Climático*. Geneva 2, Switzerland: World Meteorological Organization (WMO) and IPCC. [En línea]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml. Fecha de consulta: 23 de marzo de 2020.

Papas, M. and Fellow, H. (2017). Climate Change Adaptation and the Pivotal Role of Water: Proposed Policy Response for Australia. [En línea]. Disponible en: <https://research-repository.uwa.edu.au/en/activities/xvi-world-water-congress-international-water-resources-associatio>. Fecha de consulta: 27 de febrero de 2020.

Ramadan, E., Shalash, O., Fahmy, M., and Abdel-Aal, G. (2019). Integrated water resource management in Sharkia Governorate, East Nile Delta using numerical evaluation of water management strategies. *Alexandria Engineering Journal*. 58(2): 757-771.

Rochdane, S., Reichert, B., Messouli, M., Babgigi, A., and Khebiza, M. (2012). Climate Change Impacts on Water Supply and Demand in Rheraya Watershed (Morocco), with Potential Adaptation Strategies. *Journal of Sustainability of Water Quality and Ecology*. 4(1): 28-44.

Sahukhal, R. and Tri-Ratna, B. (2019). Modeling water resources under competing demands for sustainable development: A case study of Kaligandaki Gorge Hydropower Project in Nepal. *Water Science and Engineering*. 12(1): 19-26.

Schull, V. Z., Daher, B., Gitau, M. W., Mehan, S., and Flanagan, D. (2020). Analyzing FEW nexus modeling tools for water resources decision-making and management applications. *Food and Bio-products Processing*. 119: 108-124.

Semarnat, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático, en *Visión 10-20-40*. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2019.

Servicio Meteorológico Nacional (2019). Consulta de Información Climatológica en boletines y en estaciones Automáticas (EMA's). [En línea]. Disponible en: <http://www.smn.conagua.gob.mx>

Fecha de consulta: 6 de febrero de 2019.

Silva-Hidalgo, H., Estrada, G. G., Calderón, F. M., and Villalba, M. D. (2017). Effects of climate change on water availability in a hydrological watershed located in an arid region in the north central portion in Mexico. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 1-11.

Slaughter, A., Mantel, K., and Hughes, D. (2016). Water quality management in the context of future climate and development changes: a South African case. *Journal of Water and Climate Change*. 7(4): 745-787.

Sridharan, V., Pereira-Ramos, E., Zepeda, E., Boehlert, B., Shivakumar, A., and Taliotis, C. (2019). The Impact of Climate Change on Crop Production in Uganda—An Integrated Systems Assessment with Water and Energy Implications. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 11(9): 1805.

UNESCO, Organización de las Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2019) Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>. Fecha de consulta: 19 de mayo de 2019.

US Department of Agriculture (1972). Soil Conservation Service SCS: National Engineering Handbook, Section 4, in *Hydrology*. [En línea]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=18393.wba>. Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.

Vallejo-Rodríguez, R., León-Becerril, E., Díaz-Torres, J., Hernández-Mena, L., Del-Real-Olvera, J. F. P., and Martínez-Mendoza, L. L. (2017). Water Quality Index of Lake Chapala in Mexico and its potential risk, in *ResearchGate-International Water Resources Association (IWRA)*. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319692488_Water_Quality_Index_of_Lake_Chapala_in_Mexico_and_its_potential_risk_to_public_health. Fecha de consulta: 19 de marzo de 2020.

Vieira, E. and Solis, S. (2017). Sustainability index and integrated water resources management of the rio Verde Grande Basin in Brazil, in *International Water Resources Association (IWRA)*. [En línea]. Disponible en: https://iwra.org/member/congress/resource/ABSID531_ABSID531_ID_531_Full_paper.pdf. Fecha de consulta: 8 de mayo de 2020.

Water Evaluation and Planning (2019). SEI, System Stockholm Environmental Institute Copyright©1990-2021. (Versión 2019.2) [Software de cómputo y manual del usuario]. Estocolmo, Suecia. Bajo licencia del Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo. [En línea]. Disponible en: <https://www.weap21.org>. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2019.



Conocimiento y actitudes sobre los beneficios de la lactancia materna en universitarios

University students' knowledge and attitudes towards breastfeeding

Juan Alejandro Hernández-Pérez¹, Miguel Ángel Hernández-Hernández¹, María de los Ángeles Ramírez-Trujillo^{2*}

RESUMEN

La lactancia materna (LM) tiene beneficios en la salud del binomio madre-hijo. El abandono y las barreras para realizar la práctica de amamantar se relacionan con cuestiones biológicas, ambientales, culturales, sociales e individuales, entre otras. Todas ellas tienen influencia del conocimiento y actitudes que se adquiere durante la vida. La población universitaria, es una generación de adultos que forman un criterio integral sobre LM en función de la dinámica social. El objetivo del presente trabajo fue analizar el nivel de conocimiento y las actitudes de los estudiantes universitarios respecto a los beneficios de la lactancia materna en la salud. Se observó bajo nivel de conocimiento entre la población universitaria sobre aspectos de importancia tales como, la duración de la LM exclusiva, la reducción del riesgo en el desarrollo de obesidad, infecciones de oído, diarrea o alergias alimentarias, especialmente en estudiantes que no fueron del área de la salud. Respecto a las actitudes, se identificó una alta aceptación social de la práctica de la LM. Sin embargo, los estudiantes consideran a la alimentación con fórmula como una opción más práctica. Es necesario realizar investigaciones que integren diversos sectores de la sociedad que permitan explicar los cambios en acciones y comportamientos hacia la LM.

PALABRAS CLAVE: amamantar, estudiantes, beneficios, conocimiento.

ABSTRACT

Breastfeeding (BF) has health benefits for the mother-child dyad. Abandonment and barriers to breastfeeding are related to factors at different levels that include biological, environmental, cultural, social, individual issues, among others. All of them are shaped by the knowledge and attitude that are acquired during life. The university population is a generation of adults who develop a comprehensive criterion on BF based on social dynamics. The objective of the present work was to analyze the level of knowledge and attitudes that university students have regarding the health benefits of BF. It was observed a low level of the knowledge about relevant aspects such as the duration of exclusive BF, the risk reduction in the development of obesity, ear infections, diarrhea or food allergies. Regarding attitude, a high level of social acceptance of the BF practice was identified. However, formula feeding is considered a more practical option. It is necessary to carry out further research that integrates various sectors of society that allow explaining the changes in actions and behaviors towards BF.

KEYWORDS: breastfeeding, students, benefits, knowledge.

*Correspondencia: mramirez@enes.unam.mx / Fecha de recepción: 8 de febrero de 2021 / Fecha de aceptación: 22 de julio de 2021 / Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Licenciatura en Odontología, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, San Antonio de los Tepetates, León, Guanajuato, México. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Salud Pública, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, boulevard UNAM núm. 2011, col. Predio El Saucillo y El Potrero, San Antonio de los Tepetates, León, Guanajuato, México, C. P. 37689.

INTRODUCCIÓN

La práctica de la lactancia materna (LM) inicia a la par del origen del ser humano y desde la antigüedad ha sido un medio de supervivencia de los niños, acorde a la información de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1981). La leche materna modifica su composición de acuerdo con la edad del niño y su uso se sugiere hasta los 24 meses de vida o más, si la madre e hijo así lo desean (OMS, 1981; OMS, 2020).

Existe evidencia científica sólida sobre los múltiples beneficios de la LM en la salud social, emocional y física, tanto de la madre como del hijo. Influye a nivel social favoreciendo el apego, el vínculo madre e hijo, de acuerdo con la Asociación Española de Pediatría (AEPED, 2012); asimismo, la satisfacción emocional materna por el hecho de proveer las necesidades del bebé (Maslow, 1975). En la madre, la lactancia protege de enfermedades crónicas como hipertensión, obesidad, diabetes, depresión, incluso cáncer (Paredes-Juárez, 2019). La LM protege a los lactantes en sus primeros meses de vida de enfermedades como la diarrea, la neumonía, otitis media, enfermedades respiratorias, además de que favorece el desarrollo cognitivo y evita la muerte repentina e inexplicable en niños menores de un año (Mosca y Gianni, 2017; Paredes-Juárez, 2019). La LM salva vidas, mejora la salud de los niños que la consumen en el corto y largo plazo, además de potencializar su desarrollo cognoscitivo, mientras que las consecuencias inmediatas de la mal nutrición durante los primeros 3 años de vida incluyen un mayor riesgo de enfermar y morir, así como un desarrollo mental y motor retrasado (González y Ferré, 2016).

De acuerdo con la OMS, se estima que a nivel mundial 78 millones de recién nacidos no reciben lactancia materna exclusiva (LME) en la primera hora de vida, lo que predispone en la mayoría de los casos a no alimentar con leche materna. En promedio solo el 38 % de los lactantes reciben LME en todo el mundo. Las tasas más altas de LM se han reportado en países de África Oriental (65 %) y las más bajas

en países de ingresos medios y altos como Asia Oriental y el Pacífico (32 %) (OMS, 2020).

El abandono y las barreras para realizar la LM se deben a factores en diferentes niveles. El primer nivel se relaciona con características del bebé, de la madre y ambos como binomio, por ejemplo, influye el peso inicial del bebé, la incapacidad o el rechazo del amamantamiento, la salud materna, dolor al amamantar, falta de conocimiento en las madres sobre los beneficios de la lactancia, entre otros (Patil y col., 2020).

El conocimiento necesario para revalorar la práctica de la LM es el relativo a los beneficios que otorgan el calostro y la duración de la LME, traducidos en beneficios económicos, así como en la salud de la madre, ya que se asocia con una reducción del riesgo de cáncer de mama, de ovario, eventos cardiovasculares y depresión post-parto (González y Ferré, 2016).

Las actitudes ideales sobre la LM están enfocadas en reconocer la importancia de los beneficios nutricionales de la leche materna como alimento ideal para los bebés, la relevancia en el desarrollo del apego y la unión madre-hijo, así como en la aceptación y el respeto a la exhibición pública del amamantamiento (Heathman y col., 2019).

Diversas instituciones y organizaciones que buscan promover la LM a nivel internacional, sugieren realizar investigaciones que integren el análisis de sectores poblacionales diversos que permitan explicar los cambios en acciones o comportamientos hacia la LM a través del tiempo (González y Ferré, 2016). En este sentido, una población de interés para el estudio de factores que intervienen en la práctica de amamantar es la comunidad universitaria. La relevancia de identificar el conocimiento y actitudes sobre los beneficios de la LM en universitarios radica en que es una generación próxima para convertirse en padres o madres y/o prestadores de algún servicio en el área de la salud, es decir, una nueva generación de adultos con criterio sobre la LM en función de la diná-

mica social. Por lo tanto, es importante identificar el nivel de conocimiento y la predisposición que se tenga respecto a la LM. Hasta el momento son pocos los estudios que realizan una revisión sobre el tema.

El objetivo de este trabajo fue analizar el nivel de conocimiento y actitudes que tienen los estudiantes universitarios respecto a los beneficios de la lactancia materna en la salud madre-hijo.

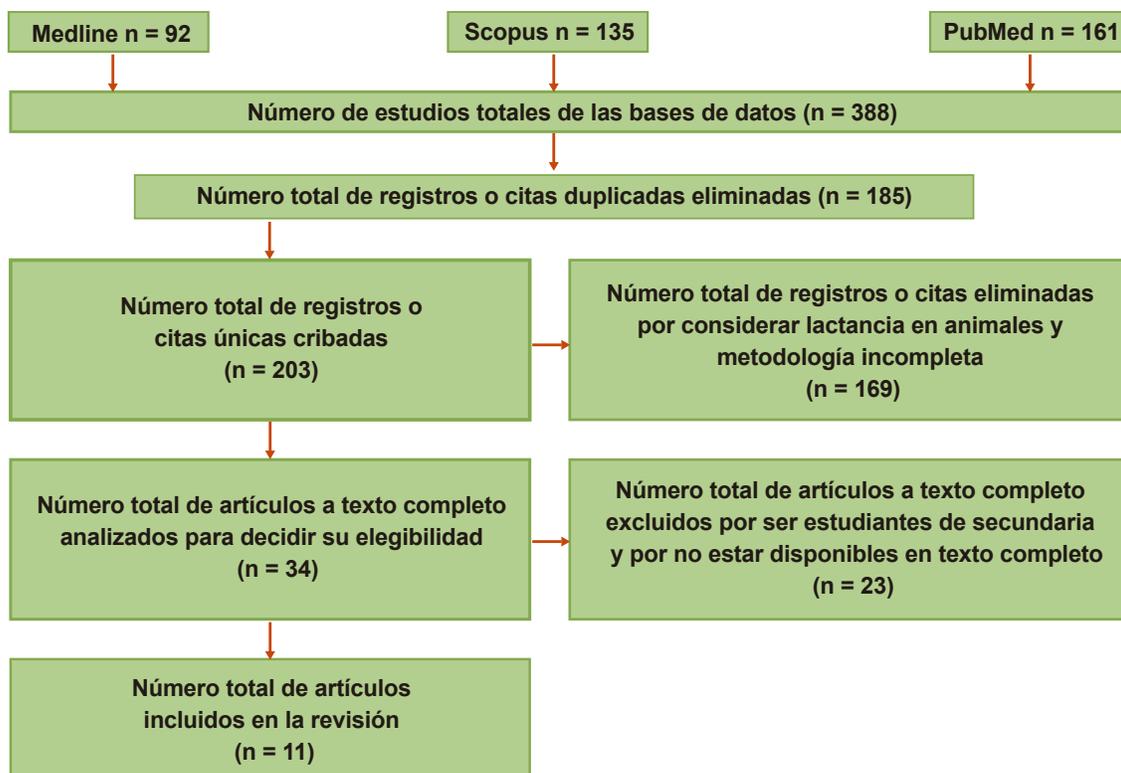
Identificación de bibliografía

La revisión bibliográfica se realizó con base a los lineamientos de la declaración PRISMA (Figura 1). En la estrategia metodológica PICO se incluyeron: P (población) = estudiantes universitarios, I (intervención) y C (comparación) = no aplicaron, y O (resultados) = conocimiento sobre los beneficios de la LM para la madre y el bebé, indicaciones para amamantar, vínculos afectivos, duración de la lactancia y com-

presión de la LM; actitudes sobre los beneficios de la LM, relaciones familiares y apego, beneficios de la LM, duración de la LM, uso de fórmula y biberón, trabajo y lactancia, exposición de la lactancia en público.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en octubre de 2020, por 3 personas de manera independiente en las bases de datos Medline, Scopus y PubMed, con palabras clave en ambos idiomas: amamantar-“breastfeeding”; conocimiento-“knowledge”; amamantar-“breastfeeding”; beneficios-“benefits”; amamantar-“breastfeeding”; salud-“health”; actitudes-“attitudes”; estudiantes-“students”; beneficios-“benefits”.

Se analizaron aquellos artículos relacionados con el conocimiento y actitudes que tienen los universitarios respecto a los beneficios de la LM en la salud del binomio madre-hijo. Se seleccionaron los artículos que incluyeran estudios de corte transversal, longitudinales o



■ Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA para la selección de estudios.

Figure 1. PRISMA flow chart for the selection of studies.

cualitativos cuya población de estudio fueran estudiantes universitarios. Se incluyeron publicaciones de texto completo del 2014 a la fecha, en idiomas inglés y español. Se excluyeron artículos con metodología incompleta, textos que contemplan como población de estudio a las madres, así como aquellos que se referían a lactancia en animales.

Se encontraron 388 estudios cuyo título se relacionaba con los patrones de búsqueda. Se eliminaron 185 artículos repetidos en las bases de datos y publicados antes del 2014, 59 estudios se excluyeron, ya que la población blanco eran madres y no estudiantes. Se excluyeron 13 por considerar estudiantes de secundaria y no universitarios, 10 más por no estar disponibles en texto completo.

La calidad metodológica se evaluó con la escala de la base de datos de evidencia de fisioterapia (PEDro, por sus siglas en inglés: physiotherapy evidence database) (PEDro, 2012). De esta forma, se utilizaron 10 criterios: 1) criterios de selección especificados, 2) tamaño de muestra mayor a 500, 3) instrumento validado de medición de las actitudes o, 4) validez y confiabilidad del estudio y análisis estadístico, 5) características de la muestra, 6) el estudio considera sólo varones, 7) actitudes frente a la LM, 8) considera beneficios en la salud, 9) año de publicación posterior a 2018 e 10) instrumento validado de medición del conocimiento. Para su evaluación a cada criterio cumplido se le asignó un “sí”, y un valor de 10 puntos. En este sentido, se evalúa en una escala del 0 al 100, donde un mayor puntaje es indicativo de mayor calidad.

Respecto a la calidad metodológica (PEDro) de los 11 artículos seleccionados, el de Heathman y col. (2019) fue el que obtuvo mayor calificación con 70 puntos, y 9 artículos más tuvieron 60 puntos (Tabla 1).

Respecto al tipo de estudio, 7 son de corte transversal, 2 de cohorte, 1 cualitativo y 1 que no menciona el tipo de estudio (Tabla 2). En las investigaciones incluidas en el análisis se reportó el uso de diferentes cuestionarios como el

Cuestionario sobre el comportamiento de la lactancia materna (BBQ, por sus siglas en inglés: breastfeeding behavior questionnaire), AFORM: Prueba de conocimientos sobre alimentación infantil formulario A (en inglés, infant feeding knowledge test form A), Cuestionario australiano de conocimientos y actitudes sobre la LM (ABKAQ-20 y ABKAQ-12), por sus siglas en inglés: australian breastfeeding knowledge and attitudes questionnaire), Escala de actitudes de alimentación infantil de Iowa (IIFAS, por sus siglas en inglés: iowa infant feeding attitude), y otros creados, estructurados y autoadministrados para cada estudio (Natan y col., 2018; Linares y col., 2018), en los que se consideraban preguntas con relación al conocimiento y las actitudes respecto a la LM; asimismo, encuestas estructuradas (Vandewark, 2014; Henderson y col., 2017; Heathman y col., 2019), cuestionarios estructurados (Lou y col., 2014; Mohamad y col., 2019) y entrevistas (Yang y col., 2019b) para identificar el nivel de conocimiento y/o actitudes de los estudiantes universitarios. Para la evaluación de las actitudes se utilizó con mayor frecuencia la escala IIFAS, que evalúa el nivel de actitudes respecto a la LM. La distribución de los artículos por región y años de publicación se muestra en la Figura 2, donde se destacan más artículos en Norte América y Asia; siendo el año 2019 cuando se localizaron más estudios con los criterios seleccionados. En la Tabla 3 se muestran un resumen de los artículos incluidos en la revisión.

Conocimiento de los beneficios de la LM **Beneficios para el bebé**

En el estudio de Linares y col. (2018), casi la totalidad de los participantes estuvieron de acuerdo en que la LM es beneficiosa para el bebé y que su práctica reduce el riesgo de enfermedad (99 %). Mientras que en la investigación de Heathman y col. (2019) refirieron que más del 50 % de los participantes no identificaron los beneficios para la salud del infante, incluido un menor riesgo de sobrepeso y obesidad, infecciones de oído y alergias alimentarias. Un 72 % no logró distinguir la relación entre la leche materna y la disminución del riesgo de aparición de diarrea. Esta

diferencia en el nivel de conocimiento sobre los beneficios de la LM para el binomio se debe a la formación especializada recibida por los estudiantes de enfermería del estudio llevado a cabo en el estado de Kentucky, en Estados Uni-

dos (Linares y col., 2018). Por otra parte, el 84 % de los estudiantes encuestados por Lou y col. (2014) en Asia, reconocen que la LM ayuda a prevenir infecciones respiratorias en los bebés y continúan los beneficios después del destete.

■ **Tabla 1. Resultados del análisis de calidad de los artículos seleccionados sobre el conocimiento y actitudes respecto a los beneficios de la lactancia materna en la salud del binomio madre-hijo en estudiantes universitarios.**

Table 1. Results of the quality analysis of the selected articles on the knowledge and attitudes regarding the health benefits of breastfeeding in the mother-child binomial in university students.

Autor, año de publicación	Criterios de selección especificados	Tamaño de muestra > 500	Instrumento validado de medición de las actitudes	Validez y confiabilidad del estudio y análisis estadístico	Características de la muestra	El estudio considera sólo varones	Actitudes frente a la lactancia materna	Considera beneficios en la salud	Año de publicación > al 2018	Instrumento validado de medición del conocimiento	Total
Hamade y col. (2014)	Sí		Sí	Sí	Sí		Sí			Sí	60
Lou y col. (2014)	Sí			Sí	Sí		Sí				40
Vandewark (2014)	Sí		Sí	Sí	Sí		Sí	Sí			60
Jefferson (2017)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí				60
Henderson y col. (2017)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí				60
Yang y col. (2019b)	Sí			Sí	Sí		Sí	Sí	Sí		60
Linares y col. (2018)	Sí	Sí		Sí	Sí			Sí	Sí		60
Natan y col. (2018)	Sí			Sí	Sí		Sí	Sí	Sí		60
Yang y col. (2019a)	Sí		Sí	Sí	Sí				Sí	Sí	60
Heathman y col. (2019)	Sí	Sí		Sí	Sí	Sí	Sí		Sí		70
Mohamad y col. (2019)	Sí			Sí	Sí		Sí	Sí	Sí		60

■ **Tabla 2.** Resultados del análisis de los artículos seleccionados sobre el conocimiento y actitudes respecto a los beneficios de la lactancia materna en la salud del binomio madre-hijo en estudiantes universitarios.

Table 2. Results of the analysis of the selected articles on the knowledge and attitudes regarding the benefits of breastfeeding on the health of the mother-child binomial in university students.

Autor, año de publicación	Tipo de estudio	Muestra	Instrumento de medición de conocimiento	Instrumento de medición de actitudes	Información del cuestionario	Prueba de análisis estadístico y software utilizado
Hamade y col. (2014)	Transversal	n = 393 Hombres = 0 Mujeres = 393 Etnia = Árabe Edades: 18 a 21 = 327 22 a 25 = 66	Cuestionario AFORM. Las puntuaciones van de 0 a 20, a mayor puntaje más conocimiento. BbQ. Se otorgó puntuaciones de 6 puntos en escala Likert (de acuerdo, en desacuerdo o neutral), a mayor puntaje más conocimiento.	Encuesta IIFAS. Las puntuaciones van de 17 a 85, a mayor puntaje actitudes más positivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición a LM • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM • Comportamiento sobre LM • Intención de amamantar 	Regresión lineal multivariable, PASW18.
Lou y col. (2014)	Trasversal	n = 383 Hombres = 136 Mujeres = 247 Etnia = Asiática Edades: < 20 = 128 ≥ 20 = 255	Cuestionario propio. 46 preguntas. Las puntuaciones van de 0 a 13, a mayor puntaje más conocimiento.	Encuesta IIFAS	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM • Datos sociodemográficos 	Regresión logística jerárquica, IBM SPSS 20.0.
Vandewark (2014)	Cohorte	n = 89 Hombres = 7 Mujeres = 82 Edades: 19 a 43 Etnia: Caucásica = 79 Negra/africana = 5 Asiática = 4 Otra = 1	Encuesta electrónica. Las puntuaciones van de 0 a 22, a mayor puntaje más conocimiento.	Encuesta IIFAS. Las puntuaciones van de 1 a 5, a mayor puntaje actitudes más positivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM • Comportamiento sobre LM 	ANOVA, análisis de varianza, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Continúa...

Jefferson (2017)	Transversal descriptivo	n = 696 Hombres = 348 Mujeres = 348 Edades: 18 a 44 Etnia: Afroamericana = 348 Caucásica = 34	No aplica	Encuesta IIFAS. Las puntuaciones van de 17 a 85, a mayor puntaje más actitudes positivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Características demográficas • Actitudes sobre LM • Conocimiento sobre LM 	Análisis descriptivos, SPSS Statistical 21.
Henderson y col. (2017)	No menciona	n = 509 Hombres = 147 Mujeres = 363 Etnia: Afroamericana = 30 Indioamericana = 7 Asiática = 33 Caucásica = 329 Hispana = 87 Otra = 23 Edades: 18 a 25 = 305 26 a 30 = 64 31 a 60 = 133 Mayor de 60 = 7	Encuesta de 40 preguntas	Encuesta IIFAS	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas universitarias sobre LM • Actitudes sobre LM • Conocimiento sobre LM 	ANOVA, FAIRsFAIR
Yang y col. (2019a)	Cohorte	n = 215 Hombres = 44 Mujeres = 171 Edades = 19 a 28 Etnia = Asiática	Cuestionario (ABKAQ-20). Las puntuaciones van de 0 a 20, a mayor puntaje más conocimiento.	Cuestionario (ABKAQ-12). Las puntuaciones van de 1 a 5, a mayor puntaje actitudes más positivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM • Experiencias sobre LM • Expectativas 	COREQ, Quirkos CAQDAS

Continúa...

Yang y col. (2019b)	Cualitativo descriptivo	n = 30 Hombres = 0 Mujeres = 30 Edades: 21 a 22 Etnia = Asiática	Entrevistas de grupo focal (estudio cualitativo descriptivo).	Preguntas formuladas (estudio cualitativo descriptivo).	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM 	Regresión logística múltiple, IBM-SPSS Versión 24.0
Linares y col. (2018)	Transversal descriptivo	n = 135 Hombres = 2 Mujeres = 133 Etnia: Caucásica = 117 Afroamericana = 4 Hispana = 3 Asiática = 7 Otra = 4 Edades: 18 a 20 = 23 21 a 24 = 49 25 a 30 = 23 31 a 39 = 21 Mayor de 40 = 19	Encuesta de conocimiento sobre LM utilizada por Seidel y col. (2013); Las puntuaciones van de 32 a 160, a mayor puntaje más conocimiento.	Encuesta de Seidel y col. (2013).	<ul style="list-style-type: none"> • Características demográficas • Prácticas sobre LM • Conocimiento acerca de LM 	Análisis descriptivos y desviación estándar, IBM SPSS Statistics.
Natan y col. (2018)	Transversal descriptivo	n = 200 Hombres = 138 Mujeres = 62 Edades = no reportadas Etnia: Judía = 162 Otra = 38	Cuestionario de Kavanagh y col. (2012). Las puntuaciones van del 0 al 11, a mayor puntaje más conocimiento.	Cuestionario de Kavanagh y col. (2012). Las puntuaciones van de 0 a 3, a mayor puntaje actitudes más positivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Actitudes sobre LM • Percepción de apoyo de la institución sobre LM 	Análisis descriptivo, SPSS 25.

Continúa...

Heathman y col. (2019)	Transversal	<p>n = 949 Hombres = 949 Mujeres = 0</p> <p>Edades = > 18</p> <p>Etnia: Indio americana = 35 Asiática = 29 Afroamericana = 129 Hispana = 185 Caucásica = 571</p>	<p>Encuesta prospectiva transversal en línea. Las puntuaciones van de 10 a 50, a mayor puntaje a actitudes más positivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Características demográficas • Actitudes sobre LM • Exposición sobre LM • Conocimiento sobre LM 	Chi-cuadrada, IBM Statistiscal Package
Mohamad y col. (2019)	Transversal	<p>n = 162 Hombre = 56 Mujeres = 106</p> <p>Etnia: Malaya = 72 Asiática = 75 India = 11 Otra = 4</p> <p>Edades: 24 = 100 25 = 49 26 = 7 27 = 6</p>	<p>Cuestionario desarrollado y validado por Mohamad y col. (2019) (Alfa de Cronbach = 0.831) Las puntuaciones van de 11 a 44, a mayor puntaje a actitudes más positivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre LM • Intención de amamantar • Características demográficas • Actitudes sobre LM 	Regresión Logística simple y múltiple, IBM SPSS Statistics.

ABKAQ-20: Cuestionario australiano de conocimientos y actitudes sobre la LM; ABKAQ-12: Cuestionarios australiano de conocimientos y actitudes sobre la LM (versión corta); AFORM: Prueba de conocimientos sobre alimentación infantil formulario A; BBQ: Breastfeeding Behavior Questionnaire (Cuestionario sobre el comportamiento de LM); IIFAS: Iowa Infant Feeding Attitude (Escala de actitudes de alimentación infantil de Iowa).



■ **Figura 2. Distribución de los artículos por región y año de publicación.**

Figure 2. Distribution by region and year of publication.

Mohamad y col. (2019) reportaron un 95 % de aciertos en el reconocimiento en la reducción del riesgo de infección pulmonar, protección contra las alergias, buen desarrollo de los dientes y la encía del bebé, así como aumento de la inteligencia.

Beneficios en la madre

Universitarios asiáticos identificaron que las mujeres que han amamantado tienen un menor riesgo de padecer cáncer de mama (Yang y col., 2019a). Estos resultados son similares a los encontrados por Mohamad y col. (2019). Por su parte, Hamade y col. (2014) reportaron que alrededor de un 65 % de los participantes en Siria y Líbano, no eran conscientes de la disminución del riesgo de hemorragia posparto con la LM; así también, registran que la LM exclusiva ayuda a estimular la contracción uterina en la madre y prevenir la congestión mamaria. Finalmente, estudiantes de Norteamérica (Linares y col., 2018), consideraron que la LM beneficia la salud de la madre reduciendo el riesgo de enfermedades y ayuda a la pérdida de peso materna.

Edad

Lou y col. (2014), identificaron que estudiantes

jóvenes (< 20 años) tenían mayor conocimiento sobre la duración de la LM, los beneficios para la salud del bebé y la madre, también sobre los vínculos afectivos y las técnicas adecuadas para llevar a cabo la LM. Sin embargo, Heathman y col. (2019) documentaron la edad de los estudiantes como un predictor de la puntuación de conocimiento sobre la LM, encontrando que a mayor edad, existía más conocimiento. En este mismo sentido, Henderson y col. (2017) reportaron que los encuestados más jóvenes obtuvieron puntuaciones más bajas en el nivel de conocimiento que sus contrapartes mayores. Dicha situación puede tener relación con lo descrito por Linares y col. (2018) y Natan y col. (2018), quienes identificaron más conocimiento en población mayor, sobre todo cuando los estudiantes ya habían sido padres de familia, detectaron diferencias significativas entre este sector y los que aún no tenían hijos.

Sexo

Respecto al nivel de conocimiento por sexo hay reportes diversos, por un lado, en el estudio de Lou y col. (2014), los hombres obtuvieron puntuaciones más altas que las mujeres, a diferencia del estudio presentado por Heathman

■ Tabla 3. Información sobre conocimiento y actitudes respecto a los beneficios de la lactancia materna en la salud del binomio madre-hijo en estudiantes universitarios.

Table 3. Information on knowledge and attitudes regarding the benefits of breastfeeding on the health of the mother-child binomial in university students.

Autor, año de publicación	Nivel de conocimiento	Nivel de actitudes	Carrera y grado de estudio	Resultados	Conclusiones
Hamade y col. (2014)	Medio (10.39 ± 2.09)	Positivo (58.12 ± 6.49)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes universitarios de diversas áreas de la Universidad del Líbano y Siria Pregrado 	<ul style="list-style-type: none"> Efectos de la LM sobre la forma del pecho LM en público Inconveniencia para una madre que trabaja Percepción de contraindicaciones y restricciones en la dieta de la madre 	<ul style="list-style-type: none"> Intervenciones y la promoción de los beneficios Desmitificar conceptos erróneos de la LM Políticas y leyes que promuevan y apoyen la LM
Lou y col. (2014)	Moderado (10.0 ± 1.68)	Positivo (3.76)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes universitarios de diversas áreas de la Universidad de Sichuan Pregrado 	<ul style="list-style-type: none"> La decisión de amamantar la deben tomar conjuntamente la madre y el padre Intención de amamantar/apoyar a una pareja a amamantar en el futuro Los hombres fueron más propensos a la intención de apoyar a una pareja de amamantar en el futuro Incomodidad hacia la LM en público Identificación de los beneficios de la LM en cuanto a prevención de infecciones respiratorias en el bebé y después del destete 	<ul style="list-style-type: none"> Crear una cultura de apoyo donde la LM sea ampliamente aceptada La importancia del padre y los abuelos del bebé en la decisión de amamantar puede revelar un área importante de intervención en esta población

Continúa...

Vandewark (2014)	Medio (13.38 ± 2.7)	Medio (2.61 ± 0.45)	<ul style="list-style-type: none"> Enfermería Estudiantes de segundo año de la carrera de la Universidad de Atlántica de afiliación religiosa 	<ul style="list-style-type: none"> Los estudiantes no se sentían preparados para educar a las familias sobre los beneficios de la LM Los estudiantes de último año son capaces y cómodos con la LM Correlación de actitudes positivas y conocimiento Inquietudes sobre la eficacia de la educación sobre LM 	<ul style="list-style-type: none"> Existe incongruencia entre las percepciones de los estudiantes de enfermería sobre su nivel de conocimiento Se requiere educación de enfermeras en relación con el conocimiento y las actitudes sobre la LM Mayor promoción de la LM y la educación
Jefferson (2017)	No evaluado	Positivo (59 ± 7.47)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes de la Universidad de Missouri Licenciatura 	<ul style="list-style-type: none"> Exposición significativa a la LM Actitudes favorables con respecto a la LM Las probabilidades de experimentar exposiciones de la LM y actitudes positivas hacia la LM fueron aproximadamente 3 veces más altas para los estudiantes caucásicos que para los estudiantes afroamericanos 	<ul style="list-style-type: none"> Los factores externos como la exposición y las actitudes tienen una asociación más fuerte con las intenciones de amamantar Las diferencias de razas y género predijeron la exposición y las actitudes Se necesitan intervenciones para que las poblaciones vulnerables aumenten la exposición a la LM y mejoren las actitudes de la LM antes del embarazo y durante el embarazo temprano
Henderson y col. (2017)	Alto	Positivo (59.46 ± 2.503)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes universitarios de diversas áreas Pregrado Postgrado 	<ul style="list-style-type: none"> Actitudes favorables hacia la LM en el lugar de trabajo Comparativa sobre qué es mejor, fórmula o LM Beneficios del campus para las madres lactantes 	<ul style="list-style-type: none"> Los niveles de conocimiento sobre LM y apoyo positivo fueron alentadores La educación sobre la LM tiene el potencial de cambiar las percepciones, aumentar la aceptación Las universidades son un entorno único para contribuir y beneficiarse de los esfuerzos educativos para cambiar las normas

Continúa...

<p>Yang y col. (2019a)</p>	<p>Medio (4.20 + 0.49)</p>	<p>Positivo (9.43 + 2.47)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Enfermería Pregrado 	<ul style="list-style-type: none"> Los estudiantes no tienen confianza en apoyar la LM en el entorno clínico Importancia de generar confianza para apoyar eficazmente a las madres Los alumnos brindarán información sobre LM 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar habilidades de comunicación efectivas y generar confianza antes de la colaboración clínica
<p>Yang y col. (2019b)</p>	<p>Medio</p>	<p>Positivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> Enfermería Segundo año de la carrera Universidad privada 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio en el conocimiento sobre los beneficios de la LM Mejora de las actitudes 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de conocimiento y actitudes respecto a la LM El conocimiento y las actitudes son importantes a considerar al desarrollar un programa integral de educación sobre LM
<p>Linares y col. (2018)</p>	<p>Bajo</p>	<p>Medio</p>	<ul style="list-style-type: none"> Enfermería Pregrado, posgrado y Doctor en Práctica de Enfermería Universidad de Kentucky 	<ul style="list-style-type: none"> Conceptos erróneos sobre la LM La LM es beneficiosa para el bebé y reduce el riesgo de enfermedad Beneficia la salud de la madre Los padres deben decidir cómo alimentar a su bebé Método preferido de alimentación en los Estados Unidos 	<ul style="list-style-type: none"> Se reconoce que la LM es el método preferido para alimentar a los recién nacidos y bebés Reconocen que la leche materna aporta muchos beneficios para la salud del binomio madre-hijo Falta de conocimiento y conceptos erróneos sobre LM

Continúa...

Natany col. (2018)	Alto (10 ± 1.25)	Positivo (3 ± 0.5)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes de enfermería y otras facultades Pregrado 	<ul style="list-style-type: none"> Actitudes positivas hacia la LM Intención de amamantar durante los estudios Percepción del apoyo institucional a la LM Nivel de conocimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Se debe poner más énfasis en los programas de educación en enfermería para mejorar las actitudes de los estudiantes de enfermería hacia la LM Es importante asegurar el diseño de un entorno pro-1
Heathman y col. (2019)	Bajo (2.01 ± 1.05)	Positivo (39.24 ± 6.64)	<ul style="list-style-type: none"> Estudiantes de diversas áreas de la Universidad del Este de Texas Pregrado 	<ul style="list-style-type: none"> La exposición a la LM fue alta, > 80 % presenció la LM Los puntajes de la actitudes altos indicaron la aceptabilidad social de la LM. Conocimiento limitado de los beneficios de la LM 	<ul style="list-style-type: none"> La compleja decisión de amamantar está determinada por numerosos factores, incluida la influencia del padre Las actitudes positivas de los participantes son prometedoras, lo que indica apoyo y defensa de este tipo de alimentación infantil
Mohamad y col. (2019)	Medio (23.4 ± 3.16)	Positivo (31.9 ± 6.33)	<ul style="list-style-type: none"> Medicina y odontología Último año de la universidad Sains Malasia 	<ul style="list-style-type: none"> La mayoría de los estudiantes mostró actitudes positivas hacia la LM exclusiva Los estudiantes mostraron un nivel de conocimiento generales y un buen conocimiento de los beneficios de la LM en el bebé 	<ul style="list-style-type: none"> Actitudes generalmente favorables hacia las intenciones de practicar la LM exclusiva Políticas y programas para proteger, promover y apoyar la LM La necesidad de que las escuelas de medicina y odontología aborden la falta de conocimiento sobre LM

y col. (2019) donde solo participaron hombres y registraron puntuaciones bajas. Por su parte Henderson y col. (2017) no reportaron diferencias significativas en la comparación entre hombres y mujeres.

País o etnia

Con respecto a la pertenencia étnica, los estudiantes caucásicos (65 %) que participaron en el estudio de Henderson y col. (2017) tenían un nivel de conocimiento alto y fueron capaces de identificar los beneficios de la LM en la salud del binomio madre e hijo, el incremento del costo de la alimentación con fórmula y reconocieron a la leche materna como el alimento ideal para los bebés. Heathman y col. (2019), por su parte identificaron que la etnia no era indicador del conocimiento sobre la LM, ya que los participantes caucásicos, afroamericanos y asiáticos tenían un nivel de conocimiento bajo. En otros estudios cuya muestra de población es perteneciente a la etnia asiática se mostró un nivel de conocimiento medio sobre la LM (Lou y col., 2014; Mohamad y col., 2019; Yang y col., 2019a; 2019b).

En cuanto al conocimiento general, se encontró que el 70 % de los estudiantes de Malasia (Mohamad y col., 2019) estuvieron de acuerdo en que la LM es menos costosa que la alimentación con fórmula y un 60.5 % mencionó que la LM puede ahorrar gastos familiares. Por otro lado, más del 80 % de los estudiantes participantes de Norteamérica y Asia reconocieron a la LM como el alimento más saludable para el bebé (Lou y col., 2014 y Jefferson, 2017). La mayoría (70 %) de los estudiantes estadounidenses de enfermería consideraban la LM como el método de alimentación preferido para un bebé e informaron que la LM es normal para sus familias (Linares y col., 2018). Por otro lado, Lou y col. (2014) en su investigación mostraron que el 91.8 % de los estudiantes asiáticos refieren que la LM ayudará a la madre a sentirse más cerca de su bebé.

Sobre el conocimiento de la duración de la LME durante los primeros 6 meses de vida, únicamente el 16.12 % de universitarios nor-

teamericanos conocían el periodo recomendado (Heathman y col., 2019), a diferencia del estudio de Mohamad y col. (2019), en donde la mayoría de los estudiantes de Malasia sabían que, la LM debe iniciarse dentro de los 30 min posteriores al parto y que la duración correcta de la LME es de 6 meses.

Área de estudio

Acerca de las áreas de estudio, existió diferencia en el nivel de conocimiento que tenían los estudiantes del área de la salud sobre la LM con relación a los estudiantes de otras áreas no médicas. Yang y col. (2019a) expresaron que el nivel de conocimiento relacionado con la LM puede aumentar por la instrucción teórica (aula y laboratorio) que reciben los estudiantes profesionales de la salud. En ese sentido, Natan y col. (2018), encontraron que los estudiantes de enfermería tenían un nivel de conocimiento más alto que los estudiantes de áreas diferentes a la salud, sin embargo, es necesario tomar en consideración que Yang y col. (2019b) sugieren que el aprendizaje en el aula no prepara adecuadamente a los estudiantes para apoyar a las madres con la LM, por ende, estudiantes de enfermería informaron que para mejorar el nivel de conocimiento sobre la LM necesitan tener más ejercicios prácticos antes de iniciar el ejercicio clínico. Los participantes del estudio de Heathman y col. (2019) no pertenecientes al área de la salud obtuvieron un nivel de conocimiento bajo, reconocieron la asequibilidad de la LM, pero no identificaron que la nutrición ofrecida por la leche materna es superior a la alimentación con leche de fórmula, además de los múltiples beneficios para la salud de la madre y el hijo.

Actitudes de los beneficios de la LM

Respecto a las actitudes de los beneficios de la LM en la vida social y laboral de las madres, Heathman y col. (2019) refirieron que la mayoría de los encuestados (82 %) manifestaron estar en desacuerdo con que la LM atará a la madre e interferirá en su vida social. Por su parte, en el estudio de Henderson y col. (2017) aproximadamente una cuarta parte (22.8 %) de los participantes consideraban que la for-

mula era mejor que la lactancia materna cuando una madre regresaba al trabajo.

Yang y col. (2019b) documentaron las actitudes respecto al consumo de leche materna, se reportó que el 75.8 % de su población de estudio se inclinó por la igualdad de la fórmula y la leche materna como alimentos saludables. Sin embargo, las mujeres (54 %) del estudio de Jefferson (2017), estuvieron en desacuerdo con la afirmación de que la fórmula es tan saludable como la leche materna, en comparación con el 42 % de los hombres.

Edad

En lo que respecta al nivel de actitudes sobre la LM, Mohamad y col. (2019), indicaron que la mayoría de los adultos jóvenes (93.2 %) tenían actitudes positivas. En contraste con los resultados de Henderson y col. (2017) en donde los encuestados de mayor edad mostraron actitudes de comprensión y obtuvieron un nivel más alto que los estudiantes más jóvenes.

Sexo

Con relación al nivel de actitudes sobre la LM por sexo, Lou y col. (2014) mostraron diferencias según el sexo, ya que los hombres obtuvieron un nivel más alto que las mujeres. Lo mismo documentaron Heathman y col. (2019), en donde más del 80 % de los varones participantes tuvieron un nivel positivo de actitudes hacia la LM.

Por otro lado, Jefferson (2017), reportó que las mujeres tenían actitudes más positiva en comparación con los hombres, sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Cabe resaltar que culturalmente la mujer sigue teniendo un rol primordial en ejercicio de la LM en comparación con los hombres (Martínez y col., 2017), aunque esto no implica que el hombre no tenga un rol importante a nivel social, por lo cual es necesario que tanto hombres como mujeres conozcan los beneficios de la LM para el mejoramiento de la salud de generaciones futuras.

En relación con las actitudes, el uso de la escala IIFAS en varios estudios permitió identificar

diferencias en sus niveles. Hamade y col. (2014) reportaron que las actitudes positiva se mantenía por encima de la media (58.12 ± 6.49 %) tanto para hombres como para mujeres y no encontró diferencias significativas por sexo. Por otro lado, Henderson y col. (2017) encontraron diferencias significativas respecto al sexo, teniendo menor puntuación los hombres (59.86 %) en comparación con las mujeres (61.86 %). Caso similar fue documentado por Jefferson (2017), donde también las mujeres obtuvieron una puntuación más alta con respecto a las actitudes de amamantar (60 %).

País o etnia

Referente a las actitudes con base en la pertenencia étnica, Hamade y col. (2014) mencionaron que los estudiantes árabes (libaneses y sirios) consideraban la LM como uno de los grandes placeres de la maternidad, registrado como un nivel positivo en las actitudes sobre la LM. Estudiantes asiáticos mantuvieron actitudes positivas en los beneficios de la LM, el predominio de la LM sobre el uso de fórmula y biberón, asimismo consideraron que la LME es la mejor opción para las madres que trabajan (Lou y col., 2014; Mohamad y col., 2019; Yang y col., 2019a; 2019b).

La mayoría de los estudiantes de Malasia (63 %) incluidos en el estudio de Mohamad y col. (2019) manifestaron estar de acuerdo en que LME puede ser difícil en lugares públicos. Por otro lado, Lou y col. (2014) identificaron que el 58.2 % de los estudiantes chinos sentían vergüenza de que sus parejas amamantaran en público, así mismo la aceptabilidad de la LM en público fue baja (34.7 %), y Jefferson (2017) reportó que los estudiantes caucásicos tenían unas actitudes positiva sobre la LM, contrario a los estudiantes afroamericanos que mostraron niveles 3 veces menores, obteniendo como resultado unas actitudes media. Por su parte, Linares y col. (2018), señalaron en su investigación que los estudiantes caucásicos (85.9 %) presentaron un nivel de actitudes medio, pues consideraban que la alimentación con biberón es más fácil y no reconocen que la leche de fórmula conduce a la obesidad.

Los niveles de conocimiento y actitudes por región se muestran en la Figura 3. Se encontró que solo un artículo (Jefferson, 2017) no estaba relacionado con el nivel de conocimiento.

Área de estudio

Según Natan y col. (2018) no se encontró diferencia entre los estudiantes del área de la salud y los de otras áreas, ambos grupos coincidían en la evaluación positiva de las actitudes hacia la LM. Esto concuerda con lo reportado por Vandewark (2014) donde se observó que los estudiantes del área de la salud presentaron unas actitudes positivas. Al igual que Heathman y col. (2019), registraron actitudes positivas hacia la LM en estudiantes no pertenecientes al área de la salud. Por su parte, Yang y col. (2019a) encontraron que el nivel de las actitudes sobre la LM en universitarios del área de la salud aumentó con la educación teórica (5 %) y la práctica clínica (5 %).

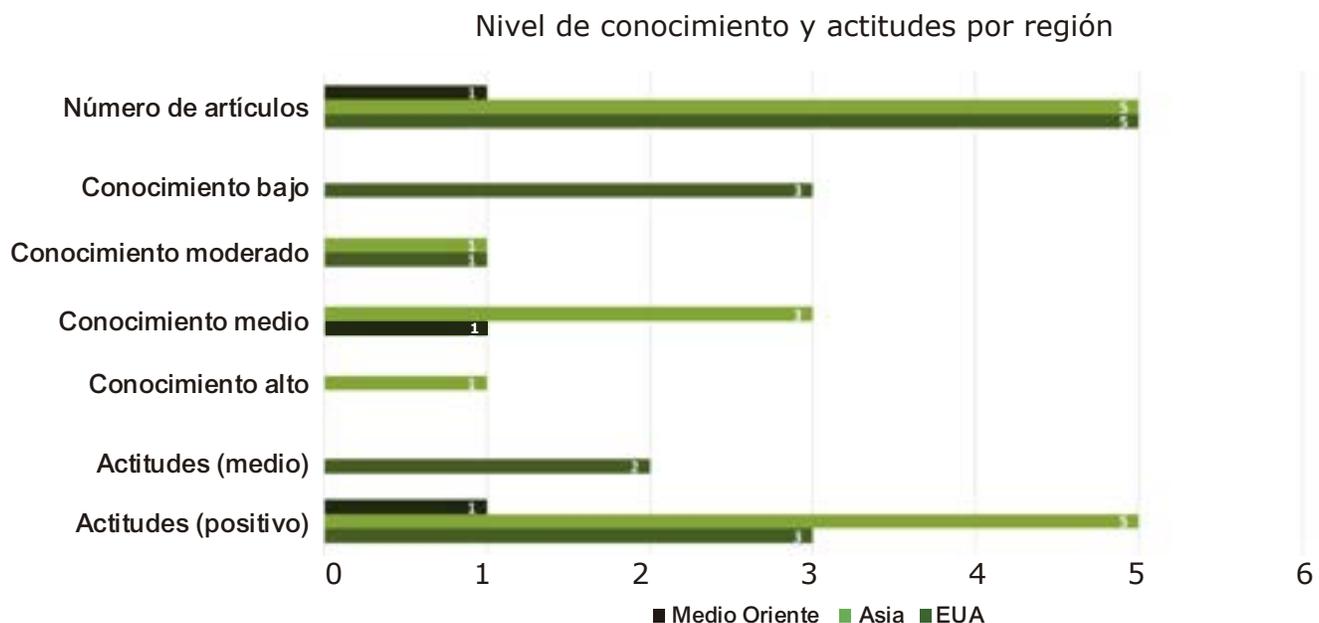
En el estudio presentado por Yang y col. (2019a) se describe que los planes de estudio del área de la salud, abordan el conocimiento y acti-

tudes de la LM en la asignatura de salud materno-infantil, a través de clases teóricas, aprendizaje simulado y práctica de habilidades en el laboratorio, busca que los estudiantes adquieran conocimiento y conceptos básicos sobre la LM, incluyendo los beneficios en la salud de la madre e hijo, posturas y técnicas para amamantar, duración de la LME, vínculos afectivos, así como las barreras sociales y problemas comunes de la LM. Es primordial que los profesionales y estudiantes de las áreas de la salud tengan unas actitudes positiva hacia la LM y el conocimiento y habilidades suficientes para orientar y promover la práctica de la LM (Vandewark, 2014; Linares y col., 2018; Natan y col., 2018; Yang y col., 2019b).

Los hallazgos por edad, sexo y área de estudio se muestran en la Figura 4, observándose en general un nivel de conocimiento medio (4a), pero un nivel de actitudes positivo hacia la lactancia (4b).

Barreras de la lactancia materna

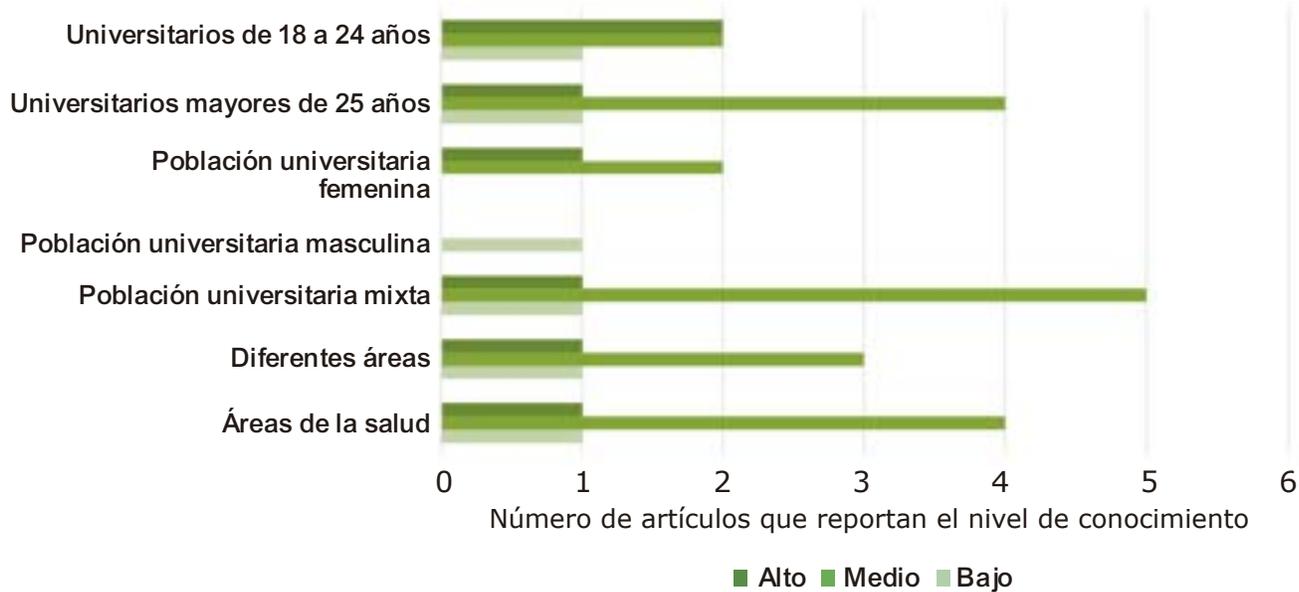
Jefferson (2017) manifestó que más estudian-



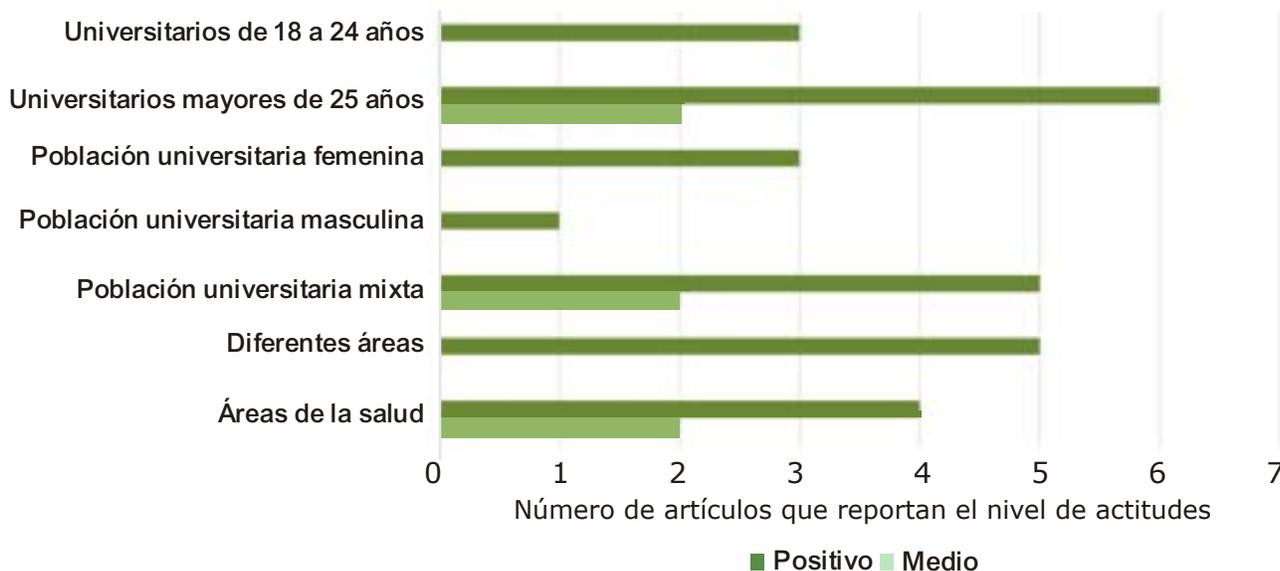
■ Figura 3. Número de reportes de los niveles de conocimiento y actitudes por región.

Figure 3. Number of reports of the levels of knowledge and attitude by region.

a) Nivel de conocimiento por edad, sexo y área de estudio



b) Nivel de actitudes por edad, sexo y área de estudio



■ Figura 4. Nivel de conocimiento (a) y actitudes (b) por edad, sexo y área de estudio.

Figure 4. Level of knowledge (a) and attitudes (b) by age, sex and area of study.

tes varones (45 %) estuvieron de acuerdo en que la alimentación con fórmula es una mejor opción si la madre trabaja fuera del hogar en comparación con las mujeres (28 %). Al igual, Yang y col. (2019a) reportaron que el 94.3 % de los estudiantes considerados en su investigación están de acuerdo en que la alimenta-

ción de fórmula es la mejor opción si la madre planea salir a trabajar, ya que es más confiable, porque puede calcular la cantidad exacta de leche que está recibiendo el bebé. Sin lugar a dudas estas actitudes son resultado de las barreras de la LM, por ende, Henderson y col. (2017) en su estudio proponen la iniciati-

va para un lugar de trabajo amigable para las madres y un clima universitario favorable para llevar a cabo la LM, así como la implementación de programas educativos que favorezcan la promoción de la LM.

Lactancia materna en público

Heathman y col. (2019), en particular, con respecto a las actitudes de la exhibición pública de la LM, fueron positivas. Los participantes estadounidenses estuvieron de acuerdo en que la exhibición pública de la LM, ya sea en una revista, cartelera o programa de televisión familiar, era igualmente aceptable. Por su parte, Lou y col. (2014) identificaron en hombres valores más altos en las actitudes respecto a la LM, en comparación a las mujeres, el 62.7 % de ellos mencionó no sentirse incómodo si una mujer amamanta en público, mientras que el 13.4 % de las mujeres contestó de forma contraria.

Los hombres tienden a formar actitudes favorables sobre la LM a edades tempranas (Henderson y col., 2017) y como padres, las opiniones de los hombres son muy influyentes en las elecciones de alimentación infantil de sus parejas. Los factores externos como la exposición y las actitudes mostraron una asociación más fuerte con las intenciones de amamantar, que

la raza y el género (Jefferson, 2017). Sin embargo, para Jefferson (2017), los puntajes de las actitudes más altos fueron mayores para los caucásicos que para los afroamericanos, lo que demuestra una diferencia significativa por raza, aunque los puntajes de conocimiento son el único contribuyente significativo en la predicción de las intenciones de amamantar.

CONCLUSIONES

La población universitaria encuestada mostró bajo nivel de conocimiento en aspectos relevantes, tales como, la duración de la lactancia materna exclusiva, el efecto benéfico de la misma en la reducción del riesgo de desarrollo de obesidad, infecciones de oído, diarrea o alergias alimentarias. Esto fue particularmente notorio en estudiantes que no eran del área de la salud. En cuanto a las actitudes, se identificó una alta aceptación social de la práctica de la lactancia materna, pero, los estudiantes consideraron a la alimentación con fórmula como una opción más práctica. Es necesario, continuar con investigaciones que integren la evaluación conductual de los jóvenes universitarios, así como de diversos sectores de la sociedad, que permitan explicar los cambios en acciones y comportamientos hacia la lactancia materna.

REFERENCIAS

- AEPED, Asociación Española de Pediatría (2012). Recomendaciones sobre lactancia materna España, en *AEPED. publications*. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeped.es/sites/default/files/201202-recomendaciones-lactancia-materna.pdf>. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2020.
- González, T. y Ferré, I. (2016). Lactancia materna y beneficios para el niño, en *Lactancia Materna en México*. [En línea]. Disponible en: https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/LACTANCIA_MATERNA.pdf. Fecha de consulta: 21 de diciembre de 2020.
- Hamade, H., Farah, N., Keyrouz, S., Hwalla, N., Karam, J., Al-Rustom, L., and Nasreddine, L. (2014). Breastfeeding knowledge, attitude, perceived behavior, and intention among female undergraduate university students in the Middle East: the case of Lebanon and Syria. *Food and Nutrition Bulletin*. 35(2): 179-90.
- Heathman, L., Douglas, C. C., and Camel, S. P. (2019). Relationship among breastfeeding exposure, knowledge, and attitudes in collegiate males residing in East Texas. *Journal of Human Lactation*. 35(4): 782-789.
- Henderson, J., Chapman, J., Thomas-Jackson, S., Kelly, L., and Mulrow, M. (2017). Campus Climate. *Clinical Lactation*. 8(4): 158-168.
- Jefferson, U. T. (2017). Breastfeeding Exposure, Attitudes, and Intentions of African American and Caucasian College Students. *Journal of human lactation: Official Journal of International Lactation Consultant Association*. 33(1): 149-156.
- Kavanagh, K. F., Lou, Z., Nicklas, J. C., Habibi, M. F., and Murphy, L. T. (2012). Breastfeeding knowledge, attitudes, prior exposure, and intent among undergraduate students. *Journal of Human Lactation*. 28(4): 556-564.
- Linares, A. M., Parente, A. D. N., and Coleman, C. (2018). Attitudes, Practices, and Knowledge About Human Lactation Among Nursing Students. *Clinic Lactation*. 9(2): 59-65.

- Lou, Z., Zeng, G., Orme, J., Huang, L., Liu, F., Pang, X., and Kavanagh, K. (2014). Breastfeeding Knowledge, Attitudes, and Intention in a Sample of Undergraduate Students in Mainland China. *Journal Of Human Lactation*. 30(3): 331-339.
- Martínez, U., Rangel, Y. y Rodríguez, E. (2017). ¿Lactancia materna o en pareja? Un estudio sobre las experiencias de reconfiguración de cuerpos, roles y cotidianidades en madres y padres mexicanos. *Cadernos de Saúde Pública*. 33(9): 1-10.
- Maslow, A. (1975). *Motivación y personalidad* (Primera edición). Barcelona: Ed. Sagitario. 145 Pp.
- Mohamad, N., Saddki, N., Azman, K. N. K., and Ab-Aziz, I. D. (2019). Knowledge, Attitude, Exposure, and Future Intentions toward Exclusive Breastfeeding among University Sains Malaysia Final Year Medical and Dental Students. *Korean Journal of Family Medicine*. 40(4): 261.
- Mosca, F. and Gianni, M. L. (2017). Human milk: composition and health benefits. *Revista La Pediatría Medica e Chirurgicala*. (39): 47-52.
- Natan, M. B., Haikin, T., and Wiesel, R. (2018). Breastfeeding knowledge, attitudes, intentions, and perception of support from educational institutions among nursing students and students from other faculties: a descriptive cross-sectional study. *Nurse Education Today*. (68): 66-70.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (1981). Informe sobre el estudio en colaboración de la OMS acerca de la lactancia natural Ginebra, Suiza, en *WHO publications*. [En línea]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40109/9243560670.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 21 de diciembre de 2020.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2020). Lactancia materna, en *WHO publications*. [En línea]. Disponible: <https://www.who.int/topics/breastfeeding/es/>. Fecha de consulta: 21 de diciembre de 2020.
- Paredes-Juárez, E. (2019). Conocimiento y práctica sobre lactancia materna de mujeres primigestas derechohabientes de una Unidad de Medicina Familiar. *Unidad de Medicina Familiar. Revista de Enfermería del Instituto Mexicano del Seguro Social*. 26(4): 239-247.
- Patil, D., Pundir, P., Dhyani, V., Krishnan, J., Parsekar, S., D'Souza, S., ..., and Renjith, V. A. (2020). Mixed-methods systematic review on barriers to exclusive breastfeeding. *Nutrition and Health*. 26(4): 323-346.
- PEDro, Physiotherapy Evidence Database (2012). Estadísticas de PEDro 2012. [En línea]. Disponible en: <https://pedro.org.au/spanish/learn/pedro-statistics/#:-:text=La%20escala%20PEDro%20fue%20desarrollada,va%20de%200%20a%2010>. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020.
- Seidel, A. K., Schetzina, K. E., Freeman, S. C., Coulter, M. M., and Colgrove, N. J. (2013). Comparison of breast-feeding knowledge, attitudes, and beliefs before and after educational intervention for rural Appalachian high school students. *Southern Medical Journal*. 106(3): 224-229.
- Vandewark, A. (2014). Breastfeeding Attitudes and Knowledge in Bachelor of Science in Nursing Candidates. *The Journal of Perinatal Education*. 23(3):135-141.
- Yang, S., Burns, E., Salamonson, Y., and Schmied, V. (2019b). Expectations and experiences of nursing students in supporting new mothers to breastfeed: a descriptive qualitative study. *Journal of Clinical Nursing*. 28(11-12): 2340-2350.
- Yang, S., Schmied, V., Burns, E., and Salamonson, Y., (2019a). Breastfeeding knowledge and attitudes of baccalaureate nursing students in Taiwan: A cohort study. *Women and Birth*. 32(3): 334-340.



Influencia de la adicción a las redes sociales en la reprobación escolar de estudiantes de nivel licenciatura

Influence of addiction to social networks on school failure in bachelor level students

Carlos Miguel Amador-Ortiz

RESUMEN

Las redes sociales son herramientas que facilitan la comunicación y el acceso a información, con aplicaciones en diferentes ámbitos. Su uso hace eficiente variados procesos y ayuda a resolver problemas; a su vez, son ampliamente utilizadas con fines recreativos. Sin embargo, un uso desmedido puede generar efectos negativos a los usuarios. El objetivo del presente trabajo fue examinar la relación entre la adicción a las redes sociales y la reprobación escolar en estudiantes universitarios. Se utilizó un cuestionario estandarizado, con una escala de Likert, el cual se aplicó a una muestra de 539 estudiantes universitarios. Los datos fueron analizados con relación a la reprobación, mediante una prueba de hipótesis Chi-cuadrado de Pearson en los totales obtenidos en el cuestionario en baja y alta adicción, y por factores con media y alta adicción. Los estudiantes analizados se categorizaron en adicción baja (57 %), media (36 %) y alta (7 %). Los resultados generales mostraron una relación significativa entre alta adicción y reprobación y, en específico, en los factores obsesión por las redes sociales y uso excesivo de las mismas. No se hallaron asociaciones significativas en el factor falta de control personal y tampoco en los de adicción media y reprobación. Se concluyó que la adicción a las redes sociales tiene un efecto negativo en el rendimiento académico, llegando a impactar en la reprobación escolar de estudiantes universitarios.

PALABRAS CLAVE: redes sociales, adicción, reprobación, rendimiento académico, estudiantes universitarios.

ABSTRACT

Social networks are tools that facilitate communication and access to information with applications in different areas, their use makes several processes more efficient, and help to solve problems, additionally they are widely used for recreational purposes. However, an excessive use can have negative implications for individuals. The purpose of this study is to analyze the relationship between addiction to social networks and school reprobation in college students. A standardized questionnaire with a Likert scale was administered to a sample of 539 university students. The data was analyzed in relation to failure using a Pearson Chi-square hypothesis test in the totals obtained in the questionnaire with low and high addiction, and by factors with medium and high addiction. The surveyed students were categorized as low addiction to social networks (57 %), medium addiction to social networks (36 %) and high addiction (7 %). The overall results showed a significant association between high addiction and failure, specifically in the factors associated with obsession with social networks and their excessive use. No meaningful associations were found either in the lack of personal factor control or in the medium addiction factors to social networks and failure. Conclusions highlight that addiction to social networks has a negative effect on academic performance, impacting on school failure of university students.

KEYWORDS: social networks, addiction, reprobation, academic performance, university students.

*Correspondencia: carlos.amador@vallarta.tecmm.edu.mx/ Fecha de recepción: 15 de diciembre de 2020/ Fecha de aceptación: 13 de abril de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, campus Puerto Vallarta, calle Corea del Sur núm. 600, col. El Mangal, Puerto Vallarta, Jalisco, México, C. P. 48338.

INTRODUCCIÓN

La comunicación es uno de los ámbitos más notables en que ha incidido la revolución tecnológica. Con la masificación de dispositivos móviles y la accesibilidad al internet se le han generado nuevos espacios; uno de estos son las redes sociales, consideradas por Kuss y Griffiths (2011) como comunidades virtuales donde los usuarios pueden crear perfiles, interactuar con amigos reales y conocer personas con quienes comparten determinados intereses. Estos espacios virtuales han ganado una enorme popularidad dada su facilidad para establecer comunicación, para compartir imágenes, videos, mensajes de texto y códigos (incluso, algunos propios de estos escenarios virtuales). En 2004 se funda Facebook y es, de acuerdo con datos de Statista (2019), la red social más popular, con 2 320 millones de usuarios, seguida de Youtube con 1 900 millones, WhatsApp con 1 600 millones, Wechat con 1 098 millones e Instagram con 1 000 millones.

Las redes sociales están disponibles de forma permanente en el ordenador o en el teléfono móvil, y “a diferencia de otras tecnologías, no hay control externo de estímulos ni están afectadas por condiciones climáticas u horarias” (Carbonell y Oberst, 2015: 15). Además, no tienen costo.

Existe un debate entre autores acerca de si conceptualizar el uso desmedido de las redes sociales como problemático o como una adicción (relacionada más con un trastorno psicológico). Caro (2017) menciona que lo que realmente representa un riesgo de adicción son los juegos online, no así las redes sociales; Carbonell y Oberst (2015) argumentan que estas pueden provocar algunas consecuencias negativas, pero la adicción no sería una de ellas; Marín-Díaz y col. (2019) efectuaron un estudio empírico con un enfoque de uso problemático, al no estar incluida la adicción a las redes sociales en el manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-5, por sus siglas en inglés: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders). Otros autores (Young, 1998; Echeburúa y De-Corral, 2010; Kuss y Griffiths,

2011; Eскурra-Mayaute y Salas, 2014; Leiva-Gutiérrez, 2018) concluyen que las adicciones a sustancias y el uso excesivo de las redes sociales poseen características similares, tales como dificultades en el control de los impulsos, descuido de actividades importantes, preocupaciones sobre el uso de las redes, intolerancia y cambios de humor durante períodos de abstinencia, incluso *craving* (deseo intenso, anhelo), signos indicativos de adicción; por tanto, para ellos es apropiado el concepto de adicción a las redes sociales.

El mecanismo de la adicción consiste en que “conectarse a las redes reduce el estrés, lo que trae consigo la dependencia psicológica y, por ende, la necesidad de volverse a conectar, tal como sucede con el individuo que necesita del alcohol para ‘sentirse bien’ (Araujo-Robles, 2016: 50), ocasionando consecuencias adversas, tales como problemas emocionales, dificultades en las relaciones, en la productividad y en la salud (Andreassen, 2015; Fernández-Villa y col., 2015).

Los grupos que presentan mayor actividad en las redes sociales tienden a ser adolescentes y jóvenes, quienes están en un proceso de formación de la personalidad, y las redes les facilitan un medio de expresión, como una extensión de su grupo de amigos. Además, de acuerdo con Prensky (2012), son nativos digitales, están familiarizados con el uso de la tecnología y disponen de tiempo libre para dedicar a estas actividades.

La atracción que ejercen las redes sociales sobre jóvenes y adultos se basa en la necesidad que tienen las personas de mantener contacto con sus semejantes (Marín-Díaz y Cabero-Almenara, 2019). Se han consolidado en el ámbito educativo porque facilitan el acceso a la información y su intercambio, actividades colaborativas entre estudiantes, y de estos con el profesor, y se valoran como herramientas adecuadas para el aprendizaje constructivista (Gómez y col., 2011). Por otra parte, existen diversos estudios que dan cuenta de los efectos negativos que su uso excesivo o inadecuado causan en el rendimiento académico (Dhir y col.,

2019; Espinoza-Guamán y col., 2019; Hou y col., 2019; Swain y Pati, 2019; Whelan y col., 2019).

La reprobación escolar está relacionada con deficiente adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes de los estudiantes que se adquieren en la escuela. Para Sánchez-Aguilar y col. (2017), la reprobación escolar es el resultado de un proceso que detiene, limita o no acredita el avance del alumno en su vida académica.

La reprobación es de interés especial para las instituciones educativas, puesto que es una de las causas del fracaso escolar y tiene implicaciones en diferentes dimensiones para estudiantes, docentes, directivos y para las organizaciones que regulan y administran los procesos educativos. Un bajo índice de reprobación da cuenta del logro en los aprendizajes, de la calidad de la enseñanza y de un avance académico favorable de los estudiantes, mientras que un alto índice significa ineficacia en las actividades de enseñanza y aprendizaje, que en los sistemas educativos gubernamentales se traduce en última instancia en incompetencia en el ejercicio del gasto público de las instituciones reguladas por el Estado.

Los factores que inciden en el rendimiento académico y en la reprobación escolar pueden ser sociales, económicos, académicos e individuales. También se señalan el nivel educativo de la familia, la configuración del curriculum y la normatividad e infraestructura del sector educativo (Martínez y col., 1998).

Contreras y col. (2005) encontraron, dentro de los factores individuales, que la autoeficacia, que es la percepción favorable de capacidades para la organización y para ejecutar tareas y acciones para lograr objetivos, está relacionada con el rendimiento académico y es uno de los principales predictores del mismo.

A partir de esta revisión teórica se plantea que, dentro de la dimensión del factor individual (aspectos psicológicos) como una de las causas de reprobación y de bajo rendimiento académico, la adicción a las redes sociales tiene una re-

percusión negativa en el historial académico de estudiantes universitarios.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la relación entre la adicción a las redes sociales y la reprobación escolar en estudiantes universitarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Instrumento de consulta

Se utilizó el cuestionario elaborado por Ecurra-Mayaute y Salas (2014), conformado por 24 ítems, con una escala tipo Likert de cinco puntos (siempre, casi siempre, alguna vez, rara vez, nunca) y tres categorías: obsesión por las redes sociales, falta de control personal en su uso y uso excesivo. A este cuestionario se le agregaron dos preguntas: si habían reprobado materias y cuántas reprobaron; esta última con el fin de tener más certidumbre de la primera, aunque cabe mencionar que se parte de la confianza en la honestidad de los encuestados. En la Tabla 1 se muestran los resultados de estas preguntas: 306 alumnos mencionaron no haber reprobado y 233 sí. Se describen también las frecuencias por número de materias reprobadas.

En la Tabla 2 se presentan estadísticos descriptivos de las respuestas: media, desviación estándar, asimetría y curtosis. Solo se identificaron dos ítems con datos de curtosis mayores a lo deseado para la dispersión de los datos

■ **Tabla 1. Frecuencia de alumnos que declararon haber reprobado y no haber reprobado.**

Table 1. Frequencies of students who reported having failed and not having failed.

Alumnos reprobados	Frecuencia	Materias reprobadas	Frecuencia
No	306	0	306
Sí	233	1	100
		2	58
		3	32
		4	23
		5	9
		6	9
		7	2
Total	539	Total	539

■ Tabla 2. Estadísticos descriptivos por ítem del cuestionario.

Table 2. Descriptive statistics by questionnaire ítem.

Ítem	Media	Desv. Estándar	Asimetría	Curtosis
Ítem 1	2.27	0.970	0.511	- 0.066
Ítem 2	1.86	0.882	0.752	- 0.119
Ítem 3	1.54	0.780	1.479	1.984
Ítem 4	2.53	1.158	0.397	- 0.584
Ítem 5	1.66	0.911	1.440	1.730
Ítem 6	1.52	0.824	1.734	2.935
Ítem 7	1.67	0.904	1.444	1.949
Ítem 8	2.08	1.006	0.674	- 0.111
Ítem 9	2.15	1.073	0.689	- 0.118
Ítem 10	2.21	1.045	0.613	- 0.300
Ítem 11	1.71	0.874	1.244	1.368
Ítem 12	2.22	1.210	0.713	- 0.413
Ítem 13	2.67	1.236	0.219	- 0.826
Ítem 14	1.99	1.062	0.871	- 0.009
Ítem 15	1.49	0.796	1.816	3.289
Ítem 16	2.13	1.019	0.748	0.152
Ítem 17	2.64	1.165	0.202	- 0.712
Ítem 18	2.44	1.148	0.384	- 0.732
Ítem 19	1.61	0.828	1.382	1.748
Ítem 20	1.85	0.959	0.945	0.275
Ítem 21	2.01	0.991	0.769	0.010
Ítem 22	1.85	1.003	1.047	0.447
Ítem 23	1.67	0.898	1.327	1.434
Ítem 24	1.86	1.028	1.054	0.420

(± 2): el 6, con 2.9, y el 15, con 3.2, pero no se eliminaron debido a que son parte de un instrumento previamente validado y confiable de acuerdo al estadístico alfa de Cronbach. Los resultados mostraron una consistencia interna aceptable en lo general y por dimensión, destacando la obsesión a las redes sociales con un valor de 0.770 (Tabla 3).

Selección de la muestra y administración del instrumento

La técnica de recolección de información fue la encuesta digital, que se hizo mediante formularios web de Google, solicitando a los estudiantes contestarla, de manera individual, en computadora o en su teléfono celular. El enlace para darle respuesta se compartió por WhatsApp y la dirección web de un blog.

■ Tabla 3. Coeficiente de consistencia interna alfa de Cronbach.

Table 3. Cronbach's alpha coefficient of internal consistency.

Dimensión	No. ítems	Alfa-Cronbach	Confiabilidad
Obsesión a las redes sociales	10	0.770	Aceptable
Falta de control personal en el uso de las redes sociales	6	0.731	Aceptable
Uso excesivo de las redes sociales	8	0.771	Aceptable
Total	24	0.757	Aceptable

El levantamiento se efectuó del 3 de marzo al 23 de mayo de 2018, y la población de estudio estuvo conformada por el total de la matrícula del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, campus Puerto Vallarta (ubicado en el estado de Jalisco, México), constituida por 1 640 estudiantes, de la cual se obtuvo una muestra aleatoria de 539 alumnos, lo que permite un nivel superior al 95 % de confianza. La encuesta se aplicó con el consentimiento de los estudiantes, a quienes se les explicó el objetivo del estudio y se les aseguró que no se recabarían datos de identificación que pusieran en riesgo su privacidad.

Procesamiento de datos y análisis de resultados

La información obtenida se vació a una hoja de cálculo y se utilizó el *software* SPSS versión 21 como herramienta de análisis. Los resultados se distribuyeron en conglomerados para obtener tres categorías de adicción a las redes sociales: baja, media y alta.

El cuestionario fue elaborado con una escala de valores ascendente, en donde 1 está relacionado con adicción baja y 5 con alta (a excepción del ítem 13, que es invertido, para el cual se invirtieron también los valores). La sumatoria

de las respuestas en los rangos de 24 a 48 en los totales de los 24 ítems se consideró como baja adicción, quedando en promedios de nunca (1) o rara vez (2) presentar conductas adictivas; de 49 a 72 como media adicción, con promedios predominantes para en algunas veces (3); y de 73 en adelante como alta adicción, con promedios en casi siempre (4) y siempre (5). El mismo criterio fue utilizado para el estudio por factores, de acuerdo con las sumatorias por el número de ítems de cada factor.

Los datos agrupados se evaluaron usando el estadístico Chi-cuadrado de Pearson, seleccionado por ser adecuado para establecer la asociación entre variables dicotómicas. Se determinó la significancia de la asociación de las variables adicción a las redes sociales y reprobación escolar con el *software* SPSS. Los resultados fueron examinados tomando en cuenta cada uno de los factores (obsesión por las redes sociales, falta de control personal y uso excesivo de las redes sociales), contrastándolos con los de los grupos formados respecto a la reprobación. Se agregó además una revisión por ítem de los resultados generales con la escala de valores tipo Likert mediante el estadístico de correlación Spearman para determinar el nivel de significancia de cada uno de los ítems con relación a la reprobación y su influencia en cada uno de los factores.

RESULTADOS

Los grupos de adicción a las redes sociales quedaron conformados por 308 (57 %) estudiantes en la categoría de baja adicción a las redes sociales, 195 media (36 %) en adicción media y 36 en alta (7 %) (Tabla 4).

■ **Tabla 4. Número de casos en cada grupo.**

Table 4. Number of cases in each cluster.

Grupos	Número de casos
1. Baja adicción	308
2. Media adicción	195
3. Alta adicción	36
Total	539

En la correlación Rho de Spearman y su significancia de cada uno de los ítems respecto a la reprobación (con las variables número de materias reprobadas *vs* resultados de la escala de Likert), se encontró que los coeficientes fueron muy bajos (Tabla 5), inferiores al 0.25 en todos los ítems, indicando una correlación escasa o nula (Reguant y col., 2018). En el nivel de significancia se identificaron 11 ítems con valores inferiores a 0.05, lo que se interpreta como una correlación positiva (aunque, como se comentó anteriormente, muy débil o escasa); de estos 11, en el factor obsesión por las redes sociales se encontraron 6 (el 3, 5, 6,

■ **Tabla 5. Análisis de cada ítem con relación a reprobación.**

Table 5. Analysis of each item in relation to failure.

Ítem	Correlación Rho de Spearman	Significancia
Factor 1. Obsesión por las redes sociales		
2	0.066	0.127
3	0.104	0.017*
5	0.091	0.036*
6	0.143	0.001**
7	0.050	0.245
13	0.058	0.182
15	0.124	0.004**
19	0.130	0.003**
22	0.037	0.395
23	0.086	0.047*
Factor 2. Falta de control personal por las redes sociales		
4	0.064	0.138
11	0.016	0.718
12	0.007	0.876
14	0.024	0.575
20	0.130	0.003**
24	0.055	0.200
Factor 3. Uso excesivo de las redes sociales		
1	0.117	0.007**
8	0.069	0.108
9	0.040	0.360
10	0.052	0.225
16	0.086	0.046*
17	0.043	0.320
18	0.090	0.038*
21	0.116	0.007**

*P < 0.05; **P < 0.01.

15, 19 y 23), en el factor falta de control personal por las redes sociales únicamente se halló el ítem 20 y en el factor uso excesivo de las redes sociales se identificaron 4 (el 1, 16, 18 y 21).

En cuanto al factor tener materias reprobadas considerando los grupos que mostraron baja y alta adicción, siendo menores en la segunda, y los factores que mide el cuestionario (Tabla 6), las frecuencias de alta adicción y reprobación fueron mayores en los tres factores, destacando el factor de obsesión por las redes sociales con 67 % (14), seguido de uso excesivo de las redes sociales con 58 % (19) y la falta de control personal con 54 % (14).

En el estadístico Chi-cuadrado de Pearson para cada uno de los factores con relación a la reprobación, el factor obsesión por las redes sociales mostró una asociación fuerte entre los grupos ($P < 0.05$), al igual que el uso excesivo ($P < 0.05$) (Tabla 7). El factor falta de control personal no fue significativo ($P > 0.05$), por lo que no se identifica una asociación entre las variables. También se observa que en los tres factores ninguna casilla obtuvo un valor inferior a lo esperado, validando el estadístico.

Respecto a la contingencia de los grupos baja adicción y media adicción a las redes sociales, con relación a reprobación escolar por factores, se advierte una proporción mayor de fre-

■ **Tabla 6. Tablas de contingencia de los grupos baja y alta adicción a las redes sociales por factores.**
 Table 6. Contingency tables of the low and high addiction to social networks groups by factors.

Obsesión por las redes sociales				
Reprobación		Baja adicción	Alta adicción	Total
No	-Recuento	197	7	204
	-Frecuencia esperada	191.5	12.5	204.0
	-Residuos tipificados	0.4	-1.5	
Sí	-Recuento	126	14	140
	-Frecuencia esperada	131.5	8.5	140.0
	-Residuos tipificados	-0.5	1.9	
Total		323	21	344
Falta de control personal				
Reprobación		Baja adicción	Alta adicción	Total
No	-Recuento	192	12	204
	-Frecuencia esperada	188.6	15.4	204.0
	-Residuos tipificados	0.2	-0.9	
Sí	-Recuento	126	14	140
	-Frecuencia esperada	129.4	10.6	140.0
	-Residuos tipificados	-0.3	1.1	
Total		318	26	344
Uso excesivo				
Reprobación		Baja adicción	Alta adicción	Total
No	-Recuento	190	14	204
	-Frecuencia esperada	184.4	19.6	204.0
	-Residuos tipificados	0.4	-1.3	
Sí	-Recuento	121	19	140
	-Frecuencia esperada	126.6	13.4	140.0
	-Residuos tipificados	-0.5	1.5	
Total		311	33	344

■ **Tabla 7. Resultados de los grupos baja y alta adicción y reprobación escolar por factores.**
 Table 7. Results of the low and high addiction and school failure groups by factors.

Factor	Chi-cuadrado de Pearson	Sig. asintótica bilateral*	Interpretación
Obsesión por las redes sociales	6.249	0.012**	Las variables están relacionadas
Falta de control personal	2.015	0.156	Las variables no están relacionadas
Uso excesivo	4.308	0.038**	Las variables están relacionadas

*0 casillas (0.0 %) tienen una frecuencia esperada inferior a 5 (ver Tabla 6). **P < 0.05.

cuencias de media adicción en el factor uso excesivo de las redes sociales con relación a baja adicción, tanto para reprobados como para no reprobados (Tabla 8). La menor proporción de media adicción, respecto a baja adicción, se identifica en obsesión por las redes sociales.

En los resultados del estadístico Chi-cuadrado de Pearson, considerando cada uno de los factores en los grupos baja adicción y media adicción con relación a la reprobación, no se encontró un efecto significativo (P < 0.05) en ninguno de los parámetros asociados (factores)

■ **Tabla 8. Tablas de contingencia de los grupos baja y media adicción a las redes sociales por factores.**
 Table 8. Contingency tables of the low and medium addiction to social networks groups by factors.

Obsesión por las redes sociales				
Reprobación		Baja adicción	Media adicción	Total
No	-Recuento	240	52	292
	-Frecuencia esperada	233.6	58.4	292.0
	-Residuos tipificados	0.4	-0.8	
Sí	-Recuento	164	49	213
	-Frecuencia esperada	170.4	42.6	213.0
	-Residuos tipificados	-0.5	1.0	
Total		404	101	505
Falta de control personal				
Reprobación		Baja adicción	Media adicción	Total
No	-Recuento	182	110	292
	-Frecuencia esperada	180.4	111.6	292.0
	-Residuos tipificados	0.1	-0.2	
Sí	-Recuento	130	83	213
	-Frecuencia esperada	131.6	81.4	213.0
	-Residuos tipificados	-0.1	0.2	
Total		312	193	505
Uso excesivo				
Reprobación		Baja adicción	Media adicción	Total
No	-Recuento	140	152	292
	-Frecuencia esperada	132.4	159.6	292.0
	-Residuos tipificados	0.7	-0.6	
Sí	-Recuento	89	124	213
	-Frecuencia esperada	96.6	116.4	213.0
	-Residuos tipificados	-0.8	0.7	
Total		229	276	505

con la adicción a las redes sociales (Tabla 9). Ninguna casilla obtuvo un valor inferior a lo esperado, lo que valida el estadístico y permite establecer que no existió asociación entre los grupos, es decir, no hay una diferencia significativa entre los grupos de baja y media adicción con relación a la reprobación.

Los resultados globales de los grupos baja adicción y alta adicción a las redes sociales con relación a la reprobación, mostraron que de 308 estudiantes con baja adicción, 190 no reprobaban materias (Tabla 10). En tanto que en el grupo de alta adicción, de un total de 36 estudiantes, 21 reprobaban materias. Esto indica una clara tendencia, con una proporción mayor de reprobación en el grupo de alta adicción (58 %) en comparación con el grupo de baja adicción (42 %). En cuanto al resultado del estadístico Chi-cuadrado de Pearson, considerando los grupos baja adicción y alta adicción con relación a la reprobación, se identificó una asociación significativa ($P < 0.05$) entre los parámetros descritos (Tabla 11). Se no-

ta también que ninguna casilla tuvo un valor inferior al esperado, lo que valida el estadístico.

DISCUSIÓN

De acuerdo a las correlaciones por ítem con el estadístico Rho de Spearman hubo congruencia en los resultados por factor, al identificar el mayor número de ítems o igual número de ítems, con el nivel de significancia menor a 0.05 en los factores en que se encontró la asociación significativa con la reprobación mediante el estadístico Chi-cuadrado de Pearson (obsesión por las redes sociales y uso excesivo de las redes sociales, respectivamente), aunque el nivel de correlación fue bajo en el estudio por ítem, se pudo corroborar la correlación con 6 ítems en obsesión por las redes sociales y con 4 en uso excesivo de las redes sociales.

Los ítems del factor obsesión por las redes sociales en que se pudo corroborar la correlación con el nivel de significancia fueron el 3 (el tiempo que antes destinaba para estar conectado a las redes sociales ya no me satisfa-

■ **Tabla 9. Resultados de los grupos baja y media adicción y reprobación escolar por factores.**

Table 9. Results of the low and medium addiction and school failure groups by factors.

Factor	Chi-cuadrado de Pearson	Sig. asintótica bilateral*	Interpretación
Obsesión por las redes sociales	2.079	0.149	Las variables no están relacionadas
Falta de control personal	0.088	0.767	Las variables no están relacionadas
Uso excesivo	1.886	0.170	Las variables no están relacionadas

*0 casillas (0.0 %) tienen una frecuencia esperada inferior a 5 (ver Tabla 8).

■ **Tabla 10. Tabla de contingencia totales de grupos alta y baja adicción a redes sociales y reprobación.**

Table 10. Total contingency table of high and low addiction to social networks and failure groups.

Reprobación		Baja adicción	Alta adicción	Total
No	-Recuento	190	15	205
	-Frecuencia esperada	183.5	21.5	205.0
	-Residuos tipificados	0.5	-1.4	
Sí	-Recuento	118	21	139
	-Frecuencia esperada	124.5	14.5	139.0
	-Residuos tipificados	-0.6	1.7	
Total		308	36	344

■ **Tabla 11. Prueba Chi-cuadrado de reprobación y totales del cuestionario en grupos alta y baja adicción.**
 Table 11. Chi-square test of failure and questionnaire totals in high and low addiction groups.

Estadísticos	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral) ^b	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	5.366	1	0.021		
Corrección por continuidad ^a	4.567	1	0.033		
Razón de verosimilitudes	5.251	1	0.022		
Estadístico exacto de Fisher				0.030	0.017
Asociación lineal por lineal	5.350	1	0.021		
No. de casos válidos	344				

^aCalculado sólo para una tabla de 2 x 2.

^b0 casillas (0.0 %) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 14.55 (ver Tabla 10).

ce, necesito más), el 5 (no sé qué hacer cuando quedo desconectado de las redes sociales), el 6 (me pongo de mal humor si no puedo conectarme a las redes sociales), el 15 (aun cuando desarrollo otras actividades, no dejo de pensar en lo que sucede en las redes sociales), el 19 (descuido a mis amigos o familiares por estar conectado a las redes sociales) y el 23 (cuando estoy en clase sin conectar en las redes sociales me siento aburrido).

En el factor falta de control personal la correlación únicamente se presentó en el ítem 20 (descuido las tareas y los estudios por estar conectado a las redes sociales), mientras que en el factor uso excesivo de las redes sociales fueron en el ítem 1 (necesito cada vez más tiempo para atender mis asuntos relacionados con las redes sociales), el 16 (invierto mucho tiempo del día conectándome y desconectándome de las redes sociales), el 18 (estoy atento a las alertas que me envían desde las redes sociales a mi teléfono o a la computadora) y el 21 (aun cuando estoy en clase, me conecto con disimulo a las redes sociales).

Es conveniente también mencionar que únicamente 3 ítems se refieren a la afectación de actividades escolares por causa de las redes sociales: el 20, que alude a descuidar las tareas y los estudios por el uso de las redes sociales, el 21, que menciona conectarse aun estando en clases, y el 23 que hace referencia a no atender

adecuadamente las clases por causa de las redes, en los tres ítems se encontraron correlaciones entre la adicción a las redes sociales y la reprobación con base en el nivel de significación (siendo incluso menores a 0.01 en los ítems 20 y 21). Los resultados permitieron identificar una asociación significativa ($P < 0.05$) entre la adicción a las redes sociales y la reprobación escolar.

Al respecto, diversos estudios también documentan el impacto negativo de la adicción a las redes sociales en el rendimiento académico de estudiantes (Andreassen, 2015; Martínez y González, 2018; Espinoza-Guamán y col., 2019; Swain y Pati, 2019). Otros trabajos, con una base empírica, confirman estos hallazgos (Morocco, 2015; Dhir y col., 2019; Hou y col., 2019; Swain y Pati, 2019; Whelan y col., 2019); sin embargo, existe poca información sobre la incidencia en la reprobación. La variable considerada en este estudio es la reprobación escolar, que es por lo general una de las formas objetivas en que se hace tangible el bajo rendimiento académico y, a su vez, una consecuencia que señala un nivel de afectación que puede poner en riesgo un proceso formativo.

Los factores obsesión por las redes sociales y uso excesivo de las mismas mostraron una asociación significativa ($P < 0.05$) con la reprobación escolar para el grupo de jóvenes que manifestaron una alta adicción. En cuanto a la relación del factor falta de control personal

con la reprobación escolar, no fue significativa ($P < 0.05$), como tampoco lo fue la baja o media adicción ($P < 0.05$) con la reprobación en ninguno de los factores incluidos en este estudio. La reprobación escolar es un fenómeno multicausal, por lo que al examinar el impacto de una variable de forma aislada, como en este caso, que se limitó al efecto de la adicción a las redes sociales, se puede presentar una asociación baja entre las variables (como sucedió en el análisis por ítem). Respecto a este argumento, Hilt (2019) identificó una baja relación entre la dependencia del celular y el rendimiento académico en estudiantes de nivel medio, concluyendo que la correlación era débil precisamente por ser el rendimiento académico influenciado por una diversidad de factores.

Sin embargo, la adicción a las redes sociales debe tomarse como un factor con incidencia en el rendimiento académico y en la reprobación de los estudiantes, ya que puede provocar ansiedad al sentir la falta de atención a las mismas, y por el tiempo de dedicación que se le otorga, como lo dejaron ver algunos ítems de este trabajo, y de forma específica los que hacen referencia a afectación de actividades académicas, como lo son el ítem 20, el 21 y el 23, en que se identificaron correlaciones sig-

nificativas. A partir de esto, se sugiere a las instituciones educativas, la búsqueda de estrategias de prevención y de intervención para atender a estudiantes vulnerables en el ámbito educativo por causa de adicción a las redes sociales.

CONCLUSIONES

Los estudiantes universitarios que participaron en este estudio tuvieron una asociación significativa entre la reprobación escolar y la adicción a las redes sociales. Las asociaciones se obtuvieron de forma más específica en dos factores: la obsesión por las redes sociales y su uso excesivo. Ambos tuvieron una repercusión negativa en el rendimiento académico (con un nivel de afectación considerable en su historial) y una tendencia que indica que es más probable la reprobación en estudiantes con alta adicción a las redes sociales. El estudio estuvo limitado a la influencia de la adicción a las redes sociales en la reprobación, para futuras investigaciones se sugiere ampliar el alcance conceptual, buscando relaciones entre la adicción a las redes sociales y los diversos factores que inciden en la reprobación escolar, lo que permitiría identificar cuáles son los que tienen más impacto y comprender con mayor profundidad la relación entre estas variables.

REFERENCIAS

- Andreassen, C. (2015). Online Social Network Site Addiction: A Comprehensive Review. *Current Addiction Reports*. 2(2):175-184.
- Araujo-Robles, E. D. (2016). Indicadores de adicción a las redes sociales en universitarios de Lima. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*. 10(2): 48-58.
- Carbonell, X. y Oberst, U. (2015). Las redes sociales en línea no son adictivas. *Aloma Revista de Psicología, Ciències de l'educació i de l'esport*. 33(2): 13-19.
- Caro, M. M. C. (2017). Adicciones tecnológicas: ¿Enfermedad o conducta adaptativa? *Medisur*. 15(2): 251-260.
- Contreras, F., Espinosa, J. C., Esguerra, G., Haikal, A., Polanía, A. y Rodríguez, A. (2005). Autoeficacia, ansiedad y rendimiento académico en adolescentes. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*. 1(2): 183-194.
- Dhir, A., Puneet, K., Chen, S., and Pallesen, S. (2019). Antecedents and consequences of social media fatigue. *Internacional Journal of Information Management*. 48:193-202.
- Echeburúa, E. y De-Corral, P. (2010). Adicción a las nuevas tecnologías y a las redes sociales en jóvenes: un nuevo reto. *Adicciones*. 22(2):91-96.
- Escurrea-Mayaute, M. y Salas, E. (2014). Construcción y validación del cuestionario de adicción a las redes sociales (ARS). *Liberabit*. 20(1): 73-91.
- Espinoza-Guamán, E. E., Cruz-Yaguachi, L. N. y Espinoza-Freire, E. E. (2019). Las redes sociales y el rendimiento académico. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. 1(3): 38-44.
- Fernández-Villa, T., Alguacil-Ojeda, J., Almaraz-Gómez, A., Cancela-Carral, J. M., Delgado-Rodríguez, M., García-Martín, M., ... y Martín, V. (2015). Uso pro-

blemático de Internet en estudiantes universitarios: factores asociados y diferencias de género. *Adicciones*. 27(4): 265-275.

Gómez, M., Roses, S. y Farias, P. (2011). El uso académico de las redes sociales en universitarios, en *Comunicar*. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistacomunicar.com/pdf/preprint/38/14-PRE-13426.pdf>. Fecha de consulta: 25 de febrero de 2020.

Hilt, J. (2019). Dependencia del celular, hábitos y actitudes hacia la lectura y su relación con el rendimiento académico. *Apuntes Universitarios*. 9(3): 103-116.

Hou, Y., Xiong, D., Jiang, T., Song, L., and Wang, Q. (2019). Social media addiction: Its impact, mediation, and intervention. *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*. 13(1).

Kuss, D. and Griffiths, M. (2011). Online Social Networking and Addiction—A Review of the Psychological Literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8(9): 3528-3552.

Leiva-Gutiérrez, J. (2018). Craving en adicciones conductuales: propuesta de un modelo teórico explicativo en la adicción a facebook y mensajería instantánea, en *Terapia Psicológica*. [En línea]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48082018000100005. Fecha de consulta: 5 de marzo de 2020.

Marín-Díaz, V. y Cabero-Almenara, J. (2019). Las redes sociales en educación: desde la innovación a la investigación educativa. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. 22(2): 25-33.

Marín-Díaz, V., Vega-Gea, E. y Passey, D. (2019). Determinación del uso problemático de las redes sociales por estudiantes universitarios. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. 22(2): 135-152.

Martínez, M., Vivaldo, J., Navarro, M., González, M. y Jerónimo, J. (1998). Análisis Multirreferencial del fenómeno de la reprobación en estudiantes universitarios mexicanos. *Psicología Escolar e Educativa*. 2(2): 161-174.

Martínez, N. and González, E. (2018). Adolescentes y redes sociales: panorámica general sobre el uso, el tiempo y los riesgos. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*. 9(1): 42-54.

Morocco, S. (2015). *Uso del Facebook y su incidencia en el rendimiento académico de los estudiantes de la Universidad Nacional del Altiplano, periodo*

2014. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2375>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2020.

Prensky, M. (2012). *From digital natives to digital wisdom: Hopeful essays for 21st century learning*. Estados Unidos de América: Corwin Press. 220 Pp.

Reguant, M., Vilà, R. y Torrado, M. (2018). La relación entre dos variables según la escala de medición con SPSS. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 11(2): 45-60.

Sánchez-Aguilar, N., De-Santiago-Badillo, B. y Jons, S. (2017). Factores relacionados con la reprobación en Inglés en Educación Superior. *Conciencia Tecnológica*. (54): 27-32.

Statista (2019). Ranking de las principales redes sociales a nivel mundial según el número de usuarios activos en abril de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/600712/ranking-mundial-de-redes-sociales-por-numero-de-usuarios/>. Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2019.

Swain, R. and Pati, A. K. (2019). Use of social networking sites (SNSs) and its repercussions on sleep quality, psychosocial behavior, academic performance and circadian rhythm of humans - a brief review, in *Biological Rhythm Research*. [En línea]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09291016.2019.1620487?scroll=top&needAccess=true>. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2020.

Whelan, E., Islam, N., and Brooks, S. (2019). Applying the SOBC paradigm to explain how social media overload affects academic performance. *Computers & Education*. 143: 103692.

Young, K. S. (1998). Internet Addiction: The emergence of a new clinical disorder. *Cyber psychology and Behavior*. 1(3): 237-244.



Imágenes de: Elizabeth Olmos Martínez

Atributos que influyen en la elección del visitante en cuatro pueblos mágicos del noroeste mexicano

Attributes that influence the visitor's choice in four magical towns in the Mexican northwest

Marco Antonio Almendarez-Hernández¹, Reyna María Ibáñez-Pérez², Elizabeth Olmos-Martínez^{3*}

RESUMEN

El concepto pueblos mágicos fue ideado para incrementar el turismo. Se concentra en la difusión de actividades atractivas en pequeñas localidades con atributos histórico-culturales que representan la identidad nacional. El objetivo de esta investigación fue estimar la probabilidad de seleccionar un determinado pueblo mágico del noroeste mexicano a partir de factores tales como el perfil del usuario, su experiencia, percepción y satisfacción de los servicios y el gasto efectuado durante su estancia. La metodología utilizada se basa en el modelo econométrico Logit Multinomial y estadística descriptiva con variables de control para su análisis a partir de la aplicación de una encuesta en cuatro pueblos mágicos: Todos Santos y Loreto, de Baja California Sur, y Cosalá y El Rosario, de Sinaloa. Los resultados muestran que las probabilidades condicionadas de escoger uno de ellos son mayores para Todos Santos con 29 %, seguido de Cosalá con 28 %, Loreto con 27 % y, finalmente, El Rosario con 16 %. La variación de la elección está en función de las especificidades y características de los destinos. Los resultados del modelo permitirán la planeación de estrategias para mejorar la atención y la promoción turística en los cuatro pueblos mágicos estudiados, basándose en las preferencias de quienes eligen estos destinos, para atraer a más visitantes.

PALABRAS CLAVE: elección, atributos, visitante, pueblos mágicos, logit multinomial.

ABSTRACT

The magical towns concept was devised to increase tourism. It focuses on the dissemination of attractive activities in small towns with historical-cultural attributes that represent the national identity. The objective of this research was to estimate the probability of selecting a certain magical town in northwestern Mexico based on factors such as the user's profile, their experience, perception and satisfaction of the services and the expenditure made during their stay. The methodology used is based on the Multinomial Logit econometric model and descriptive statistics with control variables was used for its analysis. The survey was administered in four magical towns: Todos Santos and Loreto, from Baja California Sur, and Cosalá and El Rosario, from Sinaloa. Results show that the probabilities of choosing one of them are higher for Todos Santos with 29 %, followed by Cosalá with 28 %, Loreto with 27 % and, finally, El Rosario with 16 %. The variation of the choice is a function of the specificities and characteristics of the destinations. The results of the model will allow the planning and strategies to improve tourist service and promotion in the four magical towns studied, based on the preferences of those who choose these destinations, to attract more visitors.

KEYWORDS: choice, attributes, visitor, magical towns, multinomial logit.

*Correspondencia: eolmosm.udo@gmail.com/ Fecha de recepción: 15 de febrero de 2021/ Fecha de aceptación: 25 de junio de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC (CIBNOR), Subcoordinación de Proyectos Productivos Socialmente Responsables y Extensionismo Social, La Paz, Baja California Sur, México. ²Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Economía, La Paz Baja California Sur, México.

³Universidad Autónoma de Occidente, Departamento Académico de Ciencias Económico-administrativas, Unidad Mazatlán, Av. Del Mar núm. 1200, col. Flamingos, Mazatlán, Sinaloa, México, C. P. 82149.

INTRODUCCIÓN

Según datos del Diario Oficial de la Federación (DOF, 2014), el programa de Pueblos Mágicos (PM) fue creado en 2001 con la finalidad de impulsar a México como un destino a nivel mundial mediante la promoción turística basada en la riqueza del patrimonio material e inmaterial del país, fomentando la coordinación interinstitucional y el lazo con el estado y municipios, a manera de diversificar los servicios turísticos y fomentar la inversión pública y privada, para generar derrama económica y empleo.

Por otra parte, la Organización Mundial del Turismo señala que este se caracteriza por ser multidimensional, configurable y heterogéneo ante cualquier espacio y circunstancia. Además, guarda relación con los servicios y bienes que demandan directamente los turistas y con las unidades económicas que lo generan y suministran (Pérez-Ramírez y Antolín-Espinosa, 2016). Por ello, es importante conocer el perfil (variables socioeconómicas y demográficas de los visitantes, tales como gustos, preferencias, expectativas y necesidades), ya que es una herramienta para mejorar la gestión de las empresas al igual que del destino turístico (Pat y Calderón, 2012; Huang y Wang, 2018; Lin y Kuo, 2018). En ese sentido, de acuerdo con Pons y col. (2007); Cohen y col. (2014); Possebón y col. (2019), de las decisiones que tiene que tomar el turista y/o visitante potencial, la elección del destino es la más importante, por lo que es pertinente identificar y señalar los elementos que intervienen en ella. Los mismos autores mencionan que el más influyente es la imagen del destino, ya que se convierte en un atractivo. Cuando el potencial visitante perciba una imagen relacionada con la satisfacción de sus necesidades y deseos de ocio, ese destino tendrá mayores posibilidades de ser seleccionado.

Castaño y col. (2006), así como Stylidis y col. (2017) refieren que, desde el punto de vista psicológico, el destino turístico es una construcción mental basada en un proceso de evaluación de la información que el visitante potencial adquiere de diferentes fuentes y que el re-

sultado de ese proceso es lo que se conoce como imagen-destino, un factor determinante en la elección de lugares de ocio y recreación. Autores como Folgado y col. (2011) y Castro y col. (2019) indican que la imagen es la clave para atraer a los turistas, lo clasifican como elemento crítico en la elección del destino; asimismo, aseguran que dicha imagen es independiente de si es o no representativa de lo que ofrece.

Galarza y Soria (2018) argumentan que la toma de decisión sobre el destino se maneja en un entorno altamente competitivo, y obliga al posible turista a una continua actualización en el manejo de la tecnología. El nivel de información virtual, a través de la motivación emocional, influye en la percepción de los consumidores cuando buscan un destino en función de sus gustos y prioridades. Esto significa que el *marketing* es otro de los elementos fundamentales en la decisión, tal como lo destacan Mediano (2002) y Martos (2015) en el estudio de la incidencia del consumidor turístico a partir de un análisis de influencia del modelo estímulo-respuesta en su comportamiento.

También Lazzari y col. (2009), así como Tan y Wu (2016) consideran que, debido a la variedad de atributos que se involucran en la elección del sitio, no todas las opciones despertan el mismo interés, ya que existen factores subjetivos que influyen directamente; no obstante, aquellos destinos que satisfacen los criterios de búsqueda iniciales del individuo forman el conjunto de elementos con las cuales se ha familiarizado, los recuerda y fueron evaluados positivamente; es entonces cuando el consumidor toma la decisión final.

En la literatura existen diversos estudios que abordan los determinantes de elección del destino turístico, tal es el caso de Albaladejo y Díaz (2003) y De-la-Hoz y Muñoz (2016), quienes argumentan factores del perfil del turista (viajar con amigos, tipo de alojamiento, edad, ingresos familiares, nivel de estudios, referencias del lugar, entre otros); además, De-la-Mata (2010) y Kastenholz y col. (2018) mencionan que un factor de decisión es si el viaje lo hacen dentro

de la región donde viven o fuera de ella, por lo que el factor origen-destino tiene una gran relevancia. Por su lado, Ercolano y col. (2018) afirman que los sitios con renombre o fama mundial por su riqueza arqueológica y patrimonial son mayormente elegidos, independientemente de que existan otros sitios de valor arqueológico similar pero de menor renombre. Saladié y col. (2014) indican que el costo de los boletos de avión interviene notablemente en la elección; asimismo, De-Conto y col. (2011) observan que las condiciones de saneamiento básico del destino turístico son un factor de elección del visitante; Domínguez y de-Sevilha (2017) y Santana y Gosling (2017) destacan que un sitio puede ser más exitoso y estar asociado a una mayor predilección por el visitante en función de la prevalencia de una imagen única como destino; también, Da-Cruz y De-Camargo (2008) señalan que las estrategias de promoción en la web influyen en la decisión. Galarza y Soria (2018) manifiestan que valores familiares, creencias religiosas, seguridad y confort son también factores importantes; finalmente, Choque (2017) refiere que las personas de la generación *millennial* consideran diferentes elementos de decisión que el resto de la población para la elección de un destino turístico, tal como vivir nuevas experiencias y conocer gente de otro lugar.

De acuerdo con el Sistema nacional de información estadística del sector turismo de México (DATATUR, 2020a; 2020b; 2020c; 2020d, 2020e), para el año 2020 el número de PM asciende a 131, de los cuales 9 pertenecen a la región noroeste del país, zona conformada por Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, estados que se caracterizan por tener una localización estratégica, vastos litorales, buen nivel de vida y enorme afluencia de visitantes; en conjunto recibieron a 13.9 millones al cierre de 2018, que representa 34 % del total nacional durante ese periodo.

El objetivo de esta investigación fue estimar la probabilidad de que se escoja un determinado pueblo mágico del noroeste mexicano de los cuatro que fueron tomados como caso de

estudio Cosalá y El Rosario, de Sinaloa, y Loreto y Todos Santos, de Baja California Sur, a partir de las características del visitante, tales como su perfil, la experiencia, percepción y satisfacción de los servicios y el gasto efectuado durante su estancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estimación de la probabilidad de que el visitante seleccione un determinado PM de la región noroeste de México se realizó a partir de ciertas variables explicativas, como el motivo del viaje, las experiencias y satisfacciones acerca del trayecto y de los servicios y actividades que ofrece el lugar. La información se obtuvo mediante una encuesta compuesta por dos secciones: a) perfil del visitante (género, procedencia, rangos de edad, con quién viaja y medio de transporte) y b) evaluación de atributos de satisfacción (cultural, hospedaje, transporte, actividades, satisfacción, destino, caminata, diversidad y gasto). El instrumento fue validado con una prueba piloto efectuada en marzo de 2019. La duración máxima fue de 10 min, cara a cara, se dirigió solamente a mayores de edad con una estadía mínima de 3 h en el lugar de estudio, considerando que en ese lapso el visitante ya tuvo la oportunidad de observar, contratar o adquirir algún servicio turístico que le permitió percibir los atributos estudiados. Las encuestas se aplicaron durante los meses de marzo y abril de 2019 a visitantes de los PM de Loreto y Todos Santos (en Baja California Sur), y de Cosalá y El Rosario (en Sinaloa). El tipo de muestreo fue aleatorio estratificado con afijación proporcional y se calcula mediante la fórmula siguiente (Cochran-Gemmel, 1989):

$$n = \frac{\sum_{i=1}^I N_i P_i Q_i}{NE + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I N_i P_i Q_i} \quad (1)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, N_i es la población de cada estrato, P_i es la proporción, Q_i es el complemento de la proporción, N es el tamaño de la población, E es el error de estimación. El tamaño de cada estrato se calcula por medio de la siguiente fórmula (Cochran-Gemmel, 1989):

$$n_i = n \left(\frac{N_i}{\sum_{i=1}^J N_i} \right) = n \left(\frac{N_i}{N} \right) = n(W_i) \quad (2)$$

Donde W_i es la fracción de asignación. El tipo de muestreo es aleatorio, porque todos los elementos que comprenden el universo tienen la misma probabilidad de ser escogidos en el tamaño de la muestra calculado, de acuerdo a la proporción que fue estimada para cada estrato (PM), además de que se escoge al azar el número de elementos que está determinado para cada uno. En este sentido, se debe elegir por lo menos un elemento de cada estrato, para que tenga representatividad. La determinación del tamaño se basó a partir de un total de 367 946 visitantes registrados anualmente en los cuatro destinos, con base en la disposición de datos de fuentes oficiales e investigación de campo, dividiéndose de esta manera: 1) Todos Santos con 126 074 (Ibáñez y Cruz, 2016); 2) Loreto con 107 218 (Gobierno del Estado de Baja California Sur-INEGI, 2017); 3) Cosalá con 90 189, de acuerdo con la Secretaría de Turismo (SECTUR, 2017); 4) El Rosario con 59 775, según información del Consejo de Desarrollo de Sinaloa (CODESIN, 2018). El total de encuestas fue de 415, las cuales se repartieron en los cuatro sitios: Loreto con 116; Todos Santos con 136; Cosalá con 98 y El Rosario con 65. Los participantes completaron todas las preguntas del cuestionario, por lo que el número de encuestas válidas fueron las que se calcularon.

Acorde con McFadden (1974a; 1974b) y Train (1998; 2009), la Teoría de la Maximización de la Utilidad Aleatoria es el marco teórico usado para analizar las decisiones de elección de los individuos por destinos o modos de viaje. El análisis empírico se basa en los trabajos de Albaladejo y Díaz (2003); De-la-Mata (2010); Ercolano y col. (2018); Nurlaela (2018); Yoo y col. (2018), que han usado como especificación econométrica el modelo Logit Multinomial.

La función de utilidad tiene dos componentes: a) Uno determinístico, que incluye la utilidad observada de la alternativa que está en fun-

ción de las variables de control ya mencionadas; b) el segundo es un término estocástico, el cual recoge los elementos no observables de la función de utilidad del individuo. Si se establece la suposición de que un visitante i escoge un conjunto que incluye j alternativas de PM ($j = 1, 2, 3, 4$) y que se puede extender hasta el j -ésimo PM, 1 representa a Todos Santos, 2 a Loreto, 3 a El Rosario, 4 a Cosalá. Bajo este planteamiento el visitante i escoge la alternativa que maximiza su utilidad. Si expresa Y_{ij} como una variable respuesta de elección discreta que toma el valor de 1 y el visitante elija el PM de Todos Santos solamente, y toma el valor de 0 si es otro sitio. A modo de ejemplo, se puede mencionar que un visitante que maximiza su utilidad escogerá su primera opción, es decir, el PM de Todos Santos, solamente si se cumple la desigualdad siguiente:

$$Y_{i1} = 1 \text{ Si } U_{i1} > U_{ij}, j = 2,3,4 \quad (3)$$

$$Y_{i1} = 0 \text{ en caso contrario}$$

La probabilidad de que el visitante i seleccione la primera alternativa del destino d (el PM de Todos Santos) se puede expresar de esta forma:

$$P_{i1} = Pr(U_{i1} > U_{i2}, U_{i1} > U_{i3}, U_{i1} > U_{i4}, \dots, U_{i1} > U_{ia}) \quad (4)$$

Donde U_{ij} es la función de utilidad del visitante i para la alternativa j , y, siguiendo a Maddala (1983); Powers y Xie (2000); Dow y Endersby (2004), se expresa como:

$$U_{ij} = \beta' X_{ij} + \delta' Z_i + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

X_{ij} representa un vector de atributos de las alternativas, Z_i es un vector de variables de las características de los individuos, β se refiere a un conjunto de parámetros que están relacionados con los atributos, δ describe un conjunto de parámetros asociados con las características de los individuos, ε_{ij} es el término estocástico que captura los efectos no observados pero que influyen en la función de utilidad.

La probabilidad de que el visitante i escoja el destino d en el conjunto de alternativas se expresa como:

$$P(d) = Pr\{\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{id} < (\beta'X_{ij} + \delta'_jZ_i) - (\beta'X_{id} + \delta'_dZ_i), j \neq d\} \quad (6)$$

De acuerdo con McFadden (1974a; 1974b) y Train (1998), el término estocástico está independiente e idénticamente distribuido y sigue una distribución logística (Gumbel I). Si $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{id}$, y $V_{ij} = (\beta'X_{ij} + \delta'_jZ_i) - (\beta'X_{id} + \delta'_dZ_i)$ con $\forall j \neq d$, entonces el modelo que expresa la alternativa de referencia es el PM de Todos Santos es:

$$P_d(i) = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^J \exp(\beta'_j z_j)} \quad \text{para todo } j \in J, j \neq d \quad (7)$$

$$P_d(i) = \frac{\exp(\beta'_j z_j)}{1 + \sum_{j=1}^J \exp(\beta'_j z_j)} \quad \text{para todo } j \in J, j \neq d \quad (8)$$

Los coeficientes del modelo Logit Multinomial son estimados con máxima verosimilitud, sin embargo, el modelo Logit Multinomial presenta limitaciones como la violación del supuesto de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IIA, por sus siglas en inglés: Independence from Irrelevant Alternatives). Esto es debido a que su uso complica el modelo de elección discreta, es decir, las características de la alternativa que ha elegido el individuo impactan en las probabilidades relativas del resto de las alternativas que se escojan. Cuando se viola esta propiedad, el modelo Logit Multinomial genera estimaciones de los coeficientes que son sesgados e inconsistentes. Para verificar la validez del supuesto IIA se calcula la prueba de Hausman (Hausman y McFadden, 1984), que consiste en contrastar las diferencias entre un modelo restringido y otro no restringido. El estadístico está distribuido como χ^2 . En este sentido, si se mantiene el supuesto IIA, la hipótesis nula de la prueba de Hausman (Hausman y McFadden, 1984) indica que la estimación del modelo Logit Multinomial no debe provocar cambios sistemáticos en los coeficientes si una alternativa es incluida o excluida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El perfil del visitante contextualiza las características de los sujetos de estudio que visitaron los cuatro PM (Tabla 1).

La estadística descriptiva, junto con la descripción de cada una de las variables usadas en el análisis de regresión se muestran en la Tabla 2. El modelo fue estimado en el Paquete estadístico Stata versión 15.1 (StataCorp, 2017). Dado que el tratamiento econométrico es un modelo Logit Multinomial y esta especificación plantea el supuesto IIA, se recurrió a la prueba de Hausman (Hausman y McFadden, 1984), arrojando un resultado con valor P de 0.591 relacionado a la prueba χ^2 . Este valor indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de IIA y sugiere que los coeficientes estimados son insesgados y consistentes.

En la regresión que engloba los cuatro PM (Tabla 3), Todos Santos es la variable respuesta categórica usada como referencia omitida, para el análisis de regresión, ya que fue el destino que registró el mayor número de visitantes en el año en que se aplicó la encuesta. Los hallazgos del modelo son respaldados en la literatura que aborda los determinantes de la elección del destino, en el sentido de que los signos de los coeficientes son acordes con lo que señala la teoría económica y muestra la evidencia empírica (Albaladejo y Díaz, 2003; Lyons y col., 2009; Ahn y col., 2013; Pagliara y col., 2015; Almeida y Garrod, 2018; Ercolano y col., 2018; Masiero y Qiu, 2018; Nurlaela, 2018; Yoo y col., 2018). La prueba de Wald es estadísticamente significativa al 1 % e indica que el modelo global es mejor que aquel que contiene solo la intersección. El pseudo- R^2 se encuentra dentro del rango de los obtenidos por la evidencia empírica de estudios de elección del destino (De-la-Mata, 2010; Ercolano y col., 2018; Li y col., 2019) y señala que aproximadamente el 18.1 % de la variación de la alternativa PM es explicada por el modelo estimado. Las probabilidades condicionadas de elegir cada uno de los cuatro pueblos mágicos son las siguientes: 1) Todos Santos con 29 %; 2) Loreto con 27 %; 3) El Rosario con 16 % y; 4) y Cosalá con 28 % (Tabla 4).

■ **Tabla 1. Perfil del visitante de los cuatro pueblos mágicos.**

Table 1. Visitor profile of the four magical towns.

Perfil	Loreto	Todos Santos	El Rosario	Cosalá
	Opciones del perfil / Porcentaje de visitantes			
Género	Femenino: 49 %	Femenino: 47 %	Femenino: 47 %	Femenino: 56 %
	Masculino: 50 %	Masculino: 53 %	Masculino: 53 %	Masculino: 44 %
	Otro: 1 %	Otro: 0 %	Otro: 0 %	Otro: 0 %
Procedencia	México: 29 %	México: 72 %	México: 93 %	México: 92 %
	USA: 46 %	USA: 17 %	USA: 3 %	USA: 8 %
	Canadá: 16 %	Canadá: 4 %	Canadá: 2 %	Canadá: 0 %
	Otro: 9 %	Otro: 7 %	Otro: 2 %	Otro: 0 %
Rangos de edad (años)	18 a 25: 9 %	18 a 25: 19 %	18 a 25: 26 %	18 a 25: 33 %
	26 a 33: 10 %	26 a 33: 9 %	26 a 33: 16 %	26 a 33: 15 %
	34 a 41: 4 %	34 a 41: 19 %	34 a 41: 22 %	34 a 41: 22 %
	42 a 48: 5 %	42 a 48: 15 %	42 a 48: 7 %	42 a 48: 14 %
	49 a 55: 15 %	49 a 55: 17 %	49 a 55: 15 %	49 a 55: 12 %
	56 a 63: 13 %	56 a 63: 10 %	56 a 63: 11 %	56 a 63: 1 %
	64 y más: 44 %	64 y más: 11 %	64 y más: 3 %	64 y más: 3 %
Con quién viaja	Cónyuge: 38 %	Cónyuge: 19 %	Cónyuge: 6 %	Cónyuge: 14 %
	Familia: 30 %	Familia: 39 %	Familia: 55 %	Familia: 57 %
	Compañeros de trabajo: 3 %	Compañeros de trabajo: 11 %	Compañeros de trabajo: 8 %	Compañeros de trabajo: 9 %
	Amigos: 19 %	Amigos: 20 %	Amigos: 27 %	Amigos: 19 %
	Solo: 10 %	Solo: 11 %	Solo: 4 %	Solo: 1 %
Medio de transporte	Auto propio: 35 %	Auto propio: 69 %	Auto propio: 64 %	Auto propio: 69 %
	Auto rentado: 25 %	Auto rentado: 19 %	Autobús: 20 %	Autobús: 20 %
	Avión: 22 %	Autobús: 6 %	Auto rentado: 7 %	Auto rentado: 5 %
	Autobús: 5 %	Avión: 2 %	Ninguno: 5 %	Ninguno: 5 %
	Otro: 13	Otro: 4 %	Otros: 4 %	Otros: 1 %

■ **Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables de control.**

Table 2. Descriptive statistics of the control variables.

Variable	Descripción	Media
Cultural	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si la razón principal que motivó el viaje del individuo fue cultural y 0 en caso contrario	0.063
Hospedaje	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si los servicios de hospedaje fueron calificados por el individuo como excelentes y 0 en caso contrario	0.337
Transporte	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo usó transporte propio y calificó la carretera y señalamiento como excelentes y 0 en caso contrario	0.190
Actividades	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo no practicó actividades recreativas y de esparcimiento y 0 en caso contrario	0.096
Satisfacción	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el nivel de satisfacción del turista al retirarse del sitio es calificado como excelente y 0 en caso contrario	0.398
Destino	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo se enteró del sitio por medio de la familia y 0 en caso contrario	0.289

Continúa...

Caminata	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo practicó la caminata por el sitio y 0 en caso contrario	0.569
Diversidad	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo calificó como mala la experiencia de la diversidad de las actividades y 0 en caso contrario	0.080
Gasto 1	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el gasto promedio por persona al día es menor o igual a \$ 500 pesos y 0 en caso contrario	0.313
Gasto 2	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el gasto promedio por persona al día se encuentra entre \$ 501 y \$1 000 pesos y 0 en caso contrario	0.340
Gasto 3	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el gasto promedio por persona al día se encuentra entre \$ 1 001 y \$ 1 500 y 0 en caso contrario	0.137
Gasto 4	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el gasto promedio por persona al día es mayor a \$ 1 500 pesos y 0 en caso contrario	0.210

■ **Tabla 3. Resultados del modelo Logit Multinomial.**
 Table 3. Results of the Multinomial Logit Model.

Variables	Loreto		El Rosario		Cosalá	
	Coefficiente	z-estadístico	Coefficiente	z-estadístico	Coefficiente	z-estadístico
Constante	- 1.345***	- 3.11	0.405	1.06	- 1.171***	- 2.85
Cultural	- 3.014***	- 2.97	- 1.563**	- 2.27	- 0.833	- 1.46
Hospedaje	1.155***	3.47	- 0.224	- 0.55	0.830**	2.37
Transporte	- 0.611*	- 1.64	- 0.533	- 1.18	- 1.224***	- 3.04
Actividades	- 0.795	- 1.43	1.197***	2.65	- 1.410*	- 1.88
Satisfacción	0.990***	3.15	- 0.522	- 1.34	0.666**	2.00
Destino	0.442	1.24	0.069	0.2	0.785**	2.31
Caminata	0.106	0.34	0.482	1.55	0.503	1.63
Diversidad	1.314**	1.97	1.782***	2.89	- .594	- 0.65
Gasto 1	Referencia					
Gasto 2	0.391	0.99	- 1.043***	- 2.84	0.407	1.07
Gasto 3	0.713	1.41	- 1.232***	- 2.56	0.323	0.64
Gasto 4	1.596***	3.51	- 2.525***	- 2.77	1.610 1***	3.44
Log likelihood	- 471.282					
Log likelihood restringido	- 575.222					
Wald chi ² (33)	125.66					
Pseudo R ²	0.181					

*Significancia al 10%, **Significancia al 5%, ***Significancia al 1%.

■ Tabla 4. Efectos marginales del modelo Logit Multinomial.
Table 4. Marginal Effects of the Multinomial Logit Model.

Variables	Todos Santos		Loreto		El Rosario		Cosalá	
	Coefficiente	z-estadístico	Coefficiente	z-estadístico	Coefficiente	z-estadístico	Coefficiente	z-estadístico
Cultural	0.350***	3.17	-0.265***	-5.91	-0.086*	-1.65	0.000	0.00
Hospedaje	-0.144***	-2.77	0.176***	3.2	-0.111***	-2.61	0.079	1.37
Transporte	0.179**	2.4	-0.022	-0.38	-0.001	-0.03	-0.156***	-3.14
Actividades	0.017	0.2	-0.145**	-2.43	0.351***	3.85	-0.224***	-3.9
Satisfacción	-0.107**	-2.05	0.168***	3.27	-0.136***	-3.59	0.075	1.38
Destino	-0.099*	-1.85	0.020	0.36	-0.046	-1.25	0.125**	2.17
Caminata	-0.072	-1.36	-0.037	-0.75	0.038	1.01	0.070	1.45
Diversidad	-0.170**	-2.35	0.159	1.54	0.237**	2.51	-0.227***	-4.11
Gasto 2	-0.022	-0.36	0.086	1.22	-0.157***	-4.1	0.093	1.34
Gasto 3	-0.053	-0.66	0.166*	1.7	-0.149***	-4.38	0.036	0.41
Gasto 4	-0.175***	-3.28	0.222***	2.73	-0.280***	-9.15	0.233***	2.78
Probabilidades condicionadas	29 %		27 %		16 %		28 %	

*Significancia al 10 %, **Significancia al 5 %, ***Significancia al 1 %.

Nota: se omite la variable Gasto 1 por el problema de la trampa de la variable dicotómica.

El análisis de la probabilidad de que los individuos elijan alguno de los cuatro PM se efectúa a través de los efectos marginales (Tabla 4), los cuales, para un modelo Logit Multinomial, son interpretados como variaciones en las probabilidades predichas por el efecto de los cambios en las variables de control analizadas (Cameron y Trivedi, 2005). La discusión de los resultados se centra solamente en aquellos coeficientes que resultaron estadísticamente significativos a los niveles usuales, que son P valores de 0.01, 0.05 y 0.10.

En el caso de Todos Santos, el motivo del viaje con fines de disfrutar eventos culturales (variable cultural) impacta positivamente en esta opción y aumenta la probabilidad en 35 % de elegir este pueblo. Para Loreto y El Rosario el

efecto marginal cultural es negativo, con disminuciones en las probabilidades de 27 % y 9 %, respectivamente. Estos hallazgos se deben a que Todos Santos, por su tradición, es preferido por la cultura que representa, mientras que en los otros dos pueblos el principal interés es por motivos de descanso. Las investigaciones de Ercolano y col. (2018) y Yoo y col. (2018) señalan que el efecto tiende a variar dependiendo de lo que el turista busque encontrar en el sitio para disfrutar del mismo. Lyons y col. (2009) encuentran en su estudio que los viajeros irlandeses que prefieren áreas con patrimonios culturales inciden negativamente en la elección de un país como destino de vacaciones. Almeida y Garrod (2018) demuestran que quienes se inclinan por descubrir nuevas culturas y formas de vida afectan

positivamente la opción de un destino costero con vasta experiencia en la recepción de turistas.

Los individuos que calificaron los servicios de hospedaje como excelentes afectan negativamente en las elecciones de Todos Santos y El Rosario, mientras que en Loreto el efecto es positivo. La disminución de las probabilidades es del orden de 14 % y 11 % para los 2 primeros pueblos y para Loreto un aumento de 18 %. La razón es que Loreto cuenta con servicios de hospedaje de más categoría que Todos Santos y Cosalá, por tratarse de un polo turístico de hegemonía que comprende una infraestructura hotelera considerable. Las personas que tienden a gastar más en alojamiento prefieren este lugar y, por ende, la puntuación que le otorgan a los servicios de hospedaje es más alta (Albaladejo y Díaz, 2003). Los estudios de Ahn y col. (2013) y Masiero y Qiu (2018) mencionan que los turistas seleccionan el sitio por la disponibilidad y la calidad de los servicios.

Los visitantes que usaron transporte propio y consideraron la carretera y señalamientos como excelentes (variable transporte) tuvieron un efecto negativo en Cosalá, con una disminución en la probabilidad de 16 %; y una influencia positiva en Todos Santos, con un aumento de 18 %. La diferencia en el signo de las relaciones se asocia a que la carretera que transita a Todos Santos es una autopista y con señalamientos muy bien definidos, a diferencia de Cosalá. El trabajo de Li y col. (2019) indica que si el lugar escénico en el sitio se muestra en la señalización, este predictor influye positivamente en la visita. Los viajeros que no se interesan en las actividades recreativas y de esparcimiento (variable actividades) son menos propensos a elegir Loreto y Cosalá, con disminuciones en las probabilidades de 15 % y de 22 %, respectivamente, mientras que se inclinan más por El Rosario, con aumento de 35 %. La disparidad en los signos de los efectos se atribuye a que Loreto tiene una gran oferta de actividades recreativas acuáticas como la pesca deportiva, el buceo, el *kayaking* y veleros; en Cosalá los atractivos son el eco-

turismo y la aventura. En lo que respecta a El Rosario, las propuestas que existen en este sitio para que los viajeros lo visiten son de tipo cultural y las festividades, sin embargo los turistas manifestaron que este motivo de viaje se relaciona negativamente con la elección de este PM. El trabajo de Yoo y col. (2018) menciona que la influencia de esta variable de control en signo puede cambiar si el turista prefiere o no las actividades recreativas y de esparcimiento. Por su parte, Masiero y Qiu (2018) argumentan que los visitantes que calificaron las atracciones recreativas al aire libre como excelentes inciden positivamente en la selección del destino. Almeida y Garrod (2018) muestran evidencia de que quienes disfrutan de la aventura y el placer tienden a elegir un destino costero con vasta experiencia en la recepción de turistas.

Los individuos que otorgaron un nivel de excelencia a la experiencia que tuvieron en su visita (variable satisfacción) son menos proclives a elegir Todos Santos y El Rosario, disminuyendo sus probabilidades en 11 % y 14 %, respectivamente. El efecto marginal es positivo sobre la elección de Loreto, aumentándolas en 17 %. La disimilitud en las influencias de los signos se debe a que Loreto les ofrece una gama de servicios turísticos más amplia que el resto de los destinos. Las investigaciones de Ahn y col. (2013) y Masiero y Qiu (2018) señalan que el atractivo de la atmósfera que incluya restaurantes, hoteles, monumentos, lugares históricos, facilidades de transportación, escenarios naturales y entretenimiento influye sustancialmente en la elección del lugar.

Los visitantes que recibieron información sobre el sitio por medio de la familia (variable destino) mostraron un impacto negativo en la elección de Todos Santos, disminuyendo la probabilidad en 10 %. En lo que respecta a Cosalá, su asociación con esta variable es positiva, incrementándola en 13 %. Estos resultados se explican en que quienes eligen Todos Santos, su principal medio de referencia son los amigos. Los visitantes que calificaron como mala la experiencia de la variedad de actividades (va-

riable diversidad) son menos propensos a elegir Todos Santos y Cosalá, con disminuciones en sus probabilidades de 17 % y 23 %, respectivamente. En El Rosario la relación con esta variable explicativa es positiva, aumentándola en 24 %. El razonamiento para el contraste en los signos se asocia a que en Todos Santos y Cosalá es limitada la pluralidad de las actividades, mientras que en El Rosario, aunque le faltan más atractivos turísticos, los visitantes lo consideran como uno de sus sitios de gran preferencia por su cultura y festividades. De acuerdo con Ercolano y col. (2018), dependiendo del listado de actividades a desarrollar el visitante dentro del sitio, el individuo elegirá un destino.

La variable Gasto 1 (menor o igual a \$ 500 pesos) se usa como referencia (Tabla 4) para la estimación de la regresión y se interpretan los resultados con base en ésta porque si es incluida en la estimación se presenta el problema de la trampa de la variable dicotómica. Esta categoría de gasto es contrastada con los estratos Gasto 2 (entre \$ 501 pesos y \$ 1 000 pesos), Gasto 3 (entre \$ 1 001 pesos y \$ 1 500 pesos) y Gasto 4 (mayor a \$ 1 500 pesos). Los viajeros que se concentran en estos tres últimos rangos de desembolsos tienen menores probabilidades de elegir el PM El Rosario, con un registro del 16 %, 15 % y 28 %, respectivamente. En cuanto a Todos Santos, solamente los visitantes del nivel de Gasto 4 disminuyen en 18 % su probabilidad de seleccionarlo. En lo que respecta a Loreto, los de los Gastos 3 y 4 aumentan sus probabilidades de elegir este sitio con 17 % y 22 %, respectivamente; mientras que en Cosalá, solo aquellos del Gasto 4 las aumentan en 23 %. Los resultados de Todos Santos y El Rosario son acordes con los trabajos de Eymann y Ronning (1997); Pagliara y col. (2015); Nurlaela (2018); Masiero y Qiu (2018). Sin embargo, en los casos de Loreto y Cosalá, los hallazgos se atribuyen a que una gran proporción de los individuos que eligen estos sitios gastan por arriba de los \$ 1 500 pesos, implicando una estadía de aproximadamente una semana, donde el desembolso contempla el hotel. En el estudio de Albaladejo y

Díaz (2003) este factor tiene un efecto positivo y considera como gasto el correspondiente a alojamiento. En Todos Santos y El Rosario su visita por lo general es de paso, tendiendo a efectuar un gasto más bajo, de acuerdo a los resultados que arrojó la encuesta en el componente de gasto y estadía.

Los resultados obtenidos proporcionan información útil para que los tomadores de decisiones y prestadores de servicios turísticos puedan implementar acciones que lleven a mejorar la competitividad de sus negocios y la imagen del destino en general, elementos importantes que pueden influir en el desarrollo y la calidad de vida de la población local. Lo anterior puede coadyuvar a un mayor involucramiento de los residentes, como ha sido documentado en diversos estudios, como Pérez y col. (2011); Velázquez y Clausen (2012); Carrillo (2015); Madrid (2019). En consecuencia, esto forjará una percepción más positiva tanto del visitante como del residente con relación a los beneficios de la actividad turística (Mendoza y González, 2014). Por lo contrario, de acuerdo con Mendoza (2012); Carrillo (2013); Duarte (2015); Enciso (2015), si dichas estrategias no integran la participación activa de la población local, se puede correr el riesgo de exacerbar la apreciación de impactos negativos.

Las limitaciones del presente estudio se relacionan con que no es factible segmentar la muestra entre extranjeros y nacionales, dado que los primeros representan el 29 %. En este sentido, dado que en El Rosario y Cosalá los extranjeros constituyen el 11 % y 8 %, respectivamente, no sería posible estimar el modelo debido a que habría variabilidad insuficiente en los valores de las regresoras. Otro inconveniente es que la aplicación de la encuesta en la temporada de primavera podría afectar la estabilidad de los resultados, ya que el perfil de los visitantes podría ser diferente a los de otros períodos.

CONCLUSIONES

Al estimar la perspectiva de que el visitante escoja un determinado PM de la región noro-

este de México a partir de atributos como el perfil del visitante, la experiencia de los servicios, la percepción de los mismos, su satisfacción y el gasto efectuado durante su estancia arrojó que las probabilidades condicionadas de decidirse por cada uno de los cuatro PM son mayores en Todos Santos, seguido de Cosalá, Loreto y finalmente, El Rosario. Al analizar los cuatro PM se encontró que las probabilidades de elección del visitante como destino turístico varían en función de las especificidades del sitio, por ejemplo, en Todos Santos el motivo del viaje con fines de disfrutar eventos culturales impacta positivamente e incrementa la posibilidad de seleccionarlo, mientras que para sitios como Loreto y El Rosario se observa mayor predilección por realizar actividades de descanso. Estos datos permiten conocer la per-

cepción de los tipos de atributos que ofrece cada PM, para que cada uno de ellos mejore la promoción y la atención de los mismos para seguir satisfaciendo las preferencias de los turistas como su lugar de destino, así como proponer o mejorar otros atractivos, para ofrecer actividades dirigidas a visitantes con otro perfil y preferencias. Las investigaciones futuras pueden dirigirse a manejar cuestionarios que incluyan una mayor cantidad de ítems del perfil del turista y más PM, con un tamaño de muestra que permita segmentar entre visitantes nacionales y extranjeros, donde exista un monitoreo de aplicación de la encuesta interanual. Esta investigación podría ser complementada con la incorporación de metodologías más cualitativas que se enfoquen a las preferencias de la elección de los PM.

REFERENCIAS

- Ahn, T., Ekinici, Y., and Li, G. (2013). Self-congruence, functional congruence, and destination choice. *Journal of Business Research*. 66(6): 719-723.
- Albaladejo I. y Díaz, M. (2003). Un modelo de elección discreta en la determinación del perfil del turista rural: Una aplicación a Murcia. *Cuadernos de Turismo*. 11: 7-19.
- Almeida, A. and Garrod, B. (2018). A CATREG model of destination choice for a mature Island destination. *Journal of Destination Marketing & Management*. 8: 32-40.
- Cameron, C. and Trivedi, P. (2005). *Microeconometrics. Methods and applications*. United Kingdom: Cambridge University Press. 1034 Pp.
- Carrillo, A. (2013). Pueblos Mágicos y la gestión del turismo en México. Caso Cuetzalan, Puebla (2002-2011). *Tesis de Licenciatura en Ciencias Políticas y Administración Pública*. UNAM. 100 Pp.
- Carrillo, A. (2015). *Pueblos mágicos, de la magia al desarrollo local*. México: Buen Gobierno. 19: 106-119.
- Castaño, J. M., Moreno, A. y Crego, A. (2006). Factores psicosociales y formación de imágenes en el turismo urbano: un estudio de caso sobre Madrid. *Pasos*. 4(3): 287-299.
- Castro, J. C., Palacios, J. M. y Plazarte, L. (2019). Imagen del destino desde la perspectiva del turista. *Turismo y Sociedad*. 26: 45-66.
- Choque, M. (2017). *Determinantes en la decisión del millennial para elegir el destino: Bolivia* (Tesis de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12817/TG-3983.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021.
- Cochran-Gemmel, W. (1989). *Sampling Techniques*. Nueva York: Willey and Sons. 428 Pp.
- CODESIN, Consejo de Desarrollo de Sinaloa (2018). Reporte de llegada de turistas y ocupación hotelera en Sinaloa, de enero a diciembre de 2017. Unidad de estadística y análisis. [En línea]. Disponible en: <http://sinaloaennumeros.com/wp-content/uploads/2018/01/Reporte-07-del-2018-de-turismo-a-ene-dic.-2017.pdf>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021.
- Cohen, S. A., Prayag, G., and Moital, M. (2014). Consumer behaviour in tourism: concepts, influences and opportunities. *Current Issues in Tourism*. 17(10): 872-909.
- Da-Cruz, G. y De-Camargo, P. (2008). Estrategias de promoción en la web. Análisis de destinos turísticos internacionales. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 17(2): 156-169.
- DATATUR, Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo (2020a). Baja California. Llegada de Turistas totales a la Entidad. [En línea]. Disponible en: https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_BCN.aspx. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2021.
- DATATUR, Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo (2020b). Baja California Sur. Llegada de Turistas totales a la Entidad. [En línea]. Disponible en: https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_

BCS.aspx. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2021.

DATATUR, Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo (2020c). Sonora. Llegada de Turistas totales a la Entidad. [En línea]. Disponible en: https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_SON.aspx. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2021.

DATATUR, Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo (2020d). Sinaloa. Llegada de Turistas totales a la Entidad. [En línea]. Disponible en: https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_SIN.aspx. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2021.

DATATUR, Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo (2020e). Anuncia la Secretaría de Turismo once nuevos Pueblos Mágicos. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/sectur/prensa/anuncia-la-secretaria-de-turismo-once-nuevos-pueblos-magicos>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021.

De-Conto, S. M., Costa-Alvez, T. J., Zaro, M., Pistorello, J., Pereira, G. S. y Pessin, R. (2011). Las condiciones de saneamiento básico como factor decisivo en la elección del destino turístico. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 20(1): 213-228.

De-la-Hoz, A. y Muñoz, F. (2016). Análisis de los determinantes de la predisposición a visitar un destino de turismo de bienestar: tipologías del turista potencial. *Tourism & Management Studies*. 12(2): 84-95.

De-la-Mata, T. (2010). La elección de destino según las características de las comunidades autónomas de residencia. *Cuadernos de Economía*. 33(91): 127-158.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2014). Acuerdo por el que se establecen los Lineamientos generales para la incorporación y permanencia al Programa Pueblos Mágicos. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5361690&fecha=26/09/2014. Fecha de consulta: 13 de enero de 2021.

Domínguez, L. y de-Sevilha, M. (2017). Unique Image of a Destination: exclusive attributes of the destination of Ilhéus, BA, Brazil. *Revista Turismo em Análise – RTA*. 28(1): 71-90.

Dow, J. K. and Endersby, J. W. (2004). Multinomial probit and multinomial logit: a comparison of choice models for voting research. *Electoral Studies*. 23(1): 107-122.

Duarte, E. (2015). La participación del sector privado en la definición de la política urbana: el caso de la gestión del Programa Pueblos Mágicos en Cuitzeo, México. *Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*. 5(2): 127-142.

Enciso, J. (2015). Real del Monte, Hidalgo ¿Una experiencia de éxito? En L. López, C. Valverde y M. Figueroa (Eds.), *Pueblos Mágicos. Una visión interdisciplinaria*

(pp.135-158). México, D.F.: UAM Xochimilco-UNAM.

Ercolano, S., Gaeta, G., and Parenti, B. (2018). Pompeii dilemma: A motivation-based analysis of tourists' preference for "superstar" archaeological attractors or less renowned archaeological sites in the Vesuvius area. *International Journal of Tourism Research*. 20(3): 345-354.

Eymann, A. and Ronning, G. (1997). Microeconomic models of tourists' destination choice. *Regional Science and Urban Economics*. 27(6): 735-761.

Folgado, J. A., Oliveira, P. A., and Hernández, J. M. (2011). Imagen del destino y marca turística: sinergias e implicaciones. *Tourism and Management Studies*. 1: 904-901.

Galarza, A. E. y Soria, S. M. (2018). *Determinantes en la elección del destino turístico dentro de la Provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27663/1/682%20MKT.pdf>. Fecha de consulta: 26 de enero de 2021.

Gobierno del Estado de Baja California Sur-INEGI (2017). Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur 2017. [En línea]. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094881.pdf. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021.

Hausman, J. A. and McFadden, D. (1984). Specification Tests for the Multinomial Logit Model. *Econometrica*. 52: 1377-1398.

Huang, W. and P. Wang (2018). All that's best of dark and bright: Day and night perceptions of Hong Kong cityscape. *Tourism Management*. 66: 274-286.

Ibáñez, R. y Cruz, P. (2016). Nivel de satisfacción del turista y necesidades de capacitación en un pueblo mágico. En E. Madrid (Ed.), *Pueblos mágicos aciertos y retos* (pp. 231-255). México: Editorial Limusa.

Kastenholz, E., Eusébio, C., and Carneiro, M. (2018). Segmenting the rural tourist market by sustainable travel behaviour: Insights from village visitors in Portugal. *Journal of Destination Marketing & Management*. 10: 132-142.

Lazzari, L. L., Mouliá, P. I., Fernandez, M. J., Chiodi, J. A., Chelmicki, F., Chiodi, M. y Eriz, M. (2009). Preferencias del segmento joven en la elección de un destino turístico. *Cuadernos del CIMBAGE*. (11): 59-84.

Li, Y., Yang, L., Shenc, H., and Wu, Z. (2019). Modeling intra-destination travel behavior of tourists through spatiotemporal analysis. *Journal of Destination Marketing & Management*. 11: 260-269.

Lin, C. H. and Kuo, B. (2018). The moderating effects of travel arrangement types on tourists' formation of Tai-

- wan's unique image. *Tourism Management*. 66: 233-243.
- Lyons, S., Mayor, K., and Tol, R. (2009). Holiday destinations: Understanding the travel choices of Irish tourists. *Tourism Management*. 30(5): 683-692.
- Maddala, G. S. (1983). *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*. New York: Cambridge University Press. 401 Pp.
- Madrid, F. (2019). Derivaciones epistémicas de una política pública: el caso de los Pueblos Mágicos 2001-2015. *El Periplo Sustentable*. (36): 184-229.
- Martos, L. (2015). *Marketing en el sector turístico*. España, Editorial Síntesis. 250 Pp.
- Masiero, L. and Qiu, R. (2018). Modeling reference experience in destination choice. *Annals of Tourism Research*. 72: 58-74.
- McFadden, D. (1974a). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics* (pp. 105-142). New York: Academic Press.
- McFadden, D. (1974b). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*. 3: 303-328.
- Mediano, L. (2002). Incidencia del nuevo consumidor turístico en la estrategia de marketing. *Revista de Dirección y Administración de Empresas*. (10): 99-117.
- Mendoza, L. (2012). Análisis para la mejora en la aplicación del Programa Pueblos Mágicos en el municipio de Dolores Hidalgo, Guanajuato. *Tesis de Licenciatura en Ciencias Políticas y Administración Pública*. UNAM. 95 Pp.
- Mendoza, M. y González, J. (2014). Impactos socioculturales del turismo en el Centro Integralmente Planeado Loreto, Baja California Sur, México. Percepción de los residentes locales. *Teoría y Praxis*. 16: 117-146.
- Nurlaela, S. (2018). An application of Multinomial Logit Model (MNL) on tourist destination choices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 22: 1-8.
- Pagliara, F., La-Pietra, A., Gomez, J., and Vassallo, J. (2015). High Speed Rail and the tourism market: Evidence from the Madrid case study. *Transport Policy*. 37: 187-194.
- Pat, L. A. y Calderón, G. (2012). Caracterización del perfil turístico en un destino emergente, caso de estudio de Ciudad del Carmen, Campeche. México. *Gestión Turística*. (18): 47-70.
- Pérez, C., Zizumbo, L., Romero, T., Cruz, G. y Madrigal, D. (2011). El turismo como intervención e implicaciones para las comunidades rurales. *Gestión Turística*. 16: 229-264.
- Pérez-Ramírez, C. A. y Antolín-Espinosa, D. I. (2016). Programa pueblos mágicos y desarrollo local: actores, dimensiones y perspectivas en El Oro, México. *Estudios Sociales*. 25(47): 219-243.
- Pons, R. C., Morales, L. y Díaz, Y. (2007). La imagen del destino y el comportamiento de compra del turista. *Teoría y Praxis*. 3: 89-102.
- Possebon, J., Cervi, C. y Knebel, D. (2019). Factores que influyen en la decisión de compra de viajes turísticos un estudio en el Noroeste de Rio Grande Do Sul (Brasil). *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 28: 903-922.
- Powers, D. A. and Xie, Y. (2000). *Statistical Methods for Categorical Data Analysis*, New York: Academic Press. 295 Pp.
- Saladié, O., Antón, S., Cortés-Jiménez, I., Fernandez, A. y Young, R. (2014). La influencia de las rutas de vuelos de bajo coste en la elección del destino turístico. *Cuadernos de Turismo*. (34): 287-312.
- Santana, L. and Gosling, M. (2017). Unique image of a destination: Exclusive attributes of The case of Kavala. *Journal of Travel Research*. 55(5): 659-674.
- SECTUR, Secretaría de Turismo (2017). Principales indicadores turísticos, Cuarto trimestre 2015-2016, Sinaloa. [En línea]. Disponible en: http://www.transparenciasinaloa.gob.mx/images/stories/ST/programas%20y%20servicios/estadisticas/2016/TURISMO-INDICADORES_4to.Trim.2015-2016.pdf. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2021.
- StataCorp (2017). Stata: Release 15.1 (Versión 15.1) [Software de computo]. Texas, Estados Unidos de América: Stata Corp LLC.
- Stylidis, D., Shani, A., and Belhassen, Y. (2017). Testing an integrated destination image model across residents and tourists. *Tourism Management*. 58: 184-195.
- Tan, W. K. and Wu, C. E. (2016). An investigation of the relationships among destination familiarity, destination image and future visit intention. *Journal of Destination Marketing & Management*. 5(3): 214-226.
- Train, K. (1998). Recreation demand models with taste differences over people. *Land Economics*. 74(2): 230-239.
- Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. New York: Cambridge University Press. 388 Pp.
- Velázquez, M. y Clausen, H. (2012). Tepoztlán, una economía de la experiencia íntima. *Latin American Research Review*. 47(3): 134-154.
- Yoo, C. K., Yoon, D., and Park, E. (2018). Tourist motivation: an integral approach to destination choices. *Tourism Review*. 73(2): 169-185.



Imagen de dtamez en Pixabay

Motivaciones e intención de visita frente a la situación de inseguridad por el narcotráfico. Estudio de las percepciones del turista de Mazatlán, México

Motivation and visit intention in the face of the insecurity situation due to drug trafficking. A tourist perception study in Mazatlán, Mexico

Diana Gisela Hernández-Estrada, Alejandro Delgado-Cruz*, Yanelli Daniela Palmas-Castrejón

RESUMEN

La situación de inseguridad ocasionada por el crimen organizado representa un problema para la actividad turística al intervenir en la decisión de visitar un destino. Particularmente, cuando el destino está cercano a zonas con antecedentes de actividades ilícitas relacionadas con el narcotráfico, como es el caso de Mazatlán, en México. El objetivo de este trabajo fue analizar las motivaciones turísticas sobre la intención de visita a la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, ante la situación de inseguridad por el narcotráfico. A través de una investigación cuantitativa de alcance explicativo, se encuestó a 453 turistas nacionales y extranjeros; y los datos obtenidos se trataron con la modelación de ecuaciones estructurales por mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM) y otras técnicas estadísticas. Los resultados muestran que, a pesar de la situación de inseguridad por el narcotráfico, las motivaciones *pull* inciden con mayor fuerza que las *push*. Sin embargo, ambas tienen una capacidad y relevancia predictiva fuerte. Por otro lado, la condición de inseguridad por el narcotráfico influye en la conducta de los encuestados y, por tanto, se asumen comportamientos de prevención y cuidado en los espacios que concurren. Asimismo, los extranjeros perciben en menor grado los estragos ocasionados por el crimen organizado y tienen mayores motivaciones *pull* y *push*; en consecuencia, su intención de viaje a este lugar es más alta que el de los mexicanos. Se concluye que en Mazatlán, independientemente de la posibilidad de escenarios de peligro emanados por el narcotráfico, existen estímulos que impulsan la estancia vacacional. Los aportes de esta investigación pueden ser de apoyo en el desarrollo de estrategias de comercialización y seguridad de los destinos, para atraer más viajeros.

PALABRAS CLAVE: inseguridad, narcotráfico, motivación, intención de visita, destino turístico.

ABSTRACT

The insecurity situation caused by organized crime represents a problem for tourism activity as it affects the decision to visit a destination. Particularly when the destination is close to areas with a history of illicit activities related to drug trafficking, as is the case of Mazatlán, Mexico. The objective of this study was to analyze tourist motivations regarding the intention to visit the city of Mazatlán, Sinaloa, in the face of insecurity due to drug trafficking. Through a quantitative research of explanatory scope, 453 domestic and foreign tourists were surveyed; and the obtained data were treated with partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) and other statistical techniques. The results show that, despite the situation of insecurity due to drug trafficking, *pull* motivations have a stronger impact than *push* motivations. However, both have a strong predictive capacity and relevance. On the other hand, the condition of insecurity due to drug trafficking influences the behavior of those surveyed and, therefore, they assume prevention and care behaviors in the spaces they visit. Likewise, foreigners perceive the ravages caused by organized crime to a lesser degree and have greater *pull* and *push* motivations; consequently, their intention to travel to this place is higher than that of Mexicans. It is concluded that in Mazatlán, regardless of the possibility of dangerous scenarios emanating from drug trafficking, there are stimuli that encourage vacationing. The contributions of this research can be of support in the development of marketing and security strategies for destinations, in order to attract more travelers.

KEYWORDS: insecurity, drug trafficking, motivation, visit intention, tourist destination.

*Correspondencia: adelgadoc@uaemex.mx/ Fecha de recepción: 9 de febrero de 2021/ Fecha de aceptación: 25 de junio de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Turismo y Gastronomía, calle Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca de Lerdo, Estado de México, México, C. P. 50110.

INTRODUCCIÓN

El narcotráfico es un problema con graves repercusiones socioculturales, políticas y económicas para diversos países (Moreno y col., 2016). A pesar de los esfuerzos por combatir la venta de sustancias ilegales en México, su existencia se ha intensificado drásticamente por el crecimiento de la corrupción, así como la capacidad militar, la expansión y la internacionalización del crimen organizado (Rosen y Zepeda, 2015; Moreno y col., 2016; De-la-Torre y Navarrete, 2018). Su origen en México se remonta a fines del siglo XIX con el cultivo de amapola por parte de una comunidad china en Los Altos de Sinaloa, zona ubicada en el norte del país (De-la-Torre y Navarrete, 2018).

Hoy en día, el narcotráfico invade prácticamente todo el territorio nacional, pero principalmente se conglera en las zonas fronterizas, por su ubicación estratégica para la distribución y venta de drogas (Rosen y Zepeda, 2015; De-la-Torre y Navarrete, 2018). Su presencia se vuelve todavía más delicada cuando se vincula con delitos que atentan al bienestar y la vida de las personas (Puyana y col., 2017). La frecuencia de homicidios y actos de violencia en una región son elementos que se toman en cuenta para visitarla (Flores y col., 2016; León y Flores, 2018).

El turismo es uno de los sectores económicos más afectados por este fenómeno, al ser retráctil ante escenarios con un elevado grado de peligro. Desafortunadamente, los destinos usualmente preferidos se convierten en un punto de encuentro para el crimen organizado por dos razones principales: a) ser un potencial mercado de venta y consumo de drogas y b) ser un espacio para cometer delitos contra los turistas, expuestos a sufrir algún tipo violencia (De-la-Torre y Navarrete, 2018; Navarrete y col., 2020). Aunque también son propicios para llevar a cabo otras actividades ilícitas como el secuestro, la extorsión, la trata de blancas, la prostitución, el lavado de dinero y el contrabando, entre otros (De-la-Torre y Navarrete, 2018; Navarrete y col., 2020).

El narcotráfico en México se ha extendido hacia los destinos emblemáticos de sol y playa con reconocimiento nacional e internacional. Por ejemplo, Acapulco, Huatulco, Ixtapa Zihuatanejo, Los Cabos, Manzanillo, Mazatlán y Puerto Vallarta (De-la-Torre y Navarrete, 2018). En el caso particular de Mazatlán, en el estado de Sinaloa, tiene un buen posicionamiento en preferencias al registrar 2 514 819 viajeros y una ocupación hotelera de 39 % en 2020, de acuerdo al Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa (CODESIN, 2021). Empero, por su cercanía con la ciudad de Culiacán, donde opera uno de los cárteles del crimen organizado más grande de México, se observan múltiples sucesos de violencia e inseguridad que afectan su imagen (Sánchez y Aguilar, 2016; Sánchez y col., 2020).

La situación de inseguridad por el narcotráfico difundida por los medios de comunicación, es un aspecto que incide en el concepto sobre la localidad a acudir, al tiempo de afectar los deseos y la intención de visitarla (Sánchez y Aguilar, 2016; De-la-Torre y Navarrete, 2018). En general, las percepciones de violencia y peligro en torno a un sitio se traducen en miedo y, por consiguiente, en la disminución de las posibilidades de ir a él (De-la-Torre y Navarrete, 2018; Hernández, 2018; Costa y González, 2020; Navarrete y col., 2020). En términos de competitividad turística, los problemas conexos con el crimen organizado constituyen grandes obstáculos para el desarrollo económico, productivo y social de las comunidades receptoras y de las empresas inmersas en la cadena de suministro (Sánchez y Aguilar, 2016).

Por su parte, las motivaciones son fuerzas socio-psicológicas que influyen en los individuos para desplazarse a un lugar determinado, así como para seleccionar o participar en alguna actividad que les entusiasma (Beltrán y Parra, 2017). De acuerdo con las contribuciones teóricas de Dann (1977), se clasifican en dos tipos: a) las *pull*, extrínsecas o de jale, las cuales se caracterizan por partir de los incentivos que ofrece el propio lugar a través de sus recursos y atractivos que despiertan el interés en las personas. Las segundas son las *push*, in-

trínsecas o de empuje, cuya esencia radica en los estímulos internos para escapar de la rutina y del ambiente cotidiano mediante actividades de recreación y ocio.

Las motivaciones están íntimamente relacionadas con la intención de la visita (Morales y col., 2018; Perovic y col., 2018; Yoo y col., 2018; Hasan y col., 2019). Por consiguiente, entran en juego tanto las *pull* como las *push*, ya que cuando un sitio se distingue por su reputación, posicionamiento y cuenta con los recursos necesarios para hacer más tentadora la estancia, se incrementa la posibilidad de hacerla (Morales y col., 2018; Hosany y col., 2020). Al mismo tiempo, se combinan las expectativas que se tienen sobre el paraje con los propios deseos, entre ellos, disfrute, relajación, descanso y placer. Por tanto, las motivaciones se convierten en un factor para decidir el destino, así como para regresar a él (Perovic y col., 2018; Hasan y col., 2019).

Algunos autores señalan que cuando los delitos aumentan, disminuye el número de turistas, afectando el desarrollo económico del sector (Lozano, 2016). Por ejemplo, el miedo y el peligro por el crimen reducen la afluencia y, en consecuencia, los ingresos económicos; ya que se ve comprometido el nivel de satisfacción del visitante y su decisión de retorno (Hernández, 2018). Por otro lado, Costa y González (2020) exponen que la delincuencia influye sobre el flujo de viajeros, pero no supone una afectación directa a las actividades turísticas, ya que se puede hacer uso de la infraestructura y de los servicios al no percibir un nivel alarmante de inseguridad. Mientras que Godoy y Rodríguez (2020) y Navarrete y col. (2020) demuestran que las concentraciones de violencia se dan más frecuentemente en las zonas aledañas a los destinos.

En la investigación realizada directamente en Mazatlán, Sánchez y col. (2020) reportan que su imagen está relacionada con los recursos naturales y culturales y, en menor medida, con la inseguridad. Empero, observan que las percepciones sobre el riesgo cambian cuando se presenta algún tipo de violencia generada por

el narcotráfico y crimen organizado (Sánchez y Aguilar, 2016; Sánchez y col., 2018). En este mismo sentido, los hallazgos de Flores y col. (2016) permiten evidenciar que la apreciación de la seguridad no se ubica como uno de los factores principales que influyen en las decisiones de viaje. Sin embargo, indican que los extranjeros tienden a informarse sobre las alertas y tomar las medidas de protección necesarias.

A pesar de las repercusiones de la violencia, el análisis de Flores y col. (2018) indica que su aumento tiene un impacto marginal y limitado que no afecta de manera total al sector turístico. Asimismo, León y Flores (2018) observan que los homicidios tienen una influencia moderada en la concurrencia de los extranjeros, pero no en su estancia. Desde otro ángulo, los símbolos relacionados con la “narcocultura” pueden ser atrayentes. El estudio de Flores y Sánchez (2018) identifica que hasta el momento los viajeros no están completamente movidos por ello, pero se sabe que existen servicios clandestinos de *narcotours*.

También son varias las investigaciones que han analizado los estímulos para viajar a destinos de sol y playa, culturales y alternativos (Caber y Albayrak, 2016; Morales y col., 2018; Hasan y col., 2019; Hosany y col., 2020; Reza y col., 2020). No obstante, son incipientes los estudios empíricos que abordan cómo pueden estar condicionados por factores de riesgo e inseguridad. Por consiguiente, el narcotráfico al ser un fenómeno complejo e integrarse de diversos elementos, resulta interesante centrar la atención en la percepción de los turistas en torno a los factores de inseguridad que surgen o emanan de éste.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la influencia de las motivaciones turísticas sobre la intención de visita, ante la situación de inseguridad por el narcotráfico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño metodológico

La investigación se desarrolló bajo el enfoque

cuantitativo y el método deductivo, al medir el fenómeno y contrastar la teoría con la realidad. Asimismo, fue de diseño no experimental, corte transversal y alcance explicativo, al recolectar los datos en solo un momento, no manipular las variables y encontrar las dinámicas entre ellas (Creswell y Creswell, 2018). En este estudio las variables en cuestión fueron la situación de inseguridad por el narcotráfico, la conducta ante la misma, las motivaciones turísticas y la intención de visita.

Recolección de datos

El trabajo de campo se llevó a cabo en Mazatlán, por ser un destino turístico reconocido a nivel nacional e internacional, pero que también está cercano a una de las regiones donde nació y opera actualmente el “Cartel de Sinaloa”, el grupo del crimen organizado más grande de México (Sánchez y Aguilar, 2016; Sánchez y col., 2020). Se trató de un muestreo no probabilístico de sujetos voluntarios. La técnica de recolección consistió en una encuesta auto administrada a 453 turistas de Mazatlán que realizaron una estancia entre los meses de agosto de 2019 a febrero de 2020. Se utilizó como instrumento un cuestionario que se hizo llegar de manera directa a unos y a distancia (en línea) a otros, con el apoyo de Google Forms, contactados mediante grupos de redes sociales en Facebook con temas de interés sobre vacaciones y turismo en Mazatlán. Como mecanismo de control, se corroboró que los encuestados estuvieran en el lugar. En esta etapa se les informó sobre el uso académico de la información y el anonimato de sus respuestas.

El instrumento de medición se diseñó a partir de la revisión de literatura científica y una prueba piloto. En ese sentido, fueron definidas las variables: narcotráfico (N) (situación de inseguridad por el narcotráfico), conducta ante el narcotráfico (CN), motivaciones *pull* (MPULL), motivaciones *push* (MPUSH) e intención de visita (IV) (Tabla 1), mismas que fueron valoradas con una escala tipo Likert de seis puntos que fue de 1 “totalmente en desacuerdo” a 6 “totalmente de acuerdo”. Para la

caracterización de la muestra se elaboró una ficha de datos sociodemográficos (Tabla 2).

Tratamiento de datos

Como técnica principal se empleó la modelación de ecuaciones estructurales por mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM, por sus siglas en inglés: partial least squares structural equation modeling) (Hair y col., 2017). Del mismo modo, las medias y la diferencia de éstas permitieron describir las valoraciones de los participantes. Por otro lado, se utilizó el coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación entre las variables. Para esto fue necesario el uso de los *softwares* SmartPLS versión 3.3.3 (Ringle y col., 2015) y el paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: statistical package for the social sciences) versión 25.0 (IBM, 2017).

RESULTADOS

Caracterización de la muestra

La mayoría de los participantes fueron mexicanos, aunque también residentes de otros países como los Estados Unidos. Más del 70 % eran jóvenes a jóvenes-adultos (de 18 a 35 años) solteros (56 %) y casados (29 %). En el tema de escolaridad, 52.7 % contaba con estudios de licenciatura y 19.2 % con bachillerato. Asimismo, 35.7 % se ocupaba como profesionista, mientras que 21 % eran trabajadores dentro de la iniciativa privada y otro 21 % eran estudiantes. En cuanto a su estancia, 46.6 % prefería vacacionar de cuatro a seis días. La compañía durante la estancia más frecuente fue con familiares con 41.3 %. Respecto al lugar de alojamiento, optaban principalmente por hoteles con un 69 %, seguido de casas rentadas (11.9 %) o de familiares y amigos (9.5 %). También, se detectó un porcentaje de turistas residenciales (6.6 %), es decir, aquellos que tienen casas propias para tomar días de descanso o vacaciones.

Modelo de medida

En cuanto al modelo de medida, como se observa en la Tabla 3, los valores son satisfactorios al corroborar la consistencia interna de las variables a través del alfa de Cronbach (α), el

■ **Tabla 1. Definición conceptual y operativa de las variables.**
 Table 1. Conceptual and operational definition of variables.

Variable	Concepto	Código	Ítem
Narcotráfico (N)	Percepción de una situación de inseguridad por el comercio o tráfico ilegal de drogas (De-la-Torre y Navarrete, 2018).	N_01	Considero que en este destino hay un problema de narcotráfico
		N_02	Considero que el narcotráfico genera situaciones de riesgo o peligro en el destino
		N_03	Considero que el narcotráfico afecta la imagen del destino
		N_04	Considero que hay inseguridad en este destino por la situación de narcotráfico
Conducta ante el narcotráfico (CN)	Comportamiento de prevención ante una situación de inseguridad por el narcotráfico (Sánchez y col., 2018).	CN_01	Por la situación de narcotráfico, evito salir a caminar a ciertas horas
		CN_02	Por la situación de narcotráfico, evito visitar ciertas zonas, lugares o establecimientos del destino
		CN_03	Por la situación de narcotráfico, evito utilizar el transporte público en el destino
Motivaciones pull (MPULL)	Impulsores del viaje suscitados por los atributos del destino turístico (Dann, 1977).	MPULL_01	El lugar es accesible para llegar
		MPULL_02	El lugar es accesible en cuanto a precios
		MPULL_03	El lugar es limpio
		MPULL_04	El lugar es seguro
		MPULL_05	El lugar cuenta con atractivos turísticos
		MPULL_06	El lugar con una rica gastronomía
		MPULL_07	El lugar tiene buen clima
		MPULL_08	El lugar cuenta con un hermoso paisaje o vista panorámica
		MPULL_09	El lugar goza de buena reputación
		MPULL_10	El lugar cuenta con servicios turísticos de calidad
Motivaciones push (MPUSH)	Impulsores del viaje suscitados por aspectos socio-psicológicos del turista (Dann, 1977).	MPUSH_01	Puedo disfrutar de mis vacaciones
		MPUSH_02	Puedo salir de la rutina
		MPUSH_03	Puedo descansar o sentirme relajado
		MPUSH_04	Puedo tener agradables experiencias
		MPUSH_05	Puedo conocer o interactuar con nuevas personas
		MPUSH_06	Puedo venir con mis amigos o familia
		MPUSH_07	Puedo recibir buen trato por parte de los residentes del destino
Intención de visita (IV)	Disposición para desplazarse a un lugar o destino con el fin de conocer y disfrutar una estancia corta o larga (Perovic y col., 2018; Hasan y col., 2019).	IV_01	Repetiría mi visita a este destino
		IV_02	Este destino sería mi primera opción para vacacionar
		IV_03	Volvería a visitar con otros este destino

Fuente: modificado a partir de Dann (1977); De-la-Torre y Navarrete (2018); Perovic y col. (2018); Sánchez y col. (2018); Hasan y col. (2019).

■ **Tabla 2. Características de la muestra.**
 Table 2. Sample characteristics.

Variable	Valor	Frecuencia (f)	Porcentaje (%)
Sexo	Femenino	261	57.6
	Masculino	192	42.4
Tipo de turista	Nacional	393	86.8
	Extranjero	60	13.2
País de residencia del turista	México	393	86.8
	Estados Unidos de América	38	8.4
	Cuba	4	0.9
	Colombia	5	1.1
	España	2	0.4
	Guatemala	3	0.7
	Honduras	1	0.2
	El Salvador	1	0.2
	Perú	1	0.2
	Canadá	1	0.2
	Venezuela	2	0.4
	Panamá	2	0.4
Edad	18 a 20 años	46	10.1
	21 a 25 años	116	25.6
	26 a 30 años	89	19.6
	31 a 35 años	69	15.2
	36 a 40 años	38	8.4
	41 a 45 años	42	9.3
	46 a 50 años	19	4.2
	51 a 55 años	23	5.1
	56 a 60 años	8	1.8
	Más de 61 años	3	0.7
Nivel de estudios	Sin estudios	4	0.9
	Primaria	4	0.9
	Secundaria	18	3.9
	Bachillerato	87	19.2
	Carrera técnica	42	9.3
	Licenciatura	239	52.7
	Posgrado	56	12.4
	Otro	3	0.7
Motivo de visita	Vacaciones	297	65.6
	Negocios	58	12.8

Continúa...

	Visita a un familiar	70	15.4
	Otro	28	6.2
Días de estancia	1 a 3	87	19.2
	4 a 6	211	46.6
	7 a 9	89	19.6
	10 a 12	17	3.8
	13 a 15	16	3.5
	16 a 18	33	7.3
Lugar de alojamiento	Hotel	313	69.1
	Motel	8	1.8
	Casa propia	30	6.6
	Casa de un familiar o amigo	43	9.5
	Casa rentada	54	11.9
	Otro	5	1.1
Compañía durante la estancia	Solo	40	8.8
	Con conocidos	42	9.2
	Con pareja	95	21
	Con familiares	187	41.3
	Con amigos	86	19
	Otro	3	0.7
Ocupación	Estudiante	95	21
	Ama de casa	30	6.6
	Trabajador de empresa	95	21
	Profesionista	162	35.7
	Servidor público	40	8.8
	Otro	31	6.8
Estado civil	Soltero	254	56.1
	Unión libre	45	9.9
	Casado	133	29.4
	Divorciado	9	2
	Viudo	4	0.9
	Otro	8	1.8

■ **Tabla 3. Confiabilidad, validez convergente y discriminante.**

Table 3. Reliability, convergent and discriminant validity.

Variable	α	rho_A	pc	AVE	Correlaciones				
					N	CN	MPULL	MPUSH	IV
Narcotráfico (N)	0.847	0.856	0.898	0.690	0.830*				
Conducta ante el narcotráfico (CN)	0.872	0.882	0.921	0.796	0.790	0.892*			
Motivaciones <i>pull</i> (MPULL)	0.969	0.972	0.973	0.782	0.241	0.125	0.884*		
Motivaciones <i>push</i> (MPUSH)	0.970	0.970	0.975	0.847	0.250	0.108	0.848	0.920*	
Intención de visita (IV)	0.910	0.925	0.943	0.847	0.177	0.055	0.850	0.845	0.921*

*Raíz cuadrada de la varianza media extraída (AVE).

rho_A y la fiabilidad compuesta (pc) ($\alpha > 0.700$; rho_A > 0.700; pc > 0.700) (Nunnally, 1978; Henseler y col., 2009). También se cumplió con la validez convergente y discriminante, puesto que los valores de cada varianza media extraída (AVE, por sus siglas en inglés: average variance extracted) fueron mayores a 0.500 y la raíz cuadrada de la AVE fue superior a la correlación entre variables (Fornell y Larcker, 1981).

Por otro lado, se reportó un KMO de 0.967 y la prueba de esfericidad de Bartlett resultó sig-

nificativa ($\chi^2 = 15\ 210.878$; g.l. = 351; P = 0.000), evidenciando una adecuación muestral (Kaiser, 1974). Además, la matriz factorial manifestó una varianza explicada de 74.63 % y cargas cruzadas mayores a 0.707 (Henseler y col., 2009; Hair y col., 2017) (Tabla 4), soportando la pertinencia de los constructos de medición.

Modelo estructural

Se utilizó la función de *bootstrapping* con un total de 5 000 casos (Dijkstra y Henseler, 2015). En los valores t y P para cada uno de los coe-

■ **Tabla 4. Cargas cruzadas.**
Table 4. Cross-loads.

Ítem	Narcotráfico (N)	Conducta ante el narcotráfico (CN)	Motivaciones pull (MPULL)	Motivaciones push (MPUSH)	Intención de visita (IV)
N_01	0.707				
N_02	0.876				
N_03	0.868				
N_04	0.859				
CN_01		0.907			
CN_02		0.910			
CN_03		0.860			
MPULL_01			0.844		
MPULL_02			0.885		
MPULL_03			0.856		
MPULL_04			0.771		
MPULL_05			0.947		
MPULL_06			0.945		
MPULL_07			0.931		
MPULL_08			0.944		
MPULL_09			0.808		
MPULL_10			0.895		
MPUSH_01				0.918	
MPUSH_02				0.935	
MPUSH_03				0.920	
MPUSH_04				0.926	
MPUSH_05				0.895	
MPUSH_06				0.926	
MPUSH_07				0.923	
IV_01					0.941
IV_02					0.879
IV_03					0.941

ficientes beta se evidencia su significancia ($t \geq 1.960$; $P < 0.001$) (Tabla 5). Al aplicar el análisis *blindfolding*, el índice de redundancia de valor cruzado (Q^2) prueba la relevancia predictiva de las variables (Geisser, 1974; Stone, 1974). Por otro lado, se presentó una aceptable bondad de ajuste al tener un valor de la raíz cuadrada media residual (SRMR, por sus siglas en inglés: standardized root mean square residual) de 0.061 (Hu y Bentler, 1998; Hair y col., 2017).

Interpretación del modelo

Desde el análisis descriptivo se puede observar que las variables de narcotráfico ($\bar{x} = 3.294$; $\sigma = 1.644$) y conducta ante esta situación ($\bar{x} = 2.930$; $\sigma = 1.697$) están valoradas en un nivel bajo (Tabla 6). Por otro lado, el diagnóstico muestra que tanto las motivaciones *pull* ($\bar{x} = 4.512$; $\sigma = 1.577$) y *push* ($\bar{x} = 4.591$; $\sigma = 1.701$) como la intención de visita ($\bar{x} = 4.284$; $\sigma = 1.743$) fueron valoradas como “ligeramente de acuerdo”, representando un aspecto positivo, pero bajo. Los ítems más destacados hacen referencia a las motivaciones por los atractivos (MPULL_05), la gastronomía (MPULL_06) y el paisaje (MPULL_08), así como los intereses por salir de la rutina (MPUSH_02), la convivencia con amigos y familia (MPUSH_06) y la hospitalidad de los residentes (MPUSH_07). No obstante, el ítem con menor valoración fue el relativo a elegir a Mazatlán como primera opción para vacacionar (IV_02).

En virtud de las desviaciones estándar observadas en la Tabla 6, se procedió a correr la prueba *t* de student para identificar diferencias en-

tre turistas nacionales y extranjeros según su apreciación de las variables estudiadas, y se encontró que hay disparidades significativas en la percepción de inseguridad por el narcotráfico, las motivaciones *pull* y *push*, así como en la intención de visita (Tabla 7). Se muestra que los extranjeros estiman con menor riesgo la situación de narcotráfico ($\bar{x} = 2.854$). Además, están más movidos por las motivaciones *pull* ($\bar{x} = 5.195$) y *push* ($\bar{x} = 5.295$) y más dispuestos a volver ($\bar{x} = 5.127$), a diferencia de los mexicanos. El comportamiento no presentó divergencia entre ambos, ya que por igual toman medidas preventivas. La prueba *t* de student también identificó diferencias significativas en la percepción y la conducta ante la inseguridad según el sexo, encontrando que las mujeres tienen percepción ($\bar{x} = 3.441$) y conducta ($\bar{x} = 3.125$) menos negativas frente a las que muestran los hombres.

En otro aspecto, con la prueba ANOVA se pudieron identificar diferencias según la edad, el lugar de alojamiento y la compañía durante la estancia (Tabla 8). Respecto a la edad, dos subgrupos se ven marcados en la percepción y la conducta, los de 18 a 25 años y los de más de 51 no consideran que se vea afectada la imagen del destino o que existan problemas demasiado fuertes, pero sí manifiestan un comportamiento de prevención mayor que los turistas entre 26 y 50 años (Tabla 9).

Con relación a las motivaciones, los jóvenes de 20 años están menos impulsados por los

■ **Tabla 5. Coeficientes y valores del modelo.**

Table 5. Model coefficients and values.

Dinámica	β	Valor t	Valor P	R^2	R^2_{aj}	Q^2
N → CN	0.790	40.471	0.000	0.625	0.624	0.490
N → MPULL	0.241	5.596	0.000	0.058	0.056	0.044
N → MPUSH	0.250	5.803	0.000	0.062	0.060	0.052
N → IV	0.001	0.030	0.976	0.740	0.738	0.616
CN → IV	-0.049	1.096	0.273			
MPULL → IV	0.495	4.690	0.000			
MPUSH → IV	0.381	3.513	0.000			

N: Narcotráfico; CN: Conducta ante el narcotráfico; MPULL: Motivaciones *pull*; MPUSH: Motivaciones *push*; IV: Intención de visita.

■ **Tabla 6. Estadísticos descriptivos.**
 Table 6. Descriptive statistics.

Variable	Media (\bar{x})	Desviación estándar (σ)	Ítem	Media (\bar{x})	Desviación estándar (σ)
Narcotráfico (N)	3.294	1.644	N_01	3.119	1.960
			N_02	3.337	1.995
			N_03	3.456	2.045
			N_04	3.264	1.937
Conducta ante el narcotráfico (CN)	2.930	1.697	CN_01	2.986	1.955
			CN_02	3.033	1.922
			CN_03	2.770	1.825
Motivaciones <i>pull</i> (MPULL)	4.512	1.577	MPULL_01	4.423	1.851
			MPULL_02	4.406	1.756
			MPULL_03	4.293	1.787
			MPULL_04	4.068	1.785
			MPULL_05	4.814	1.778
			MPULL_06	4.803	1.806
			MPULL_07	4.739	1.779
			MPULL_08	4.816	1.795
			MPULL_09	4.196	1.732
			MPULL_10	4.562	1.796
Motivaciones <i>push</i> (MPUSH)	4.591	1.701	MPUSH_01	4.523	1.895
			MPUSH_02	4.600	1.852
			MPUSH_03	4.554	1.874
			MPUSH_04	4.573	1.899
			MPUSH_05	4.547	1.834
			MPUSH_06	4.631	1.833
			MPUSH_07	4.710	1.751
Intención de visita (IV)	4.284	1.743	IV_01	4.516	1.917
			IV_02	3.880	1.843
			IV_03	4.456	1.918

■ **Tabla 7. Prueba *t* de student.**
 Table 7. Student's t-test.

Variable	F	Valor P	Valor t	Medias (\bar{x}) por tipo de turista		F	Valor P	Valor t	Medias (\bar{x}) por sexo	
				Nacional (n = 393)	Extranjero (n = 60)				Femenino (n = 261)	Masculino (n = 192)
N	0.112	0.738	2.238	3.361	2.854	4.103	0.046	-2.212	3.441	3.096
CN	9.454	0.002	2.586	3.010	2.405	4.591	0.033	-2.229	3.125	2.664
MPULL	6.348	0.012	-3.647	4.408	5.195	7.003	0.008	0.023	4.511	4.514
MPUSH	11.253	0.001	-3.481	4.484	5.295	3.279	0.071	-0.121	4.599	4.580
IV	22.801	0.000	-4.091	4.156	5.127	0.199	0.752	0.508	4.249	4.333

N: Narcotráfico; CN: Conducta ante el narcotráfico; MPULL: Motivaciones *pull*; MPUSH: Motivaciones *push*; IV: Intención de visita.

■ Tabla 8. Prueba ANOVA.

Table 8. ANOVA test.

Variable	Edad		Motivo de visita		Días de estancia		Lugar de alojamiento		Compañía durante la estancia	
	F	Valor P	F	Valor P	F	Valor P	F	Valor P	F	Valor P
N	2.694	0.005	0.366	0.777	1.118	0.291	1.061	0.382	0.579	0.716
CN	4.033	0.000	0.733	0.533	0.608	0.436	0.770	0.572	0.720	0.609
MPULL	2.981	0.002	0.124	0.946	0.121	0.728	4.352	0.001	2.695	0.021
MPUSH	2.604	0.006	0.091	0.965	0.224	0.637	4.159	0.001	2.718	0.020
IV	2.284	0.016	0.239	0.869	0.116	0.734	3.964	0.002	2.658	0.022

N: Narcotráfico; CN: Conducta ante el narcotráfico; MPULL: Motivaciones *pull*; MPUSH: Motivaciones *push*; IV: Intención de visita.

■ Tabla 9. Grupos y subgrupos identificados por la prueba ANOVA.

Table 9. Groups and sub-groups identified by ANOVA test.

Variable	N		CN		MPULL		MPUSH		IV	
Edad	Sub-grupos									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18 a 20 años		3.434		3.028	3.482		3.521		3.355	
21 a 25 años		3.575		3.385	4.565			4.706	4.333	
26 a 30 años	3.325		2.711		4.497			4.645	4.337	
31 a 35 años	2.648		2.144		4.560			4.604	4.251	
36 a 40 años	2.815		2.552			4.836		4.879		4.780
41 a 45 años		3.607		3.230		4.795		4.840		4.500
46 a 50 años	2.894		2.666			4.663		4.676	4.140	
51 a 55 años		3.717		3.536		4.900		4.813	4.333	
56 a 60 años		3.593		3.583		5.112		5.142		5.333
Más de 61 años		4.416		4.222		4.000	3.809		4.333	
Lugar de alojamiento	Grupo		Grupo		Sub-grupos		Sub-grupos		Sub-grupos	
	1		1		1	2	1	2	1	2
Hotel	3.360		2.954			4.670		4.758		4.486
Motel	3.187		2.791			4.512		4.410		4.166
Casa propia	3.433		3.366			4.093		4.257		3.955
Casa de un familiar o amigo	3.267		2.837			4.458		4.508		3.868
Casa rentada	2.986		2.697			4.096		4.150		3.851
Otro	2.100		2.333		2.081		1.942		2.066	
Compañía durante la estancia	Grupo		Grupo		Sub-grupos		Sub-grupos		Sub-grupos	
	1		1		1	2	1	2	1	2
Solo	3.081		2.616			4.300		4.357	3.908	
Con conocidos	3.023		2.690		3.771		3.792		3.626	
Con pareja	3.231		3.045			4.723		4.763		4.414
Con familiares	3.389		2.926			4.632		4.741		4.518
Con amigos	3.395		3.046			4.502		4.607		4.162
Otro	3.166		3.666		3.900		3.666		3.333	

N: Narcotráfico; CN: Conducta ante el narcotráfico; MPULL: Motivaciones *pull*; MPUSH: Motivaciones *push*; IV: Intención de visita.

atributos del lugar ($\bar{x} = 3.521$) y sus intereses personales ($\bar{x} = 3.482$), en comparación de los viajeros de más edad. Finalmente, los turistas ubicados entre 36 a 45 años, igual que los de 56 a 60 tienen mayor disposición de desplazamiento, lo que va ligado con las motivaciones de disfrute y descanso (Tabla 9). En torno al alojamiento y compañía, se observan divergencias en las motivaciones *pull* y *push*, así como en la intención de visita. En concreto, los hospedados en sitios convencionales (e.g. hoteles, moteles y casas de familiares) tienen mayores motivaciones e intención de visita, en contraste con las personas que optaron por otro lugar (e.g. hostales y tiendas de campaña, definido como “otro”). Asimismo, los que van solos y acompañados de conocidos (e.g. compañeros del trabajo o escuela) tienen menores intenciones de una segunda visita, puesto que sus motivaciones también son bajas; a diferencia de los que se acompañan de personas con las que tienen un vínculo o arraigo emocional (e.g. familiares, amigos y pareja).

Para el análisis correlacional se verificó la normalidad de los datos con la asimetría y curtosis (± 2), para después optar por el coeficiente de Pearson. Se encontró que el narcotráfico está fuertemente relacionado con la conducta que tienen los turistas ($r = 0.784$; $P \leq 0.010$) (Tabla 10), ya que cuando se perciben problemas en torno a la venta ilegal de sustancias

y la afectación de la imagen del lugar, evitan salir a ciertas horas de la noche y concurrir a determinados establecimientos, como una forma de prevención.

Por otra parte, las motivaciones *pull* ($r = 0.846$; $P \leq 0.010$) y *push* ($r = 0.838$; $P \leq 0.010$) tienen las relaciones más fuertes con la intención de visita. Esto refleja que para los encuestados, las características y atributos del destino, el disfrute personal, las relaciones interpersonales y la experiencia son factores vinculados con regresar. Sin embargo, aunque el narcotráfico es una variable asociada de manera baja con la intención de visita ($r = 0.171$; $P \leq 0.010$) y las motivaciones *pull* ($r = 0.234$; $P \leq 0.010$) y *push* ($r = 0.253$; $P \leq 0.010$), las situaciones de riesgo, inseguridad y afectación de la imagen del lugar merman la decisión de volver, incluso de seleccionar a Mazatlán como una opción para vacacionar.

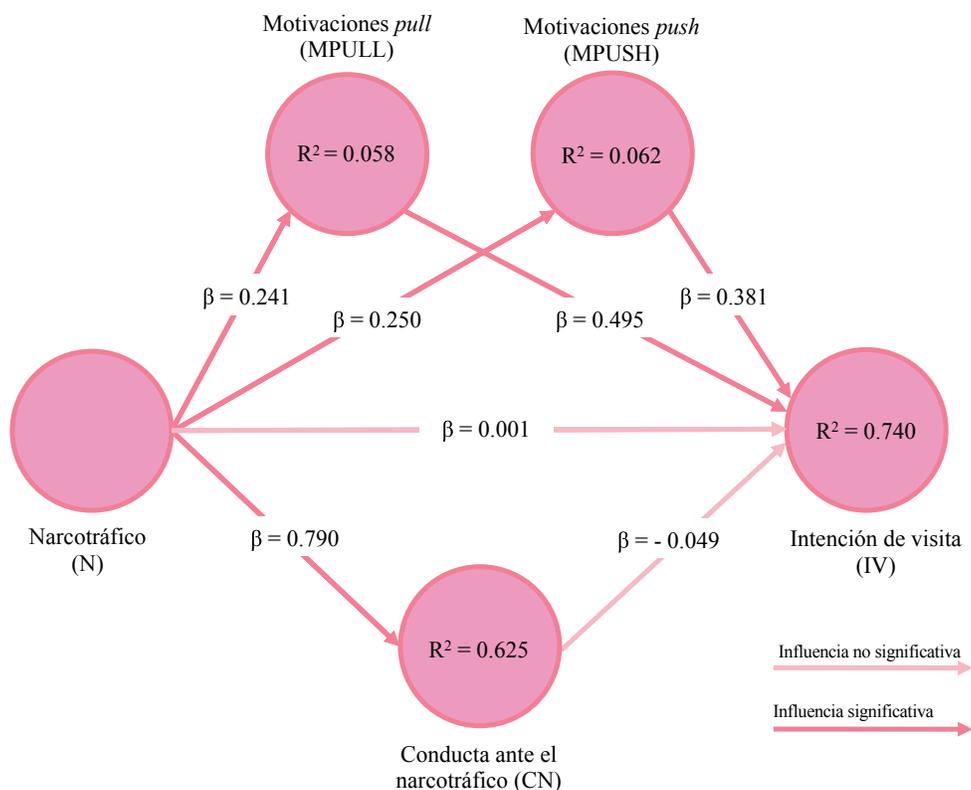
En cuanto al análisis explicativo, el modelo (Figura 1) mostró que el narcotráfico tiene una influencia significativa, positiva y fuerte sobre la conducta de los turistas ($\beta = 0.790$; $P \leq 0.001$) y de manera baja en las motivaciones *pull* ($\beta = 0.241$; $P \leq 0.001$) y *push* ($\beta = 0.250$; $P \leq 0.001$). Contrariamente, la situación de inseguridad por narcotráfico no impacta en la intención de visita ($\beta = 0.001$; $P \geq 0.050$) (Tabla 5). Además, los resultados muestran una gran relevancia pre-

■ **Tabla 10. Coeficiente de Pearson, asimetría y curtosis.**

Table 10. Pearson’s coefficient, skewness and kurtosis.

Variable	Correlaciones					Distribución	
	N	CN	MPULL	MPUSH	IV	Asimetría	Curtosis
Narcotráfico (N)	1	0.784**	0.234**	0.253**	0.171**	0.138	-1.341
Conducta ante el narcotráfico (CN)		1	0.115*	0.104*	0.048 ^{n.s.}	0.433	-1.199
Motivaciones <i>pull</i> (MPULL)			1	0.946**	0.846**	-1.142	-0.051
Motivaciones <i>push</i> (MPUSH)				1	0.838**	-1.119	-0.206
Intención de visita (IV)					1	-0.705	-0.978

Notas: **altamente significativa ($P \leq 0.010$), *significativa ($P \leq 0.050$) y ^{n.s.} no significativa ($P \geq 0.050$).



■ **Figura 1. Modelo estructural.**

Figure 1. Structural model.

dictiva del narcotráfico sobre la conducta del turista ($R^2 = 0.625$; $Q^2 = 0.490$) y de las motivaciones sobre la intención de visita ($R^2 = 0.740$; $Q^2 = 0.616$) (Tabla 5).

Por su parte, se logró evidenciar que las motivaciones tienen una influencia significativa y positiva sobre la intención de visita. En particular, sobresalen las motivaciones *pull* ($\beta = 0.495$; $P \leq 0.001$), ya que los atributos del lugar (e.g. accesibilidad, precio, limpieza, clima, gastronomía, reputación, calidad de los servicios, entre otros) intervienen en la decisión sobre una nueva visita. Las motivaciones *push* ($\beta = 0.381$; $P \leq 0.001$) quedaron en segundo lugar y, por ende, se puede considerar que el disfrute, el salir de la rutina y la interacción con otras personas son factores que inciden en los encuestados para elegir al destino como opción para vacacionar. Mientras que la conducta ante la situación de narcotráfico no evidenció una influencia significativa en la intención de visita ($\beta = -0.049$; $P \geq 0.050$) (Tabla 5).

DISCUSIÓN

La presencia del narcotráfico cerca de Mazatlán es un factor que puede intervenir en las motivaciones y la intención de visita (De-la-Torre y Navarrete, 2018; Hernández, 2018; Navarrete y col., 2020). Este trabajo, en convergencia con los resultados de Sánchez y Aguilar (2016); Sánchez y col. (2018); Costa y González (2020); Sánchez y col. (2020), muestra que a pesar de la percepción de inseguridad, el turista está dispuesto a viajar al sitio siempre y cuando intervengan sus motivaciones. En el caso de Mazatlán, su oferta turística se caracteriza por su diversidad y complementariedad, donde la intención de visita está determinada primeramente por las motivaciones *pull* y posteriormente por las *push*.

Al respecto, la propuesta teórica de Dann (1977) fue útil para identificar las principales motivaciones de los visitantes de Mazatlán. Las relacionadas con la accesibilidad, precio, limpieza, clima, gastronomía, reputación, calidad de los servicios que ofrece el lugar afectan la deci-

sión de una primera y segunda visita; mientras que las de placer, disfrute y convivencia complementan el efecto de las *pull*, incluso para que el destino pueda ser elegido como una primera opción para vacacionar. En términos prácticos y como recomendación, los actores encargados de la promoción del sitio deben instrumentar estrategias para combinar ambos tipos de motivaciones y, con ello, lograr una mayor tasa de huéspedes.

En otro ángulo, se observó que los turistas extranjeros perciben en menor medida los riesgos de la inseguridad y son quienes tienen una mayor intención de visita, a diferencia de los mexicanos. Con este resultado se puede inferir que el narcotráfico, al ser una situación nacional profusamente difundida por los diversos medios de comunicación, el mercado externo está más informado (Flores y col., 2016). Empero, tanto viajeros nacionales como internacionales, una vez que están en el destino asumen por igual conductas de cuidado. También se encontró que hay diferencias en el comportamiento según el sexo y la edad, aunque todos prefieren ser precavidos y cautelosos en los lugares a los que van, tal como se ha mostrado en otras investigaciones (Sánchez y Aguilar, 2016; Sánchez y col., 2018; Sánchez y col., 2020).

Se esperaba hallar algún tipo de influencia del narcotráfico en la intención de visita, sin embargo, no se dio, pero fue interesante encontrar que las motivaciones *push* y *pull* funcionan como variables mediadoras. Este hecho pudiera explicar por qué los destinos turísticos cercanos a zonas donde opera el crimen organizado mantienen su posicionamiento y su preferencia entre los visitantes, como también se ha expuesto en los estudios de Flores y Sánchez (2018); Godoy y Rodríguez (2020); Navarrete y col. (2020). Asimismo, este trabajo se suma a las aportaciones de Flores y col. (2016); Flores y col. (2018); León y Flores (2018) al revelar que el narcotráfico no afecta la intención de visita, pero sí el comportamiento de los turistas.

El narcotráfico y su relación con la actividad turística se vuelven un tema complejo y de di-

versas aristas. En este tenor, las futuras líneas de investigación tendrán que analizar sus impactos sociales, culturales, políticos y económicos en el turismo. También sería interesante examinar cómo se ha institucionalizado en varias regiones de México, al grado de haberse constituido una “narcocultura” arraigada en las comunidades receptoras y, en el caso de los turistas, al despertar su interés por viajar a esos lugares por considerarlos como atractivos (Moreno y col., 2016; Flores y Sánchez, 2018).

La intención de visita es un elemento medular para los destinos, ya que condiciona el desarrollo de ofertas que atraigan a los posibles turistas. En este caso, las investigaciones futuras deben ligar esta intención con otras variables, como el posicionamiento del destino, la satisfacción de las demandas del viajero y las condicionantes que hacen que un lugar destaque por su ubicación geográfica, reputación y recursos, entre otros.

Una limitación de esta investigación fue centrarse solo en la perspectiva de los turistas de Mazatlán. Por tanto, se recomiendan estudios que incluyan los puntos de vista de los residentes, las autoridades y otros actores turísticos involucrados, puesto que ellos también se ven afectados por las repercusiones del narcotráfico. También se puede complementar con la indagación cualitativa, para develar contenidos subjetivos que surgen cuando la violencia está presente, tales como las sensaciones de inseguridad y miedo.

A pesar de los resultados, se debe tener cuidado con su generalización, puesto que cada destino tiene un contexto sociocultural y geográfico diferente, lo que puede intervenir en las motivaciones y la intención de visita. Para solventar esta limitación, se sugieren investigaciones que empleen técnicas estadísticas de tipo confirmatorio, como la modelación de ecuaciones estructurales por covarianzas (CB-SEM, por sus siglas en inglés: covariance based structural equation modeling), por su capacidad para la corroboración teórica.

CONCLUSIONES

La situación de inseguridad por el narcotráfico no influye en la intención de visita turística a Mazatlán, Sinaloa, pero sí lo hacen las motivaciones *pull* y *push*. Por ende, atributos del lugar (como accesibilidad, limpieza, seguridad, clima y paisaje, entre otros), junto con los aspectos socio-psicológicos del turista (como disfrute, salir de la rutina, descanso y la convivencia, por ejemplo) tienen una relevancia explicativa y predictiva fuerte sobre la disposi-

ción para desplazarse a Mazatlán independientemente de las actividades de narcotráfico próximas a la zona, aunque sí tiene un efecto sobre la conducta de los turistas, que se resume en un comportamiento de prevención. En suma, estos hallazgos pueden ser de apoyo en el desarrollo de estrategias de comercialización y seguridad de los destinos, para atraer más visitantes en función de sus motivaciones turísticas.

REFERENCIAS

- Beltrán, M. y Parra, M. (2017). Perfiles turísticos en función de las motivaciones para viajar. *Cuadernos de Turismo*. (39): 41-65.
- Caber, M. and Albayrak, T. (2016). Push or pull? Identifying rock climbing tourists' motivations. *Tourism Management*. 55: 74-84.
- CODESIN, Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa (2021). Llegada de turistas y ocupación hotelera en Sinaloa durante el año 2020. [En línea]. Disponible en: <https://sinaloaennumeros.com/desin.mx/wp-content/uploads/2021/03/Reporte-13-del-2021-turismo-al-2020.pdf>. Fecha de consulta: 9 de junio de 2021.
- Costa, J. y González, M. (2020). Criminalidad, seguridad pública y turismo en la zona fronteriza de Ciudad Juárez, México. *Estudios Fronterizos*. 21: e046.
- Creswell, J. W. and Creswell, J. D. (2018). *Research design. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. (Fifth edition). Thousand Oaks: Sage. 275 Pp.
- Dann, G. M. S. (1977). Anomie, ego-enhancement and tourism. *Annals of Tourism Research*. 4(4): 184-194.
- De-la-Torre, M. y Navarrete, D. (2018). Turismo y narcotráfico en México. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 27(4): 867-882.
- Dijkstra, T. K. and Henseler, J. (2015). Consistent partial least squares path modeling. *MIS Quarterly*. 39(2): 297-316.
- Flores, S., León, M. y Mariño, J. P. (2018). Influjos de las alertas de viaje en un contexto de inseguridad internacional. El caso de Mazatlán, Sinaloa (México). *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 27(4): 883-901.
- Flores, S., Mariño, J., León, M. y Liz, A. (2016). Percepción de seguridad del turismo extranjero que arriba en casas rodantes a playas de Mazatlán (Sinaloa). *Turismo y Sociedad*. 19: 97-119.
- Flores, S. y Sánchez, V. V. (2018). Turismo oscuro en Mazatlán, Sinaloa en las huellas del Chapo Guzmán. *Anais Brasileiros de Estudos Turísticos: ABET*. 8(2): 81-90.
- Fornell, C. and Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*. 18(1): 39-50.
- Geisser, S. (1974). A predictive approach to the random effects model. *Biometrika*. 61(1): 101-107.
- Godoy, O. y Rodríguez, S. (2020). El no lugar y el antilugar a partir del imaginario del miedo en Cosalá, Sinaloa. *Revista de Arquitectura, Urbanismo y Territorios*. (21): 308-335.
- Hair, J., Hult, G., Ringle, C., and Sarsted, M. (2017). *A primer on partial least square structural modeling (PLS-SEM)*. (Second edition). Thousand Oaks: Sage. 384 Pp.
- Hasan, M. K., Abdullah, S. K., Lew, T. Y., and Islam, M. F. (2019). The antecedents of tourist attitudes to revisit and revisit intentions for coastal tourism. *Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*. 13(2): 218-234.
- Henseler, J., Ringle, C. M., and Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*. 20: 277-320.
- Hernández, E. (2018). Turismo y miedo al delito-violencia. El caso de la ciudad histórica de Guajuato (México). *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 27(4): 805-830.
- Hosany, S., Buzova, D., and Sanz-Blas, S. (2020). The influence of place attachment, ad-evoked posi-

- tive affect, and motivation on intention to visit: imagination proclivity as a moderator. *Journal of Travel Research*. 59(3): 477-495.
- Hu, L. T. and Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*. 3(4): 424-453.
- IBM (2017). IBM SPSS Statistics for Macintosh (Version 25.0) [software de cómputo]. Armonk, New York, United States of America: IBM Corp.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*. 39(1): 31-36.
- León, M. and Flores, S. (2018). The effects of crime on tourism: A multiple regression analysis. *Lectures on Modelling and Simulation*. 26-30.
- Lozano, M. (2016). Inseguridad y turismo en Quintana Roo, México (1997-2013). *Revista Criminalidad*. 58(1): 159-169.
- Morales, J., Arévalo, D., Padilla, C. y Bustamante, M. (2018). Nivel de satisfacción e intención de repetir la visita turística. El caso del Cantón Playas, en Ecuador. *Información Tecnológica*. 29(1): 181-192.
- Moreno, D., Burgos, C. y Valdez, J. (2016). Daño social y cultura del narcotráfico en México: Estudio de representaciones sociales en Sinaloa y Michoacán. *Mitologías Hoy: Revista de Pensamiento, Crítica y Estudios Literarios Latinoamericanos*. 14: 249-269.
- Navarrete, D., De-La-Torre, M. y Ávalos, M. (2020). La delincuencia contra los visitantes, sus causas y efectos en centros turístico-patrimoniales: el caso de Guanajuato, México. *Revista Latinoamericana de Turismología*. 6: 1-14.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory*. New York: McGraw Hill. 640 Pp.
- Perovic, Đ., Moric, I., Pekovic, S., Stanovic, T., Roblek, V., and Bach, M. P. (2018). The antecedents of tourist repeat visit intention: systemic approach. *Kybernetes*. 7(9): 1857-1871.
- Puyana, J. C., Puyana, J. C. J., Rubiano, A. M., Montenegro, J. H., Estebanez, G. O., Sanchez, A. I., and Vega-Rivera, F. (2017). Drugs, violence, and trauma in Mexico and the USA. *Medical Principles and Practice*. 26(4): 309-315.
- Reza, M. A., Jiménez, A. E. y Delgado, A. (2020). Motivaciones e intención de visita en la zona arqueológica de Calixtlahuaca, México. *Gran Tour. Revista de Investigaciones Turísticas*. (22): 24-45.
- Ringle, C. M., Wende, S., and Becker, J. M. (2015). SmartPLS (Versión 3.3.3) [software de cómputo]. Bönningstedt, Schleswig-Holstein, Germany: Smart-PLS GmbH.
- Rosen, J. D. y Zepeda, R. (2015). La guerra contra el narcotráfico en México: una guerra perdida. *Reflexiones*. 94(1): 153-168.
- Sánchez, V. y Aguilar, S. (2016). Percepción de los turistas mexicanos sobre la imagen turística de Mazatlán, ante un escenario de inseguridad. *Teoría y Praxis*. (20): 155-186.
- Sánchez, V. V., Félix, B. E. y Velarde, J. R. (2018). Percepción de los turistas nacionales sobre la imagen turística de Mazatlán, México. *Gran Tour. Revista de Investigaciones Turísticas*. (18): 121-142.
- Sánchez, V. V., Félix, B. E. y Velarde, J. R. (2020). La imagen turística de Mazatlán, México: según la percepción de los turistas nacionales. *Dimensiones Turísticas*. 4(6): 91-118.
- Stone, M. (1974). Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. *Journal of the Royal Statistical Society*. 36(2): 111-147.
- Yoo, C. K., Yoon, D., and Park, E. (2018). Tourist motivation: an integral approach to destination choices. *Tourism Review*. 73(2): 169-185.



Imagen de Mario Orozco Santos

Rentabilidad y competitividad del limón mexicano en un ambiente endémico de Huanglongbing bajo dos manejos tecnológicos

Profitability and competitiveness of Mexican lemon in an endemic Huanglongbing environment under two technological approaches

Mercedes Borja-Bravo¹, Alejandra Velez-Izquierdo², Venancio Cuevas-Reyes^{3*}, Mario Orozco-Santos⁴

RESUMEN

El Huanglongbing (HLB, término de origen chino), enfermedad muy destructiva que afecta a los cítricos, ha disminuido la rentabilidad del limón en muchos países citrícolas. En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) generó un paquete tecnológico que contribuye al control del vector de la enfermedad y, mediante un adecuado manejo técnico, mantiene el vigor de los árboles infectados. El objetivo del presente trabajo fue determinar la rentabilidad, competitividad y eficiencia productiva del limón mexicano, en cultivos con convivencia con el HLB en Colima, a través de un análisis comparativo entre el paquete tecnológico tradicional y el del INIFAP. Se aplicó la Matriz de Análisis de Política (MAP). La información se obtuvo de registros de huertas experimentales y se complementó con 40 encuestas a agricultores con huertas coexistiendo con HLB: 20 a usuarios del paquete INIFAP y 20 del paquete tradicional. Ambas tecnologías fueron rentables, con la tradicional se obtuvo 95 % de ganancia y con el paquete INIFAP fue de 115 %. La RCP (relación de costo privado) del paquete INIFAP (0.36) indicó mayor competitividad comparada con el paquete tradicional (0.44). La cosecha de limón fue rentable y competitiva, aunque se evidenció la desprotección de las políticas económicas a los sistemas de producción locales. La adopción del paquete tecnológico de INIFAP mitigó la afectación de HLB y mejoró el rendimiento en la región de estudio.

PALABRAS CLAVE: *Citrus aurantifolia*, limón mexicano, HLB, eficiencia económica, protección efectiva.

ABSTRACT

Huanglongbing (HLB, term of Chinese origin), a destructive disease that affects citrus fruits, has reduced lemon profitability in many citrus countries. In Mexico, the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) generated a technological package that contributes to the control of the disease vector and, through proper technical management, maintains the vigor of the infected trees. The aim of this work was to determine the profitability, competitiveness and productive efficiency of the Mexican lemon in crops with coexistence with the HLB in Colima through a comparative analysis between the traditional technological package and that of the INIFAP. The Policy Analysis Matrix (MAP) was applied. The information was obtained from records of experimental orchards and was complemented with 40 surveys of farmers with orchards coexisting with HLB: 20 to users of the INIFAP package and 20 of the traditional package. Both technologies were profitable, with the traditional one a 95 % profit was obtained and with the INIFAP package it was 115 %. The RCP (private cost ratio) of the INIFAP package (0.36) indicated greater competitiveness compared to the traditional package (0.44). The lemon harvest was profitable and competitive, although the lack of protection of economic policies for local production systems was evident. The adoption of the INIFAP technology package mitigated the impact of HLB and improved performance in the study region.

KEYWORDS: *Citrus aurantifolia*, Mexican lemon, HLB, economic efficiency, effective protection.

*Correspondencia: cuevas.venancio@inifap.gob.mx / Fecha de recepción: 25 de noviembre de 2020 / Fecha de aceptación: 13 de abril de 2021 / Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Campo Experimental pabellón del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria, Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP, Ajuchitlán Colón, Querétaro, México. ³Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 13.5 carretera Los Reyes-Textcoco, Coatlinchán, Textcoco, Estado de México, México, C. P. 56250. ⁴Campo Experimental Tecomán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Tecomán, Colima, México.

INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, México se ubica como uno de los principales países productores y exportadores de limón. En el entorno nacional, este cítrico es el segundo fruto de mayor consumo en fresco y para uso industrial. En el país se cultivan tres variedades: el limón persa o sin semilla (*Citrus latifolia Tanaka*), destinado principalmente al mercado de exportación, sobre todo a Estados Unidos (Arias y Suárez, 2016), el limón amarillo o italiano (*Citrus lemon*) para exportación, y el limón agrio o mexicano (*Citrus aurantifolia Christm. Swungle*) para el abastecimiento del mercado nacional y su exportación como jugo concentrado, aceite esencial y fruta fresca (Hernández y Botello, 2017).

En 2019 la producción nacional de limón mexicano fue de 1.20 millones de T, se contabilizó una superficie plantada de 95 500 ha y generó un valor comercial de \$ 8 866.9 millones de pesos. El limón mexicano representa el 45.2 % de la oferta nacional del cítrico, el persa 49.8 % y el italiano 5 %. Colima sobresale como el segundo estado productor y se destinan 18 530 ha para el cultivo. En 2019 se reportó una cosecha de 263 646 T, equivalentes al 21.9 % del total nacional, con un valor comercial de \$ 1 709.9 millones de pesos, de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019). Este cultivo es de gran importancia económica y social para Colima, ya que la agroindustria asociada genera empleos y promueve actividades empresariales derivadas de la elaboración de empaques, compañías transportistas, proveedoras de insumos agrícolas y viveros (Robles-González y col., 2014).

En los últimos años, la citricultura mundial ha sido afectada por el Huanglongbing (HLB) o dragón amarillo, enfermedad que es provocada por la α -proteobacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* del tipo Gram-negativa diseminada por el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri Kuwayama*) y se considera la más destructiva de los cítricos en el mundo (Bové, 2006). En México se detectó por primera vez en julio de 2009 en árboles de limón mexicano de la península de Yucatán, y en abril de 2010 se

reportó su presencia en la región de Colima, causando una seria amenaza para la agroindustria asociada al cultivo e impactando económica y socialmente a esta actividad, principalmente en la generación de empleos (Robles-González y col., 2017).

Su principal impacto en el limón mexicano es la reducción o pérdida de rendimiento de los árboles infectados. Al respecto, Robles-González y col. (2017), señalaron que está directamente relacionada con el porcentaje de la copa del árbol que presenta síntomas de la enfermedad. En un árbol con HLB en un 100 % de la copa las pérdidas son de 50 % si se realiza un buen manejo agronómico, en riego y fertilización; sin embargo, en huertas con un manejo agronómico deficiente, los árboles pueden ser improductivos.

Otro de los efectos es que influye en el tamaño de la fruta, que es más pequeña en ramas infectadas (Robles-González y col., 2013). Las alteraciones mencionadas repercuten en la rentabilidad del cultivo y afectan la competitividad en el mercado de la región al disminuir su capacidad de abasto y la calidad del limón.

Según Mora-Aguilera y col. (2014), el control del HLB se realiza a través de tres estrategias: 1) erradicación; 2) control del vector; y 3) uso de material vegetal certificado. En el caso de Colima, la experiencia señala que la erradicación no es una estrategia viable, ya que es difícil convencer a los propietarios de deshacerse de sus plantaciones (Robles-González y col., 2018). Estos autores reportaron que los árboles afectados por HLB si bien pierden vigor, pueden seguir produciendo fruta, por lo que fue conveniente desarrollar una estrategia de convivencia-sobrevivencia que consistió en el manejo integral de las huertas y mejorar la aplicación de riego y fertilización. Los autores sugieren que en los casos en que no sea factible eliminar todos los árboles infectados puede optarse por aumentar la densidad de población con material proveniente de viveros que cumplan con las condiciones de

sanidad requeridas, lo que compensaría el bajo rendimiento por árbol y mantendría la rentabilidad de la huerta. Esto también podría lograr que el interesado aceptara deshacerse de las plantas infectadas como medida de control.

Desde la aparición del HLB en Colima, en 2010, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) intensificó la investigación sobre la enfermedad y la búsqueda de mecanismos que ayudaran a disminuir el problema; sin que a la fecha se tuviese una solución efectiva de aceptación generalizada por parte de los agricultores, por lo que se generó un paquete tecnológico que coadyuvara a conservar la productividad en los árboles positivos al HLB y lograra mantener la rentabilidad del cultivo. El paquete tecnológico permite controlar el vector de la enfermedad (*Diaphorina*) y preservar el vigor de los árboles mediante un adecuado manejo técnico de los huertos. Los componentes tecnológicos del paquete consisten en; 1) una adecuada selección de terreno; 2) uso de portainjertos y variedades certificadas; 3) poda; 4) riegos oportunos y suficientes; 5) nutrición balanceada, utilizando análisis de agua, suelo y planta; 6) aumento en la densidad de plantación con material vegetativo certificado; 7) aplicaciones foliares de nutrientes; 8) control integrado de plagas, enfermedades y malezas; y 9) buenas prácticas de cosecha (Orozco-Santos y col., 2014).

El paquete tecnológico comenzó a ser utilizado en 2015 y forma parte de las acciones en la estrategia implementada para el control de HLB por el gobierno del estado de Colima y algunos municipios del estado de Michoacán, cuyo objetivo es prolongar y conservar la rentabilidad y vida útil de las plantaciones de limón mexicano. Para la aplicación de estos componentes tecnológicos, el INIFAP y otras dependencias estatales han brindado capacitación y acompañamiento técnico a los interesados. Si bien el uso del paquete tecnológico ha dado resultados en mantener los rendimientos de los huertos de limón mexicano afectados por el HLB, aún no se ha cuantificado si la aplicación de estos componentes

permite lograr la rentabilidad, competitividad y eficiencia del cultivo en una región cítrica de Colima con presencia de la enfermedad.

En los estados de Colima, Michoacán, Jalisco y Nayarit el HLB es endémico y ha causado un impacto económico y social importante; en el año 2010 se tenía una producción de 42.6 T/ha, mientras que para 2014 fue de 22.9 T/ha (Robles-González y col., 2017), es decir, el HLB ha tenido un impacto en la producción a nivel experimental. Sin embargo desde la aparición de esta enfermedad y hasta la fecha no existen estudios económicos sobre la rentabilidad promedio en huertas sin HLB en la zona de estudio, ya que la enfermedad está presente en todas las huertas.

El objetivo de este trabajo fue determinar la rentabilidad, competitividad y eficiencia productiva del limón mexicano en una región de Colima, donde los cultivos presentan convivencia con el HLB, a través de un análisis comparativo entre el paquete tecnológico tradicional y el del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, además de medir el impacto de la política económica sobre los sistemas evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en el estado de Colima en los municipios de Armería, localizado a 103°58'53" W y 18°56'13" N a una altitud de 20 msnm, y Tecomán, que se localiza a 103°52'24" W 18°55'37" N a una altitud de 33 msnm (Figura 1). La superficie del área de estudio es de 1 243.15 km² y representa el 20.34 % de la superficie estatal, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017).

Métodos

La rentabilidad y competitividad por el uso del paquete tecnológico pueden ser medidos a través de la Matriz de Análisis de Política (MAP), que es una metodología basada en dos identidades contables: el presupuesto privado a precios de mercado y el presupuesto económico a



■ Figura 1. Área de estudio de la región productora de limón mexicano en Colima, México.
 Figure 1. Study area of the Mexican lemon-producing region in Colima, Mexico.

precios de eficiencia, es decir, sin distorsiones de mercado causados por la política sectorial y macroeconómica (Lara-Covarrubias y col., 2003). Esta metodología ha sido ampliamente utilizada, evidencia de ello son los trabajos realizados por Barrera-Rodríguez y col. (2011); Morales-Hernández y col. (2011); Padilla-Bernal y col. (2012); Magdaleno-Hernández y col. (2015); Borja-Bravo y col. (2018); Borja-Bravo y col. (2019a). En el análisis de la información se utilizó la MAP desarrollada por Monke y Pearson (1989). Como parte de la MAP se estimaron los siguientes indicadores:

Rentabilidad privada (RP)

Es el cociente del ingreso (*A*) entre la suma de los costos de los insumos comerciables a precios de mercado (*B*) y los factores de la producción (*C*) a precios de mercado.

$$RP = \frac{A}{B + C}$$

Relación de rentabilidad privada (RRP)

Es el cociente de las ganancias privadas (*D*) entre el costo privado de la producción (*B+C*).

$$RRP = \frac{D}{B + C}$$

Valor agregado (VA)

Indicador de eficiencia, que es la diferencia entre el ingreso (*A*) y los costos de los insumos comerciables (*B*).

$$VA = A - B$$

Relación de costo privado (RCP)

Es el indicador de competitividad y resulta de dividir el costo de los factores de producción (*C*) entre el valor agregado, que es la diferencia entre el ingreso bruto (*A*) y los costos de los insumos comerciables (*B*) a precios de mercado.

$$RCP = \frac{C}{A - B}$$

Este indicador se interpreta de la siguiente forma:

Si $RCP < 1$ significa que la producción es eficiente.

Si $RCP = 1$ no se generan ganancias.

Si $RCP > 1$ no hay eficiencia privada (González y Alferes, 2010).

Para determinar el efecto de las políticas económicas en los dos sistemas de producción, el paquete tecnológico tradicional y el del INIFAP, se utilizaron los siguientes indicadores:

Coefficiente de protección nominal (CPN)

Es el cociente del ingreso a precios de mercado de limón mexicano (*A*) entre el ingreso estimado a precios económicos (*E*).

$$CPN = \frac{A}{E}$$

Coefficiente de protección nominal de los insumos (CPNI)

Es el cociente de los insumos comerciables a precios de mercado (*B*) entre el valor de los insumos comerciables a precios económicos (*F*).

$$CPNI = \frac{B}{F}$$

Si $CPNI > 1$ existe un subsidio.

Si $CPNI < 1$ existe un impuesto implícito al precio interno de los insumos.

Coefficiente de protección efectiva (CPE)

Es la relación entre el valor agregado a precios privados (*A-B*) y el valor agregado a precios económicos (*E-F*).

$$CPE = \frac{(A - B)}{(E - F)}$$

Equivalente de subsidio al productor (ESP)

Este indicador se obtuvo de dividir la transferencia neta de política (*L*) entre el ingreso bruto total a precios privados (*A*), donde *L* fue obtenida de la resta de la ganancia privada ($D=A-B-C$) y la ganancia económica ($H=E-F-G$). La expresión matemática es la siguiente:

$$ESP = \frac{L}{A}$$

Relación de costos de los recursos internos (RCRI)

Se obtuvo al dividir el costo de los factores internos a precios económicos (*G*) y el valor agregado a precios económicos (*E-F*).

$$RCRI = \frac{G}{E - F}$$

Este indicador sirvió de referencia para mostrar el nivel de ventaja comparativa de los sistemas evaluados. Cuando el RCRI es menor a la unidad, se interpreta que los recursos internos empleados en la producción son menores al valor de las divisas ahorradas, y se concluye que el país es eficiente económicamente en la producción, y viceversa (González y Alferes, 2010; Borja-Bravo y col., 2019a).

Análisis de la información

Para realizar el análisis, primero se identificaron los componentes tecnológicos del paquete de INIFAP y del tradicional a través de revisión bibliográfica y registros de datos de parcelas experimentales. La diferencia entre los dos paquetes evaluados se concentra fundamentalmente en tres componentes tecnológicos que recomienda el INIFAP, adicionales a las actividades del productor: 1) aplicar una mayor densidad de plantas por hectárea, 2) realizar fertilización foliar y, 3) controlar el psílido asiático (*Diaphorina citri*), el cual es un transmisor

de bacterias causantes del HLB. Las especificaciones de estas diferencias se presentan en la Tabla 1.

El análisis de la información consistió en estructurar las matrices de coeficientes técnicos (cantidad de insumos y mano de obra), rendi-

■ **Tabla 1. Paquetes tecnológicos utilizados para la producción de limón mexicano en Colima, México.**
 Table 1. Technological packages used for the production of Mexican lemon in Colima, Mexico.

Componente	Tecnología tradicional	Tecnología INIFAP
Densidad de plantación	200 a 250 plantas por ha.	312 a 416 plantas por ha.
Fertilización al suelo	1.2 kg, 0.6 kg y 0.6 kg de N, P y K/árbol/año. Fraccionado en 3 a 4 aplicaciones.	Recomendación con base en análisis de suelo. Aplicaciones mensuales vía fertirrigación. 0.6 kg a 0.8 kg, 0.28 kg a 0.38 kg y 0.28 kg a 0.38 kg de N, P y K/árbol/año.
Fertilización foliar	Poco común.	Aplicaciones mensuales de elementos menores: Fe, Zn, Mn, Mg y B.
Riego	Uso de riego rodado y sistemas de riego presurizado.	Uso de sistemas de riego presurizados con intervalos de aplicación. Riegos con sistemas que permita la mayor eficiencia en el uso del agua, y con el cual, el árbol realice sus funciones sin que se limiten por la falta de agua.
Control del psílido asiático (<i>Diaphorina citri</i>)	No aplica.	De 6 a 8 aplicaciones con aceites parafínicos, extractos vegetales e insecticidas sintéticos.
Control de otras plagas	Control de araña roja, ácaros, escamas y minador de acuerdo a su presencia.	Manejo integrado de plagas, tomando en cuenta el control de <i>D. citri</i> (vector del HLB). Monitoreo de todas las plagas y realizar aplicaciones cuando se presente una de ellas. El control se realiza con un producto que controle no solo la plaga problema, sino también a la <i>Diaphorina</i> .
Control de enfermedades	Control de antracnosis, fumagina, gomosis, muerte de ramas, entre otras.	Manejo integrado de las enfermedades con fungicidas autorizados, basado en muestreos de incidencia y parámetros fenológicos (floración y brotación vegetativa y amarre de fruto).
Control de maleza	Control químico con herbicidas sistémicos y desecantes. Eliminación de hierba con desvares y rastreos.	Uso de herbicidas en banda a lo largo de la hilera de los árboles y uso de desvaradora entre las hileras de los árboles. No se recomienda rastreo.
Podas	Podas de mantenimiento cada 2 años.	Podas de formación, sanidad y mantenimiento cada año.
Cosecha	Corte de limón sin discriminar tamaño, madurez y color.	Corte del fruto rendido de color verde y de tamaño 3, 4 y 5; evitar corte de limón pequeño y tierno (SE, 2001).

miento, precios de mercado y económicos de cada paquete tecnológico. La información sobre coeficientes técnicos del paquete tecnológico de INIFAP se obtuvo de los registros de datos experimentales de los investigadores responsables de la tecnología para el control de HLB durante 7 años, en el periodo 2012-2018. Esta información se refiere a rendimientos y labores realizadas durante las diferentes etapas de crecimiento de la huerta (desde el establecimiento hasta la estabilización de la producción), cantidad de prácticas culturales, densidad de plantas e insumos recomendados en el paquete tecnológico. La información se complementó con encuestas aplicadas a 20 productores cooperantes y adoptantes, de los municipios seleccionados, quienes proporcionaron datos sobre precios y cantidad de mano de obra empleada, insumos, labores mecanizadas y labores manuales. Los productores cooperantes habían recibido seguimiento y asesoramiento sobre el paquete tecnológico por parte de los investigadores responsables del mismo, por al menos 2 años. Este seguimiento permitió constatar en campo su uso en huertas infectadas con HLB.

Los coeficientes técnicos sobre el paquete tradicional del cultivo de limón se obtuvieron de 20 productores que no aplicaban el paquete INIFAP y que sus huertas mostraran tener los síntomas del HLB. Fueron entrevistados de noviembre de 2018 a marzo de 2019 y se ubicaron en los municipios de Armería y Tecmán, Colima, México. Para determinar los coeficientes se consideró el promedio y moda de las diversas cantidades de insumos y prácticas empleadas en el cultivo, con la finalidad de unificar un solo paquete tecnológico.

Los precios de mercado de los insumos agrícolas fueron proporcionados por los productores y por empresas comercializadoras localizadas en la región. Los precios del jornal y del limón mexicano para el año 2019 los facilitaron los productores.

Los precios económicos se calcularon con la metodología propuesta por Salcedo (2007), que

consistió en calcular los precios de paridad para los fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, fungicidas, equipo agrícola, de bombeo y el del limón mexicano. Para calcular los de paridad se consideraron los precios libre a bordo (FOB, por sus siglas en inglés: free on board) reportados por la Comisión Internacional de Comercio de Estados Unidos (USITC, por sus siglas en inglés: United States International Trade Commission) (USITC, 2020), a los que se les sumaron los impuestos de importación e impuesto al valor agregado (IVA) de los productos, de acuerdo a la Secretaría de Economía (SE, 2020) y el costo de transporte, que se obtuvo de cotizaciones realizadas a empresas de transporte marítimo internacional, con punto de llegada al puerto de Manzanillo, Colima.

Los precios de paridad de los insumos, expresados en dólares, se convirtieron a moneda nacional utilizando el tipo de cambio de equilibrio (TCE) del periodo 2015-2019, obtenido con el método de la paridad de compra, como lo expresan Lara-Covarrubias y col. (2003). La información requerida para el cálculo provino del Banco de México (BANXICO, 2020; INEGI, 2020).

El precio económico del limón mexicano se estimó con el de paridad de exportación (Salcedo, 2007), para ello se partió del que incluye el costo de mercancía, seguro y flete (CIF, por sus siglas en inglés: cost, insurance and freight) reportados por la Comisión Internacional de Comercio de Estados Unidos (USITC, 2020), al que se le descontó el costo de transporte.

El limón mexicano es un cultivo perenne, por lo que en el análisis se proyectaron los presupuestos privados y económicos a 10 años, ya que, según lo expresado por Robles-González y col. (2018), es el periodo que se puede considerar productiva una huerta de limón afectada por el HLB. En el análisis se consideró 2019 como el año base y la evaluación se realizó con la información correspondiente a una hectárea. En la actualización de los presupuestos se utilizó la tasa de interés interbancaria

de equilibrio (TIIE) promedio a 91 d (2.92 %) y la tasa Libor a 3 meses (2.327 %) para 2019 (BANXICO, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de rentabilidad privada y ventaja comparativa

El paquete tecnológico tradicional tuvo un costo total promedio a precios privados de \$ 33 915 por ha, de los cuales el 25 % corresponden a pago de insumos comerciables y 75 % a factores de la producción (Tabla 2). El gasto en mano de obra es el más fuerte, ya que el 69.2 % de los costos asociados a los factores de producción corresponden a este rubro. Esta proporción concuerda con la obtenida por López-Hernández y col. (2019), quienes reportaron que entre el 48.8 % y 60 % de los costos de producción de limón en Oaxaca correspondían a mano de obra, sin duda, por la gran cantidad de jornales que se requieren para la cosecha.

Con el paquete tecnológico propuesto por INIFAP los costos totales fueron de \$ 39 783 por ha y 17.3 % más altos con respecto al paquete tecnológico tradicional; los insumos comerciables fueron 66.9 % más altos con respecto a la tecnología tradicional.

En el paquete tecnológico INIFAP los insumos comerciables incrementaron el costo total a precios privados, lo cual se atribuye a la adquisición de plantas certificadas, que se requirieron para aumentar las densidades de siembra y reemplazar a los árboles infectados que se eliminaron. La densidad fue de 312 plantas por ha con el paquete tecnológico de INIFAP, mientras que con la tecnología del productor fue de 200 plantas por ha.

Los fertilizantes químicos y orgánicos fueron otro de los rubros que incrementaron los costos de los bienes comerciables. Este concepto tuvo un costo de inversión de \$ 4 594 por ha en el paquete tradicional y de \$ 11 170 en el INIFAP, ya que, de acuerdo con Orozco-Santos y col. (2014), los árboles infectados por HLB deben tener una adecuada y oportuna nutrición, misma que para formularse debe estar basada en resultados de análisis de suelo y follaje; por ello, en el paquete tecnológico INIFAP se incluyó el rubro de análisis nutrimental, suelo y trampeo, que fue de \$2 199 por ha, adicional a los costos de insumos requeridos en la nutrición del cultivo. Para Garza (2014), además de la adecuada fertilización, un manejo óptimo del riego en las huertas hace más tolerantes a

■ **Tabla 2. Indicadores de rentabilidad y competitividad de dos paquetes tecnológicos para la producción de limón mexicano en Colima, México.**

Table 2. Profitability and competitiveness indicators of two technological packages for the production of Mexican lemon in Colima, Mexico.

Indicador	Paquete tecnológico tradicional	Paquete tecnológico INIFAP	Diferencia porcentual %
Costos de bienes comerciables (\$/ha)	8 495	14 182	66.9
Costos de factores internos (\$/ha)	25 420	25 601	0.7
Costos totales privados (\$/ha)	33 914	39 783	17.3
Ingresos privados (\$/ha)	66 833	85 510	27.9
Ganancia privada (\$/ha)	32 918	45 727	38.9
Rentabilidad privada (%)	97	115	18.6
Relación de rentabilidad privada (%)	97	115	18.6
Valor agregado neto (\$/ha)	58 338	71 328	22.3
% del Valor agregado neto para mano de obra	36.3	29.8	-17.9
% del Valor agregado neto para capital	15.3	12.8	-16.3
Relación costo privado	0.44	0.36	-18.2

los árboles del ataque de plagas y enfermedades y propician el crecimiento de las plantas. El costo del riego fue de \$ 4 245 por ha en el paquete tradicional y de \$ 4 458 en el INIFAP, que consideró el pago de cuotas de agua y de luz eléctrica para el bombeo; en este caso, la diferencia fue poca, debido a que los productores utilizan la misma cantidad de riegos (en promedio 30 por ha), solo que con la tecnología INIFAP son calendarizados para mantener la humedad mayor a 65 %, principalmente desde el mes de diciembre hasta la época de lluvias.

Los insecticidas también elevaron los costos comerciales; su aplicación con el paquete INIFAP es de 4 a 5 por año; mientras que con el tradicional es de 2 a 3 por año. Esta situación es asociada al mayor cuidado que el productor debe tener para controlar el insecto vector de la enfermedad y se requiere el uso de insecticidas químicos permitidos, como lo indican Cortez y col. (2013). Al respecto, Ruiz-Galván y col. (2015) señalaron que en el control químico del insecto se deben incluir diversos grupos toxicológicos cuyas dosis y aplicación dependerán del estado biológico, grado de infestación y estado fenológico del cultivo. En los insumos comerciales también se incluyó el monitoreo de la plaga con trampas adhesivas.

En el paquete tecnológico de INIFAP se utilizó una mayor cantidad de mano de obra en la plantación de árboles durante el primer año, y también en la mayor cantidad de podas. Sin embargo, en este paquete la aplicación de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas se hace mediante riego presurizado, mientras que en el tradicional estas actividades suelen ser manuales y, por consiguiente, requieren más mano de obra. La cosecha de la fruta es una de las actividades que demanda una alta cantidad de mano de obra, pero el costo asociado fue similar en ambos sistemas, aun cuando el rendimiento fue mayor con la aplicación del paquete INIFAP. Esta condición se presentó porque el productor paga el corte por cada caja que cosecha el trabajador, pero si la fruta en la huerta es abundante el precio por caja disminuye, en este caso, \$ 40 pesos por

caja, y si la fruta es escasa puede ser hasta de \$ 60 pesos por caja.

Los ingresos privados para ambos paquetes tecnológicos se observan en la Tabla 2 y fueron estimados con el rendimiento y precio de venta otorgado al productor de limón mexicano. Con el paquete tecnológico tradicional se obtuvo un rendimiento promedio de 20.5 T/ha, mientras que para los que utilizan el del INIFAP fue de 26.5 T/ha. Durante 2019, el precio de venta de limón osciló entre los \$ 4 000 T y \$ 7 000 T, con un promedio de \$ 5 974; este último fue el utilizado en el análisis. El mayor rendimiento obtenido en el paquete INIFAP incrementó los ingresos privados.

A precios de mercado, los dos paquetes empleados en la producción de limón mexicano generan ganancia privada. Sin embargo, la rentabilidad privada del paquete tecnológico de INIFAP es mayor (115 %) que la obtenida con el paquete tradicional (97 %). Los resultados alcanzados en la rentabilidad positiva son similares a los reportados para otras regiones productoras. En el caso de Oaxaca, López-Hernández y col. (2019) señalaron que la rentabilidad en limón persa puede ser entre 88 % y 92 %, mientras que Pat-Fernández y col. (2015) reportaron una rentabilidad de 29 % para ese mismo producto en Veracruz.

El valor agregado neto representa la contribución de la producción de limón al ingreso del sector, y está compuesto por los factores de la producción más la remuneración del trabajo y la ganancia neta (Barrera-Rodríguez y col., 2011; Borja-Bravo y col., 2018). En el caso del paquete tecnológico tradicional, generó el 87.3 % de valor agregado neto y el de INIFAP fue de 83.4 % (Tabla 2). La producción de limón mexicano en Colima mostró un mayor valor agregado al reportado por López-Hernández y col. (2019) para el limón persa de Oaxaca (76.8 %), lo que indica que, dadas las tecnologías evaluadas, la actividad económica en la región de estudio contribuye con mayor valor de la producción e ingreso al sector agrícola estatal.

Ambos paquetes les permiten a los productores cubrir los costos de los factores internos; en el paquete tradicional el 36.3 % del valor agregado cubrió la remuneración de mano de obra y 15.3 % la remuneración al capital; por su parte, en el paquete INIFAP, el pago de mano de obra se cubrió con el 29.8 % del valor agregado y la remuneración al capital con el 12.8 % (Tabla 2). La mayor contribución al pago de mano de obra que se visualizó en los resultados se justifica por la importancia que tiene la actividad en la generación de empleos. Caso contrario ocurre en la producción de limón persa en Oaxaca, donde López-Hernández y col. (2019) reportaron que la mayor remuneración es para capital.

La competitividad de los paquetes tecnológicos fue estimada con la relación de costo privado (RCP), que mide la eficiencia del sistema productivo en relación al uso eficiente de los recursos disponibles, como mano de obra, capital y el retorno del capital (Barrón y col., 2000; Borja-Bravo y col., 2018). El paquete tradicional mostró una RCP de 0.44 y el paquete INIFAP de 0.36. Los resultados indican que los dos sistemas son competitivos, ya que los costos cubrieron el 44 % y 36 % del valor agregado neto y hubo una ganancia de 56 % y 64 %, respectivamente. No obstante, la producción de limón mexicano con la tecnología INIFAP fue más rentable y competitiva, ya que, de acuerdo a lo señalado por Rebollar-Rebollar y col. (2011), un sistema de producción tiene una mayor competitividad y mayor eficiencia privada cuando el RCP es más cercano a cero.

El valor del RCP para estas huertas coexistiendo con HLB, conocido factor que afecta la rentabilidad, muestra que la zona de estudio (Armería, Tecomán) es una región competitiva y eficiente en la producción de limón. Caso contrario ocurre con otras regiones productoras, como lo señalan López-Hernández y col. (2019), quienes identificaron un bajo desempeño competitivo de los productores de Oaxaca, atribuido al escaso conocimiento que tienen sobre las exigencias del mercado. Asimismo, Partida y

Meza (2017) indicaron que en el caso de los productores de limón persa de Nayarit la competitividad se ve limitada por las restringidas fuentes de financiamiento para lograr la innovación en los sistemas de producción y la comercialización.

Efectos de la política económica en la competitividad

Los efectos que genera la política económica en la competitividad de los sistemas de producción de los municipios de Armería y Tecomán en el estado de Colima, las distorsiones de política, los subsidios recibidos por los productores, los impuestos que pagan y la existencia de mercados imperfectos se pudieron visualizar al analizar la diferencia entre el presupuesto privado y el económico obtenidos en las unidades de producción analizadas. En la Tabla 3 se observan los indicadores de dichos efectos de política sobre la competitividad. Los resultados mostraron que el precio internacional del limón mexicano es mayor al precio de venta del productor nacional, diferencia que se marca por el resultado obtenido en el CPN de limón mexicano para ambos paquetes tecnológicos de producción, donde los productores solo recibieron el 45 % del equivalente para el limón mexicano a precios económicos, por lo tanto, el cultivo está desprotegido a nivel del precio del producto.

El valor obtenido en el CPNI en ambos paquetes tecnológicos evaluados fue menor a la unidad (Tabla 3), lo que indica que los insumos comerciables tienen un impuesto implícito. Los insumos comerciables como fertilizantes, fungicida y herbicidas pagan un impuesto al momento de la compra. Los insecticidas observaron un CPNI mayor a la unidad y significa que los productores recibieron un subsidio al adquirirlos. Este resultado es coherente con la estrategia de control del insecto vector, ya que el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) incluyó dentro del manual operativo de la campaña contra HLB la entrega a productores de algunos insecticidas químicos y biológicos (SENASICA, 2017); esta acción es ajena al paquete tecnoló-

■ **Tabla 3. Indicadores de protección y eficiencia económica de dos paquetes tecnológicos para la producción de limón mexicano en Colima, México.**

Table 3. Indicators of protection and economic efficiency of two technological packages for the production of Mexican lemon in Colima, Mexico.

Indicador	Paquete tecnológico tradicional	Paquete tecnológico INIFAP
Coefficiente de protección nominal de limón mexicano	0.45	0.45
Coefficiente de protección nominal de los insumos	0.74	0.71
Coefficiente de protección nominal de los fertilizantes	0.65	0.65
Coefficiente de protección nominal de los insecticidas	2.13	2.13
Coefficiente de protección nominal de los fungicidas	0.57	0.57
Coefficiente de protección nominal de los herbicidas	0.51	0.49
Coefficiente de protección efectiva	0.43	0.42
Equivalente de subsidio al productor	- 1.19	- 1.14
Relación de costos de los recursos internos	0.18	0.15

gico que utilicen los productores, por lo que el subsidio se refleja en ambos sistemas.

El CPE fue menor a la unidad en ambos paquetes. El resultado indicó que existe una desprotección de las políticas económicas y que los productores de limón podrían haber recibido mayores remuneraciones a capital y mano de obra en términos de valor agregado, si el mercado tuviera acceso a precios internacionales y se eliminaran las distorsiones (Barrera-Rodríguez y col., 2011). En otras palabras, el efecto conjunto de las políticas comerciales y cambiaría sobre el producto e insumos provoca una desprotección, donde el valor agregado a precios privados solo alcanza el 43 % y 42 % del valor agregado a precios económicos, al aplicar el paquete tecnológico tradicional y el de INIFAP, respectivamente.

La desprotección a la producción de limón local (y posiblemente nacional) la explicaría la ausencia de políticas que favorezcan la actividad; un ejemplo es la política cambiaria, que en los últimos años ha mantenido un tipo de cambio fluctuante y repercute directamente en los costos, principalmente en los rubros de insumos y bienes de capital de importación (Arias y col., 2004; Barrera-Rodríguez y col., 2011). Otra política que ha afectado a la actividad ha si-

do el incremento en el precio de los combustibles; al respecto, Pérez y col. (2014) indicaron que disminuye el valor agregado generado por los factores de la producción, mientras que Borja-Bravo y col. (2019b) determinaron que se reflejará en el pago de más impuestos por parte de los productores y pérdida de rentabilidad y competitividad en el sector.

Como último indicador se calculó el ESP, que es el que cuantifica la intervención del estado (Jaramillo y col., 2012) en la producción de limón mexicano en la zona de estudio. En el caso del paquete tecnológico tradicional el ESP fue de - 1.19 y en el paquete del INIFAP fue de - 1.14. Según lo expresado por Ávila-Soler y col. (2018), el valor negativo de este indicador señala que la actividad no recibe subsidios netos; así mismo, al ser el resultado menor a la unidad, se interpreta que el ingreso del productor fue gravado por un impuesto implícito; esto es efecto de las transferencias originadas por las distorsiones de política comercial del producto e insumos y por las imperfecciones del mercado de los factores internos.

Análisis de la ventaja comparativa

La finalidad de estimar el presupuesto económico es comparar el sistema de producción de

limón mexicano con el paquete tecnológico tradicional y con el del INIFAP, y determinar si para el país es preferible importar la fruta o producirla internamente. En la Tabla 3 se observa el valor del indicador RCRI y se utiliza para determinar la ventaja comparativa en los dos paquetes tecnológicos.

En ambos sistemas de producción evaluados el RCRI se ubicó en un valor entre 0 y 1, lo cual mostró que en la tecnología tradicional se invirtieron 18 ¢ por cada peso generado en valor agregado, mientras que en la INIFAP se emplearon 15 ¢ y fue más eficiente. Los dos sistemas tienen ventaja comparativa y le conviene al país producir limón mexicano incluso bajo condiciones de coexistencia de HLB, como fueron las huertas de este estudio, ya que con la tecnología tradicional y la INIFAP ahorraría el 82 % y 85 %, respectivamente, de las divisas que tendría que invertir si se decidiera importar el cítrico. Los resultados muestran que los productores en general, al margen del paquete que usen, siguen una estrategia que les funciona para mantener el nivel de rentabilidad de las huertas y la competitividad del producto, aun con la presencia del HLB en la región productora.

El paquete del INIFAP implica utilizar componentes tecnológicos como son un adecuado control de plagas y enfermedades, fertilización química y foliar adecuada del cultivo, podas para renovación de follaje, riegos distribuidos a partir de los requerimientos hídricos de las plantas, reemplazo de árboles afectados con material vegetativo certificado, aumento de densidades de población en las huertas, mantener el control de malezas, para evitar que hospeden plagas, y buenas prácticas de cosecha. Los beneficios se obtienen en el mediano plazo; sin embargo, brindan la posibilidad de mantener los sistemas de producción eficientes y redituables en lo económico, sobre todo, considerando que el consumo de limón muestra tasas de crecimiento anuales significativas, tanto a nivel nacional como internacional (Galván y Santos, 2019).

Una limitante del estudio fue conseguir información fidedigna para el cálculo de los costos de oportunidad de los factores internos, por lo que no fueron considerados en el análisis; otra fue el reducido tamaño de muestra. No obstante, se obtuvieron indicios del comportamiento económico del sistema de producción de limón ante una enfermedad importante como es el Huanglongbing. Los resultados son aplicables para la muestra bajo estudio. Se reconoce que existen costos de oportunidad (tierra y trabajo) que no se contemplaron. Por lo anterior, es recomendable que en estudios futuros se evalúe una muestra mayor y se incluyan los costos de oportunidad del sistema de producción que permitan ampliar la información y hallazgos de este trabajo. También es recomendable examinar otros escenarios donde se considere como estrategia la erradicación de plantas afectadas por el HLB sumado al manejo agronómico con el paquete tecnológico de INIFAP.

CONCLUSIONES

El paquete tecnológico propuesto por Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la producción de limón mexicano ante la presencia de Huanglongbing incrementa la rentabilidad y competitividad del cultivo en comparación con el paquete tecnológico tradicional del productor. Con la tecnología de INIFAP la producción de limón mexicano en la región de estudio tiene mayor ventaja comparativa y la utilización de los recursos es más eficiente, al generar un mayor ahorro de divisas. En general, la aplicación del paquete INIFAP contribuye con el objetivo de la estrategia implementada por el gobierno para el control del HLB en la región productora de Colima, que es mantener la rentabilidad. La producción de limón mexicano en la zona de estudio se ve afectada por la falta de subsidios netos, los bajos precios pagados al productor en comparación con el precio internacional del cítrico y la falta de políticas económicas efectivas que fomenten la generación de valor agregado de la actividad y su contribución en el ingreso del sector agrícola estatal.

REFERENCIAS

- Arias, F. J. y Suárez, E. (2016). Comportamiento de las exportaciones de limón persa (*Citrus latifolia tanaka*) al mercado de los Estados Unidos. *Journal of Agricultura and Animal Sciences*. 5(2): 22-33.
- Arias, J., Vallejo, S. y Quingaisa, E. (2004). El tipo de cambio y la competitividad internacional de productos agrícolas. El caso de la dolarización de la economía ecuatoriana. Inter-cambio. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7712>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2020.
- Ávila-Soler, E., García-Salazar, J. A., Valtierra-Pacheco, E., García-Mata, R. y Hoyos-Fernández, G. (2018). Producción de biodiesel derivado de la jatropha: un estudio de competitividad en el estado de Chiapas, México. *Revista Fitotecnía Mexicana*. 41(4): 461-468.
- BANXICO, Banco de México (2020). Sistema de información económica: Tasa de Interés en el Mercado de Dinero. [En línea]. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=18&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF101&locale=es>. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2020.
- Barrera-Rodríguez, A. I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido J. S. y Herrera-Cabrera B. E. (2011). Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en la región del Totonacapan, México. *Agrociencia*. 45(5): 625-638.
- Barrón, A. J. F., García, M. R., Mora, F. J. S., López, D. S., Pro, M. A. y García, S. R. C. (2000). Competitividad y efectos de política económica en la producción de cerdo en pie en 13 granjas porcícolas en el estado de Michoacán. *Agrociencia*. 34(3): 369-377.
- Borja-Bravo, M., García-Salazar J. A., Cuevas-Reyes, V., Arellano-Arciniega, S. y Almeraya-Quintero, S. X. (2019a). Competitividad y eficiencia económica de los sistemas de producción de guayaba en Calvillo, Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(7): 1551-1561.
- Borja-Bravo, M., García-Salazar, J. A., Almeraya-Quintero, X. y Cuevas-Reyes, V. (2019b). El gasolinazo y el sector agrícola: un estudio de caso de los efectos sobre la competitividad de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Aguascalientes. *Acta Universitaria*. 29: 1-13.
- Borja-Bravo, M., Osuna-Ceja, E. S., Arellano-Arciniega, S., García-Hernández, R. V. y Martínez-Gamiño, M. A. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de frijol en condiciones de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Revista Fitotecnía Mexicana*. 41(4): 443-450.
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*. 88(1): 7-37.
- Cortez, M. E., Loera, G. J., Hernández, F. L. M., Barrera, G. J. F., Fontes, P. A., Díaz, Z. U. y López, A. J. I. (2013). Manual para el uso de insecticidas convencionales y alternativos en el manejo de *Diaphorina citri kuwayama* en cítricos, en México, en *Folleto técnico No. 36*. [En línea]. Disponible en: <http://www.2.tap-ecosur.edu.mx/mip/pdf/Folleto%20Insecticidas%20Diaphorina.pdf>. Fecha de consulta: 30 de julio de 2020.
- Galván, V. E. y Santos, G. G. (2019). Análisis de la elasticidad del precio y ventaja comparativa revelada del sector de cítricos en México. *Revista Mercados y Negocios*. 1(39): 87-104.
- Garza, U. E. (2014). *El psilido asiático de los cítricos Diaphorina cotri y su manejo en la Zona Media y Huasteca Potosina*. México: INIFAP. 22 Pp.
- González, E. A. y Alferes, V. M. (2010). Competitividad y ventajas comparativas de la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(3): 381-396.
- Hernández, T. J. M. y Botello, T. J. (2017). El papel del entorno en las modificaciones de la estructura regional de la producción de limón y naranja en México. *Análisis Económico*. 32(80):93-118.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Anuario estadístico y geográfico de Colima 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092061.pdf. Fecha de consulta: 2 de diciembre de 2020.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Banco de Información Económica (BIE): Indicadores Internacionales. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>. Fecha de consulta: 30 de abril de 2020.
- Jaramillo, V. J. L., Escobedo, G. J. S. y Barrera, R. A. (2012). Competitividad de sistemas de beneficiado de vainilla (*Vainilla planifolia* J.) en la región del Totonacapan, México. *Panorama Socioeconómico*. 30(45): 80-93.
- Lara-Covarrubias, D., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. A., García-Delgado, G., Omaña-Silvestre, J. M. y Gallegos-Sánchez, J. (2003). Competitividad y ventajas comparativas de los sistemas de producción de leche en el estado de Jalisco, México. *Agrociencia*. 37: 85-94.
- López-Hernández, W. A., Garza-Bueno, L. E., Cruz-Galindo, B. y Nieto-Ángel, R. (2019). Competitividad del limón persa en la región del Papaloapan, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(4):921-934.
- Magdaleno-Hernández, A., García-Salazar, J. A., Omaña-Silvestre, J. M., Hernández-Romero, O. y Cruz-Galindo, B. (2015). Análisis competitivo de sistemas de producción de naranja (*Citrus sinensis*) en Nuevo León, México. *Agroproductividad*. 8(2): 52-59.

- Monke, E. A. and Pearson, S. R. (1989). *The policy analysis matrix for agricultural development*. United States: Cornell University Press. 201 Pp.
- Mora-Aguilera, G., Robles-García, P., López-Arroyo, J. L., Flores-Sánchez, J., Acevedo-Sánchez, G., Domínguez-Monge, S. y Loeza-Kuk, E. (2014). Situación actual y perspectivas de manejo del HLB de los cítricos. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 32(2):108-119.
- Morales-Hernández, J. L., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S. y Guzmán-Soria, E. (2011). Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el Estado de México. *Agronomía Mesoamericana*. 22(2):339-349.
- Orozco-Santos, M., Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. A., Bermúdez-Guzmán, M. J., Carrillo-Medrano, S. H. y Varela-Fuentes, S. (2014). El limón mexicano (*Citrus aurantifolia*). [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/62719072-El-limon-mexicano-citrus-aurantifolia.html>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2020.
- Padilla-Bernal, L. E., Reyes-Rivas, E., Lara-Herrera, A. y Pérez-Veyra, O. (2012). Competitividad, eficiencia e impacto ambiental de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(6): 1187-1201.
- Partida, M. E. y Meza, R. E. (2017). La competitividad y la productividad del limón persa en Nayarit (México). *Cuadernos del Claeh*. 36(105):127-140.
- Pat-Fernández, V., Caamal-Cauich, I., Jerónimo-Ascencio, F. y Mendoza-Tornez, R. (2015). Costos y competitividad de la producción de limón persa en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, en *Ciencias Sociales: Economía y Humanidades*. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5365748>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2020.
- Pérez, F., Figueroa, E. y Godínez, L. (2014). Análisis de política agropecuaria mediante la matriz de contabilidad social en una comunidad rural de México. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*. 1(1): 33-44.
- Rebollar-Rebollar, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Guzmán-Soria, E., García-Martínez, A. y González-Razo, F. J. (2011). Competitividad y rentabilidad de bovinos en corral en el sur del Estado México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(2): 691-698.
- Robles-González, M. M., Orozco-Santos, M., Manzanilla-Ramírez M. Á. y Velázquez-Monreal, J. J. (2014). El Huanglongbing (HLB). En M. Orozco-Santos, M. M. Robles-González, J. J. Velázquez-Monreal y M. Á. Manzanilla-Ramírez (Eds.), *El limón mexicano (Citrus aurantifolia)* (pp. 242-283). Colima, México: SAGARPA- INIFAP.
- Robles-González, M. M., Orozco-Santos, M., Manzanilla R., M. Á., Velázquez-Monreal, J. J., Medina, U. V. M. y Sánchez, S. E. (2018). Experiencias con huanglongbing en limón mexicano en el estado de Colima, México. *Citrus Research and Technology*. 39:1-12.
- Robles-González, M. M., Santos, M. O., Ramírez, M. Á. M., Monreal, J. J. V., Urrutia, V. M. M. y Stuchi, E. S. (2017). Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(5): 1101-1111.
- Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., Orozco-Santos, M., Medina-Urrutia, V. M., López-Arroyo, J. I. y Flores-Virgen, R. (2013). Síntomas del Huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle) y su dispersión en el estado de Colima, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19(1): 15-31.
- Ruiz-Galván, I., Bautista-Martínez, N., Sánchez-Arroyo, H. y Valenzuela-Escoboza, F. A. (2015). Control químico de Diaphorina Citri (Kuwayama) (Hemiptera; Lividae) en Lima Persa. *Acta Zoológica Mexicana*. 31(1): 41-47.
- Salcedo, B. S. (2007). *Competitividad de la agricultura en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 98 Pp.
- SE, Secretaría de Economía (2001). Norma NMX-FF-087-SCFI-2001. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca –limón mexicano (*Citrus aurantifolia Swingle*)-especificaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-ff-087-scfi-2001.pdf>. Fecha de consulta 25 de junio de 2021.
- SE, Secretaría de Economía (2020). Sistema de Información Comercial Vía Internet (SIAVI). [En línea]. Disponible en: <http://www.economia-snci.gob.mx/>. Fecha de consulta: 25 de junio de 2020.
- SENASICA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2017). Manual operativo de la campaña contra el Huanglongbing de los cítricos. [En línea]. Disponible en: http://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Manual_Operativo_HLB_09.03.18.pdf. Fecha de consulta: 22 de julio de 2020.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019). Producción agrícola: cierre de la producción agrícola (1980-2019). [En línea]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 20 de agosto de 2020.
- USITC, United States International Trade Commission (2020). DataWeb (U.S. Imports/Exports Data). [En línea]. Disponible en: <https://www.usitc.gov/>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020.



Imágenes de: Jeny Haideé Espinosa Barajas

Propuesta de un modelo de inclusión y equidad educativa universitaria, a partir de experiencias de estudiantes con discapacidad

Proposal of a model of inclusion and equity in university education, based on experiences of students with disabilities

Jeny Haideé Espinosa-Barajas^{1*}, Dora María Llado-Lárraga², Marco Aurelio Navarro-Leal³

RESUMEN

Las experiencias escolares de estudiantes con discapacidad son un recurso efectivo de información para que los sistemas educativos se vuelvan más inclusivos y equitativos. El objetivo del presente trabajo fue detectar soportes escolares, barreras y necesidades de inclusión de estudiantes con discapacidad en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, campus Victoria, para proponer un modelo educativo más inclusivo y equitativo, basado en sus experiencias. El diseño de la investigación incluyó una modalidad cualitativa basada en estudios de caso con una perspectiva explicativa a través de la teoría fundamentada. Se entrevistó a profundidad a 10 estudiantes con discapacidad y 10 docentes que impartieron clase a estudiantes con esta condición. Los resultados reflejaron la presencia de soportes escolares en la actitud personal y social, en las becas, en apoyo entre docentes, adaptaciones curriculares y estrategias de aprendizaje. También se encontraron barreras escolares en la accesibilidad física y la estructura académica, así como actitud discriminatoria, desconocimiento de tipos de discapacidades y su tratamiento, y la ausencia de fortalecimiento institucional para la inclusión. Además, evidenciaron que la Universidad está en el camino hacia la inclusión, pero requiere afianzar acciones para el tránsito, permanencia y logro educativo del estudiantado con discapacidad. El modelo de inclusión y equidad institucional precisa reforzar al menos 8 elementos para mejorar su eficiencia: claridad en el concepto, cultura y espacios inclusivos, currículo flexible, formación de docentes, experiencias compartidas entre docentes y mejores prácticas, supervisión en la participación, evaluación del logro educativo y vinculación con el sector laboral. Lo anterior permitirá valorar la diversidad de necesidades de estudiantes universitarios con discapacidad, para otorgarles un fortalecimiento institucional que les brinde una mayor inclusión educativa.

PALABRAS CLAVE: discapacidad, equidad, inclusión educativa.

ABSTRACT

The school experiences of students with disabilities are an effective information resource for educational systems to become more inclusive and equitable. The objective of this work was to detect school supports, barriers and inclusion needs of students with disabilities at the Universidad Autónoma de Tamaulipas, Victoria campus, to propose a more inclusive and equitable educational model, based on their experiences. The research design included a qualitative modality based on case studies with an explanatory perspective through grounded theory. In depth interviews were carried out with 10 students with disabilities and 10 teachers who taught classes to students with this condition. The results reflected the presence of school support in personal and social attitude, in scholarships, in support between teachers, curricular adaptations and learning strategies. School barriers were found in physical accessibility and academic structure, as well as a discriminatory attitude, ignorance of types of disabilities and their treatment, and the absence of institutional strengthening for inclusion. In addition, they showed that the University is on the road to inclusion, but requires strengthening actions for the transit, permanence and educational achievement of students with disabilities. The institutional inclusion and equity model needs to reinforce at least 8 elements to improve its efficiency: clarity in the concept, culture and inclusive spaces, flexible curriculum, teacher training, shared experiences between teachers and best practices, supervision of participation, evaluation of the educational achievement and links with the labor sector. The foregoing will make it possible to assess the diversity of needs of university students with disabilities, to grant them institutional strengthening that provides them with greater educational inclusion.

KEYWORDS: disability, equity, educational inclusion.

*Correspondencia: jhespinoza@docentes.uat.edu.mx / Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2020 / Fecha de aceptación: 27 de mayo de 2021 / Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano, Centro Universitario, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria de Ciencias de la Educación y Humanidades, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro de Excelencia, Centro Universitario, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad se enfrentan a dificultades diversas al pretender acceder a servicios básicos como la salud, el empleo, el transporte, la información o la educación, en comparación con las personas sin discapacidad, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013a; 2013b; 2017). El ambiente social en el que se desenvuelven les presenta barreras que limitan su participación en igualdad de condiciones. Ejemplos visibles se dan cuando una persona con discapacidad auditiva carece de un intérprete de señas; o con discapacidad física, que utiliza silla de ruedas, al transitar por un edificio que carece de espacios accesibles; o bien, con discapacidad visual, que utiliza una computadora, la cual carece de un *software* de lectura de pantalla (SEP, 2012a). Estos casos evidencian por qué la discapacidad no debe abordarse solo desde una óptica médica, sino también desde una perspectiva social (OMS, 2011).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2015) estableció políticas educativas de inclusión y equidad. Así, en el objetivo 4 de la Agenda 2030 se indica “garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos” (UNESCO, 2015: 20). En consonancia con lo anterior, en México, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 planteó como uno de sus objetivos prioritarios el “garantizar el derecho a la educación laica, gratuita, incluyente, pertinente y de calidad en todos los tipos, niveles y modalidades del Sistema Educativo Nacional y para todas las personas” (PND, 2019: 90).

Existe una fundamentación legal que se ha derivado de iniciativas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2006), como lo es la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, creada con el propósito de “promover, proteger y asegurar el goce pleno y en condiciones de igualdad de todos los derechos humanos y libertades fundamentales

por todas las personas con discapacidad y de promover el respeto de su dignidad inherente” (ONU, 2006: 4).

En el caso de México, el fundamento legal sobre el tema de inclusión y equidad educativa está establecido en el Artículo 3° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2019), así como en el Artículo 47 de la Ley General de Educación (2019). Sin embargo, a pesar del esfuerzo en materia de política educativa y legal, aún existen huecos que limitan la participación e inclusión plena y efectiva de las personas con discapacidad en la educación (ONU, 2006; Campaña Mundial por la Educación/Handicap International, 2014; BIRF/BM, 2018). Por ello, en el ámbito educativo del nivel superior se han hecho esfuerzos por indagar la situación que prevalece en estudiantes con discapacidad referente a las barreras y apoyos escolares determinantes para hacer aportaciones de políticas, estrategias y prácticas inclusivas y equitativas en las instituciones educativas (Salinas y col., 2013; Cruz y col., 2016; Della-Herrán y col., 2016; Pérez-Castro, 2019).

La Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) es la institución educativa de nivel superior con mayor matrícula de estudiantes con discapacidad en Tamaulipas, según el anuario de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 2018; 2019). La UAT recibe estudiantes con diversas discapacidades y pretende su atención académica de forma incluyente. En el Plan de Desarrollo Institucional UAT 2018-2021 (PDI, 2018) se destacan el eje transversal “Igualdad de género” (p. 20) y los ejes estratégicos “Cobertura con equidad” (p. 29) e “Infraestructura física y académica” (p. 68). Este último hace especial énfasis en efectuar adaptaciones a su infraestructura (incluyendo aspectos físicos, tecnológicos y académicos) para atender a estudiantes con discapacidad. Sin embargo, su Modelo Educativo (Modelo Educativo UAT, 2010) y su Ley Orgánica (Ley Orgánica UAT, 2017) carecen de lineamientos para la inclusión y la equidad educativa. Aun con ello, algunas facultades empezaron a implementar acciones in-

clusivas como la instalación de rampas de acceso para personas con discapacidad física.

En 2011, la Universidad activó el Programa para la Atención de Personas con Discapacidad (CoDisUAT), con el objetivo de favorecerles el ingreso. Sus acciones consisten en llevar a cabo talleres de sensibilización, como el denominado “Te presto mis zapatos”, y en otorgar beneficios a algunos de estos estudiantes (por ejemplo, *laptop* con el *software* de JAWS, calculadoras parlantes o grabadoras de audio). Y en 2012 se concedieron recursos extraordinarios a la UAT a través del Programa de Apoyo a la Formación Profesional (PAFP), que permitió la adquisición de equipo de cómputo, audio y mobiliario para las facultades que tenían estudiantes con discapacidad visual. Se están haciendo esfuerzos aislados, ante la falta de un modelo integral educativo que se base en las necesidades y experiencias del estudiantado con discapacidad.

El objetivo de esta investigación fue detectar soportes escolares, barreras y necesidades de inclusión de estudiantes con discapacidad inscritos en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, campus Victoria, para proponer un modelo educativo más inclusivo y equitativo, basado en sus experiencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de investigación integró una modalidad cualitativa, interactiva basada en estudios de caso con un enfoque explicable a través de la teoría fundamentada (Glaser y Strauss, 1967; Day, 2005; Stake, 2007; Creswell, 2009; Yapu e Íñiguez, 2009; Salinas y col., 2013; Hernández y col., 2014; Katayama, 2014; De-la-Herrán y col., 2016). Se partió de esta teoría porque se adapta al estudio de la realidad y por el producto que genera en los resultados, es decir, permite razonar la situación escolar de estudiantes con discapacidad en la UAT, campus Victoria. Puesto que no se dispone de teorías adecuadas para el contexto, particularmente con esta orientación, se retoma la perspectiva Straussiana (Santos y col., 2018), la cual destaca la posición activa del investigador frente a los datos y su rol en la elaboración de la teoría. También de-

termina que la investigación puede buscar soporte teórico antes y durante la recolección y el análisis de los datos; en este caso no se partió de modelos establecidos, sino más bien se propuso generar aportaciones a partir de los resultados alcanzados en el proceso de la investigación.

Participantes

La selección de la muestra se realizó a través del registro de estudiantes inscritos a nivel licenciatura con que contaba el CoDisUAT, en los periodos escolares de enero a mayo y de julio a diciembre de 2019. Los criterios y métodos para la selección de la muestra consistieron en, a) considerar los casos de las Facultades y Unidades Académicas de la UAT del campus de Ciudad Victoria (zona centro del estado), por ser el área con mayor número de registros de estudiantes con discapacidad (conveniencia); b) obtener experiencias de estudiantes por cada tipo de discapacidad: visual, auditiva, física, intelectual y mental (heterogeneidad), para buscar la riqueza de la información en cada caso de discapacidad (variación máxima).

Se identificó un universo de 34 estudiantes con discapacidad (18 con discapacidad física, 4 con discapacidad mental, 4 con discapacidad auditiva, 4 con discapacidad visual y 4 con discapacidad intelectual). El tamaño de la muestra se definió por el punto de saturación, es decir, se concretó cuando ya no surgieron nuevas categorías a partir de los datos proporcionados por estudiantes con discapacidad. Se entrevistó a 10 estudiantes que por su condición (diversidad funcional) enfrentan barreras severas (4 con discapacidad física, 2 con discapacidad mental, 2 con discapacidad auditiva, 1 con discapacidad visual y 1 con discapacidad intelectual). Es importante señalar que la muestra en esta investigación buscó un sentido de comprensión profundo del ambiente de inclusión/exclusión que vive el estudiantado con discapacidad, independientemente de la facultad o unidad académica a la que pertenecen.

Para precisar interpretaciones y explicaciones se tomaron en cuenta las opiniones de 10 do-

centes que habían impartido clase a estudiantes con discapacidad en algún momento de su enseñanza universitaria. El muestreo utilizado fue por bola de nieve. El número de casos también se definió por el punto de saturación.

Instrumentos

Se utilizaron dos técnicas para la recolección de los datos: la observación participante y la entrevista en profundidad. En la observación participante se empleó el diario de campo para registrar descripciones, impresiones, opiniones, ideas y ocurrencias. También se tomaron y guardaron fotografías.

Para las entrevistas en profundidad se elaboraron guías, tomando como base las normas y precisiones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones contenidas en el documento “Normas de Accesibilidad” del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (SEP, 2012b), la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (2011), los términos que establece la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (ONU, 2006) y las especificaciones del Manual para la Integración de las Personas con Discapacidad en las Instituciones de Educación Superior de la ANUIES/SEP (2002). Las categorías que se definieron fueron, características de participantes, accesibilidad, estructura académica, actitud personal y actitud social (Tabla 1). La suficiencia y pertinencia del diseño fue validada por jueces expertos en el tema (Supo, 2013) y a través de una prueba piloto con 4 estudiantes con discapacidad.

Para entrevistar a las personas que presentaban discapacidad auditiva se utilizó una *laptop*, para establecer comunicación por escrito. El resto de las entrevistas fueron grabadas. Cabe señalar que en este estudio se contó con el consentimiento informado de las personas entrevistadas para publicar los resultados.

Recolección de datos

La recolección de los datos se realizó en dos fases. En la primera se hizo una exploración inicial mediante la observación participante,

donde se observó a un estudiante con discapacidad física, primero en su transitar hasta llegar a su salón de clases, y luego, dentro del mismo. Esto permitió afinar las categorías y variables del estudio en el segundo instrumento. La segunda fase consistió en la interacción dialógica mediante las entrevistas en profundidad.

Análisis de los datos

Para el análisis se utilizó el método de la teoría fundamentada, mediante la codificación abierta, axial y selectiva, con sus criterios no lineales e iterativos y bajo los principios de confidencialidad (Glaser y Strauss, 1967; Hernández y col., 2014; Katayama, 2014). Este proceso se efectuó en tres etapas. En la primera se analizaron los datos de la observación participante. En la segunda se examinaron los datos de estudiantes y docentes, hasta alcanzar el punto de saturación. Finalmente, en la tercera etapa se asociaron las categorías encontradas con los sujetos investigativos, para establecer sus relaciones causales. El análisis de datos cualitativos se realizó con el *software* MAXQDA, Análisis cualitativos de datos (QDA, por sus siglas en inglés: art data analysis) (MAXQDA, 2018).

RESULTADOS

En las dos observaciones participantes se evidenció que existen adecuaciones de estructura que buscan dar acceso a estudiantes con deficiencias físicas, como se establece en el eje estratégico de la infraestructura física y académica del PDI para la construcción de espacios en los que se contribuya a la inclusión de las personas con discapacidad (PDI, 2018). También se visibilizaron soportes para su inclusión, como la actitud personal, el apoyo externo de la familia y la inclusión social por compañeros y compañeras de clase. Sin embargo, se detectaron barreras escolares en la accesibilidad.

Las entrevistas en profundidad permitieron identificar sus rasgos escolares universitarios y el tipo de discapacidad que presentan (Tabla 2). De la información de las experiencias en su vida es-

■ **Tabla 1. Categorías, variables e indicadores para el diseño de instrumentos de la investigación.**
 Table 1. Categories, variables and indicators for the design of the research instruments.

	Características de participantes
Datos de identificación	Género, edad, lugar de nacimiento, estado civil, actividad laboral
Datos escolares	Facultad y/o Unidad Académica, carrera, semestre, turno
Tipo de discapacidad	Discapacidad del estudiantado, tipo de discapacidad del estudiantado con el que ha tratado
	Accesibilidad
Circulaciones y rutas	Pisos, pasillos, banquetas, andadores, rampas, escaleras y elevadores
Cajones de estacionamiento	Áreas exclusivas de estacionamiento
Puertas de acceso	Puertas accesibles (ancho y altura)
Aulas	Altura adecuada de pizarrones, espacios físicos (libre de obstáculos y cerca del acceso) y mobiliario adecuado
Laboratorios y talleres	Espacios físicos y mobiliario que permite a las personas desarrollar sus actividades
Bibliotecas	Espacios físicos, mobiliario que permite a las personas desarrollar sus actividades, acervo bibliográfico en lenguaje braille y audio libros, mostradores y libreros apropiados
Auditorios	Espacios físicos destinados sin obstáculos y sin alfombras
Cafeterías	Espacio físico libre de obstáculos y mobiliario adecuado
Sanitarios	Espacio conveniente, barras de apoyo, altura del inodoro, dispensador de papel, mingitorio, altura del lavabo, vestidor, regadera
Bebedores	Bebedores y/o dispensadores de agua con la altura y ubicación accesible
Señalización	Uso del símbolo internacional de accesibilidad, lectoescritura en braille
Transporte	Acceso al transporte
Información	Documentos adaptados a las necesidades de la discapacidad (información administrativa, cultural, social, deportiva, entre otros)
Tecnológica	Tecnología adaptada, página web con audio o con acceso de lectores de pantalla, <i>software</i> de reconocimiento de voz, teclados, mouse, monitores ergonómicos (<i>hardware</i> y <i>software</i>)
	Estructura académica
Normas y reglamentos	Consideraciones de las necesidades de estudiantes con discapacidad en el estatuto orgánico y en reglamentos de personal académico; de alumnos de educación media superior y superior a nivel licenciatura; de becas; del programa institucional de tutorías; reglamento de servicio social; también del sistema de bibliotecas
Calendario escolar	El calendario escolar contempla días extras para finalizar las actividades
Currículo	Metas, métodos, materiales, evaluaciones, asistencias, trabajo en el aula; trabajo en los laboratorios y talleres; trabajo en la biblioteca; flexibilidad en los tiempos y en la forma de realizar las actividades y tareas; condiciones adecuadas para realizar el trabajo de campo
Formación de docentes	Capacitación de docentes para atender a personas con discapacidad
Becas	Excelencia, manutención, entre otras
Capacitaciones	Lengua de Señas Mexicana, Sistema de Lenguaje Braille
Tutorías	Atención de problemáticas y seguimiento académico

Continúa...

Actitud personal	
Actitud positiva	Autopercepción (gratitud, felicidad, optimismo, agradecimiento, motivación, dedicación), visión del futuro
Actitud negativa	Autopercepción (rencor, resentimiento, pesimismo, entre otros), visión del futuro
Actitud social	
Inclusión por docentes	Buena relación con docentes
Discriminación por docentes	Mala relación con docentes
Inclusión por compañeros y compañeras de clase	Buena relación con compañeros y compañeras de clase
Discriminación por compañeros y compañeras de clase	Mala relación con compañeros y compañeras de clase
Inclusión por directivos	Buena relación con directivos
Discriminación por directivos	Mala relación con directivos
Inclusión por personal administrativo	Buena relación con personal administrativo, personal de intendencia, personal de bibliotecas, entre otros
Discriminación por personal administrativo	Mala relación con personal administrativo, personal de intendencia, personal de biblioteca, entre otros

■ **Tabla 2. Datos escolares universitarios y tipo de discapacidad de estudiantes.**

Table 2. University school data and type of disability of students.

Sujeto	Facultad/Unidad Académica	Carrera	Semestre	Tipo discapacidad	Observaciones
Estudiante 1	Facultad de Ingeniería y Ciencias	Ing. en Telemática	2	Física	Tiene escoliosis, usa silla de ruedas y su discapacidad es adquirida debido a un accidente
Estudiante 2	Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano	Lic. en Psicología	4	Física	Su discapacidad es congénita y se deriva de una parálisis cerebral, usa andador
Estudiante 3	Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano	Lic. en Trabajo Social	2	Física	Su discapacidad es congénita, carece de la mano izquierda (agenesia)
Estudiante 4	Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano	Lic. en Trabajo Social	2	Física	Su discapacidad es adquirida debido a una complicación al nacer, carece de movilidad en el lado derecho de su cuerpo

Continúa...

Estudiante 5	Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano	Lic. en Trabajo Social	6	Mental	Su discapacidad se deriva de déficit de atención y es congénita
Estudiante 6	Facultad de Derecho y Ciencias Sociales	Lic. en Derecho	1	Visual	Presenta ceguera. Su discapacidad fue adquirida después de una cirugía donde se le extirpó un tumor en la cabeza que se le formó debido a una caída que sufrió en el jardín de niños
Estudiante 7	Facultad de Derecho y Ciencias Sociales	Lic. en Ciencias de la Comunicación	8	Mental	Su discapacidad se deriva de trastorno bipolar y fue adquirida a los 22 años
Estudiante 8	Facultad de Comercio y Administración Victoria	Contador Público	4	Auditiva	Su discapacidad la solventa con un aparato auditivo. La discapacidad la adquirió cuando tenía 12 años. Tiene más problema al escuchar las voces de las mujeres. Puede hablar normalmente
Estudiante 9	Facultad de Comercio y Administración Victoria	Lic. en Tecnologías de la Información	4	Auditiva	Presenta sordera. Tuvo pérdida auditiva a los 3 años. A los 5 años le hicieron un implante coclear pero solo le duró un año. Puede leer los labios y no habla
Estudiante 10	Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano	Lic. en Trabajo Social	7	Intelectual	No sabe cómo es su discapacidad, solo menciona que algunas veces no entiende bien las cosas

colar universitaria se encontraron barreras escolares en la accesibilidad física, estructura académica y actitud social.

La información que se narra en el caso de estudiantes con discapacidad auditiva es tal y como la escribieron en la *laptop*.

Experiencias de estudiantes

Barreras en la accesibilidad

Pese al esfuerzo institucional, el estudiantado manifestó problemas específicos que los limi-

taban en los espacios físicos. Hicieron referencia a las circulaciones y rutas, por la falta de rampas: “Batallo al acceder a la escuela porque no hay rampas” (Estudiante 1, con discapacidad física). “Hacen falta algunas cuantas rampas, por ejemplo, en la parte de allá atrás, para ir al laboratorio de psicología hay un pasillito muy estrecho y ahí muy apenas quepo yo con el andador”. “Hay rampa de subida pero no hay rampa de bajada y, por ejemplo, la que está en el edificio A está demasiada empinada y me da miedo” (Estudiante 2, con discapa-

cidad física). “Sí las utilizo y yo creo que sí hacen falta algunas rampas” (Estudiante 6, con discapacidad visual).

También se reportaron dificultades en otras áreas: “Las puertas, a veces sí batallo en lo que es el marco de abajo, porque necesito levantar el andador, ya que a veces se me atora”. “En el laboratorio de cómputo tengo que dejar el andador enfrente, donde se supone que está el pintarrón, y un compañero me tiene que ayudar para irme a sentar”. “En la biblioteca también se me hace muy difícil tener que pasar por el pasillito para poder encontrar asiento o buscar un libro”. “El baño es reducido, porque está la taza, el bote de basura, yo puedo entrar con mi andador, pero el andador como que se queda en la parte de la taza y tengo que hacerlo a un ladito para poderme sentar (Estudiante 2, con discapacidad física). “En los salones, los bancos nosé qué se podría hacer para tener un escritorio o alguna mesa donde yo pueda estar normal, apoyarme bien de frente, pero bueno, lo veo difícil, porque cambio de salón a cada rato”. “En la cafetería no hay espacio, yo me acomodo de lado, pero no estoy cómodo al comer” (Estudiante 1, con discapacidad física).

Barreras en la estructura académica

La inflexibilidad en el currículo para considerar la asistencia les preocupa, así lo señaló un estudiante: “Yo, debido al uso de la silla de ruedas, va a haber momentos en los que 1 d o 2 d no voy a poder venir, pero tampoco lo voy a poder justificar, porque no podré ir al hospital y sacar cita, ya que no me voy a poder levantar, debido a mi cuerpo; y con los profesores que cuenten las asistencias es pérdida académica y ahí me vería afectado. Ha pasado con algunos maestros, y con otros que sí he logrado traer la receta, me justifican” (Estudiante 1, con discapacidad física).

Por otro lado, una entrevistada mencionó que el número de estudiantes en cada salón también es una situación problemática: “En mi condición, me estresa mucho que haya mucha gente junta, pero es algo que no puedo contro-

lar en la facultad, y pues por una persona no se pueden cambiar todas las cosas ¿verdad?”. “Sí trabajamos bien, pero cuando es en equipo a veces es muy rápido”. “Yo me aílo en una burbujita para realizar la actividad yo sola, pero igualmente, si hay ruido me desconcentro muy fácilmente” (Estudiante 7, con discapacidad mental).

También el estudiantado señaló la falta de formación del profesorado para impartir clases a personas con discapacidad: “Yo creo que están como que apenas asimilando que van a darle clase a una persona con discapacidad visual, me parece que estamos tanto los maestros como yo en un periodo de adaptación que ya después se tiene que ir acomodando” (Estudiante 6, con discapacidad visual). “El único problema que he tenido fue este verano, nada más tenía una materia y entonces yo no tenía mis aparatos auditivos y no le entendía nada, y ya mis compañeros me explicaron, pero ya era tarde, ya habían pasado tres exámenes; recuperé uno y quedó otro pendiente, entonces, por ese examen no puede pasar y lo tengo que repetir” (Estudiante 8, con discapacidad auditiva). “Antes el maestro no me entendía, por eso cambié de maestro para el curso de verano”. “Los maestros no saben las señas y no se puede cambiar, ni modo, yo puedo aguantar, seguir en el camino de carrera” (Estudiante 9, con discapacidad auditiva). “Mis obstáculos han sido los maestros, que no saben cómo tratarme” (Estudiante 10, con discapacidad intelectual).

Barreras en la actitud social

La discriminación dentro del salón de clases también fue mencionada: “Con los que no me he llevado bien son con los compañeros del C, me cambié por lo mismo”. “Siempre me echaban a mí la culpa de todo”. “A mí me daban la oportunidad de entregar las tareas un día después”. “En las actividades grupales me decían ‘espérate a que llegue la representante del equipo’ o ‘ya estamos completos’, así me ponían de pretextos, pero no querían; o la maestra a veces me metía y me tenían que aceptar” (Estudiante 10, con discapacidad intelectual).

Soportes en la estructura académica

Para el estudiantado, el programa institucional de becas es un soporte. Expresiones como, “Tengo apoyo de CoDis, es un programa; si tú tienes promedio arriba de 8 hacen un descuento en la inscripción” (Estudiante 3, con discapacidad física). “Me dieron la beca de CoDis, te pagan la inscripción” (Estudiante 5, con discapacidad mental). “Me hablaron de CoDis, que fue con los que estuve haciendo lo de la inscripción y cosas así; por parte de la universidad me dieron un apoyo de beca” (Estudiante 6, con discapacidad visual). “Tengo una beca de CoDis, no sé si es de aquí o de la UAT, pero me hacen el descuento por discapacidad y dependiendo del promedio es lo que me van descontando” (Estudiante 8, con discapacidad auditiva).

Soportes en la actitud personal

El sueño de terminar su carrera universitaria, desarrollarse en el ámbito laboral y ayudar a otras personas con discapacidad son actitudes positivas que referenciaron estudiantes con discapacidad con comentarios como, “Pues terminando la universidad y encontrando un lugar en alguna empresa, no tanto por querer ganar dinero, sino que estoy más enfocado en que quiero regresarle lo que mi papá hizo por mí y para darle a otros que necesitan, así como yo, que, gracias a Dios, a pesar de mi discapacidad logré desarrollarme (Estudiante 1, con discapacidad física). “Me gustaría seguir preparándome, bueno, al menos en esta carrera; como yo la veo es como que si terminas la licenciatura tienes que hacer la maestría, porque es actualizarte; entonces, a mí me gustaría hacer una maestría en psicología clínica de la salud y luego, ya después, enfocarme un poquito más en personas con, por ejemplo, autismo o con ceguera, personas sordas; porque me gustaría mucho aprender de ese tipo de gente, y siento que así podría ayudarlas un poquito más; y aparte, otras cosas como viajar o hacer investigaciones” (Estudiante 2, con discapacidad física). “Yo siento que soy una alumna que a pesar de todo se está esforzando por salir adelante y que no es mala en la escuela, simplemente que ha tenido una mala racha, pero que con la ayuda que le están

brindando los profesores, pues va a poder sacar bien o más o menos bien las materias que estoy llevando a cabo actualmente” (Estudiante 7, con discapacidad mental). “Quiero trabajar con mi papá, mi papá tiene una empresa de transporte y yo llevaría la contabilidad de ahí” (Estudiante 8, con discapacidad auditiva).

Soportes en la actitud social

La solidaridad de compañeros y compañeras de clase para trasladar a estudiantes con discapacidad de un lugar a otro dentro de la escuela y en la realización de tareas y actividades son soportes que se mencionaron en varias ocasiones como, “La actitud de mis compañeros también la siento muy buena, la verdad yo siento que están dispuestos a ayudar y a ser empáticos conmigo y con mis compañeros que presentan alguna discapacidad, siempre es de que si necesito desplazarme a algún lugar, por ejemplo, a un aula que esté arriba, siempre es de que ‘yo te ayudo con el andador’”. “Para subir las escaleras una persona me agarra a mí y otra agarra el andador y la mochila” (Estudiante 2, con discapacidad física). “Aquí estoy en dos edificios, más tarde, si toca taller, el que está hasta allá por Cisco, el de Química, está por las aulas X; recorro toda la escuela, es ir y venir; mis compañeros me ayudan” (Estudiante 1, con discapacidad física). “Ahí sí entra cualquier compañero que no falta que se me acerque a preguntarme si necesito algún tipo de apoyo y así es como me ayudan a salir” (Estudiante 6, con discapacidad visual). “Cuando no vengo, me incluyen en sus equipos, me dicen ‘haz esto para que te integres con nosotros’, van a mi casa a llevarme trabajos y todo muy bien en ese sentido” (Estudiante 7, con discapacidad mental). “Mis compañeros me ayudan a copiar los textos”. “Una compañera de inglés sabe las señas” (Estudiante 9, con discapacidad auditiva).

Así mismo, el estudiantado señaló que directivos, docentes y personal administrativo les ofrecen apoyo e incluyen en las actividades académicas. Se reportaron expresiones como, “Mis maestros han sido muy comprensivos, gracias a Dios que ellos han sabido entender y

han hecho lo posible por mantenerme en una buena línea académica; me han dicho que, si de algún modo yo no me siento capaz que hablé con ellos, que ellos verán la manera de adaptar la clase a mis necesidades”. “Agradezco que haya tantos maestros que se preocupen por mí y que sean personas racionales, que no discriminen, que no tengan esa actitud errónea hacia los trastornos mentales que la gente tiene, porque hay gente que habla mal sin siquiera saber qué significa, y pues hacemos, que la otra persona se sienta mal por su enfermedad” (Estudiante 7, con discapacidad mental). “La actitud de los profesores es de empatía, siempre están de que ‘tenemos que diseñar esto’; me dicen ‘si estás aquíes porque puedes, entonces, te vamos a pedir que nos digas, es válido, si algo se te dificulta, para que nosotros te podamos ayudar” (Estudiante 2, con discapacidad física). “En lo académico sí me preguntan si quiero más tiempo”. (Estudiante 3, con discapacidad física). “El director y rectoría cuando yo entré me pasaron a la oficina y me preguntaron que qué necesitaba aquí en la universidad, que las rampas dónde más o menos las necesitaba” (Estudiante 1, con discapacidad física).

Soportes en el apoyo externo

Se destacó el apoyo que reciben de su familia, de docentes externos y del gobierno estatal. Se registraron señalamientos como, “En sí, me apoya mi mamá, que es la que se encarga de traerme todas las mañanas, viene y me deja en la universidad, hasta el salón de clases”. “Mi mamá es la que se encarga de estarme leyendo cuando son libros o algo así”. “Cuando me encargan una tarea yo busco la información y la escribo en braille, después mi mamá lo traduce y lo pone en letra normal, para que puedan entenderlo”. “A mí me enseñó el braille una maestra cuando entré a la primaria” (Estudiante 6, con discapacidad visual). “Mi papá es el que me trae a la escuela, porque tiene un taxi” (Estudiante 5, con discapacidad mental). “Recibo apoyo de cheque de gobierno” (Estudiante 9, con discapacidad auditiva). “DIF Tamaulipas me apoya con los aparatos auditivos” (Estudiante 8, con discapacidad auditiva).

Soportes en las estrategias propias de aprendizaje

La tecnología asistiva y los dispositivos tecnológicos son usados como medios para acceder al conocimiento. Un estudiante señaló: “Mis estrategias serían que cuando un maestro está anotando en el pizarrón, como yo no veo, pido que alguien esté dictándome lo que está apuntando”, “Yo trato de tomar mis propias notas y en eso me baso para estudiar cuando tengo que hacer algún examen. Tengo una regleta y un punzón, que es con lo que escribo en braille; ocupo hojas opalina, pongo la hoja aquí adentro y después con el punzón voy haciendo las letras, en esto sí me tardo un poquito, porque como es más lento en lo que explica el profesor y escribo las letras, trato de ir lo más rápido posible, para que no se me pase tanto” (Estudiante 6, con discapacidad visual). Otra estudiante mencionó: “Ver en la computadora y el salón no escucho, ella me ayudó copiar en textos” (...) “lab de cómputo maestra enviar su correo de la actividad pongo en trabajo” (Estudiante 9, con discapacidad auditiva).

Las necesidades de inclusión que manifestó el estudiantado fueron el conocimiento de la discapacidad, inclusión y equidad educativa, la accesibilidad, la estructura académica y la actitud social.

Necesidades en la accesibilidad

Los lugares de descanso y áreas para cambiarse son necesidades mencionadas por estudiantes con discapacidad; un entrevistado señaló: “En cuestión de que estoy usando la silla mucho tiempo, estaría bien un lugar donde pudiera yo descansar, un lugar donde me pudiera sentar o estirar, porque las piernas, por la contractura muscular, te van causando dolor, entonces, hay momentos que uno necesita sentarse en otra silla, en otra cosa, pero no hay, todos son bancos duros”. “A veces también, porque algunos no podemos ir al baño, algunos usan sonda, otros tienen que usar pañal y se tienen que cambiar; entonces, entre clases, no hay un lugar donde puedas ir a cambiarte” (Estudiante 1, con discapacidad física).

Necesidades en la estructura académica

Un periodo de adaptación, apoyo en la lectura y un intérprete son necesidades para llevar a cabo los procesos de aprendizaje en igualdad de condiciones. Un entrevistado mencionó: “Únicamente un periodo de adaptación de maestros y también de mis compañeros hacia mí”. “Voy a ocupar que una persona me esté ahora sí que repitiendo, leyéndome los artículos, de tal forma que yo me los pueda memorizar” (Estudiante 6, discapacidad visual). Otra estudiante indicó: “Necesito un intérprete, pero tiene trabajo. Ya ni modo. Puedo sola” (Estudiante 9, discapacidad auditiva).

Necesidad en la actitud social

En la necesidad social, una estudiante señaló “Que no juzguen, porque así me hacían a mí anteriormente, mi grupo me juzgaban sin conocerme” (Estudiante 10, discapacidad intelectual).

Necesidades de conocimiento de la discapacidad, inclusión y equidad educativa

Estudiantes con discapacidad señalaron la necesidad de comprender los tipos y los tratamientos de las discapacidades, los significados de la inclusión y la equidad educativa. Se documentaron expresiones como, “Que haya un poquito más de conocimiento sobre lo que es la discapacidad, los tipos que existen y cómo se tratan, porque, por ejemplo, yo puedo decir que tengo parálisis cerebral y muchos piensan que sólo la tienen las personas que están en sillas de ruedas, que no se pueden mover, que tienen sus músculos muy rígidos y que no hablan, que están como retrasaditos o algo así, y es que yo no estoy así, es otro tipo, por así decirlo, es un nivel menos grave; entonces, que se conozca, para que haya esa concientización y nos podamos desenvolver más”. “A veces no saben cómo ayudarme o me ayudan de más” (Estudiante 2, con discapacidad física). “Nos hace falta una materia que hable sobre salud emocional, yo creo que independientemente de la carrera que uno esté estudiando, la salud emocional es algo muy importante; no sabemos cuántos alumnos hay allá afuera que tienen ansiedad o depresión, y los directivos no se preocupan, a veces nece-

sita uno acercarse primero” (Estudiante 7, discapacidad mental). “Yo creo que hace falta que vengan a informar, que vengan a dar pláticas a maestros y alumnos, porque dicen que deben de incluirlos y no excluirlos y no hacen nada para poner de ejemplo”. “Los maestros deben estar enterados de la educación inclusiva, los alumnos como que no saben qué es la educación especial” (Estudiante 3, con discapacidad física).

Experiencias de docentes

De acuerdo con la información proporcionada por el profesorado, también se detectaron barreras escolares y soportes para estudiantes con discapacidad. Las barreras fueron en la accesibilidad física, la información y los recursos tecnológicos. En aspectos relacionados con la estructura académica universitaria mencionaron el currículo, el calendario escolar, el reglamento y la formación de docentes. Sobre la inclusión educativa: la falta de conocimiento de la discapacidad, inclusión y equidad educativa; y déficit en el fortalecimiento en la capacitación y práctica sobre la inclusión educativa por parte de la institución.

Barreras en la accesibilidad

Se mencionaron barreras de accesibilidad en los espacios físicos. Se manejaron expresiones como, “Yo, la verdad, creo que nos falta mucho todavía dentro de la misma Unidad, carecemos de rampas para llegar a las aulas, no tienen bancos adecuados, también en el acceso a los centros de cómputo; si queremos entrar con una silla de ruedas o con un accesorio que esta persona necesita, la verdad es que no están las instalaciones preparadas para ellos, todavía nos falta mucho” (Docente 2). “Lo que detecto es que los espacios son muy importantes para hablar de inclusión, que los muchachos tengan las rampas apropiadas y que puedan moverse de un lado a otro con esa autonomía que ellos necesitan sentir, yo creo que es una de las cosas que en lo particular yo veo que es necesario; sí las hay, pero no con las especificaciones correctas o que ellos realmente digan sí las uso y me siento a gusto, me siento seguro; hay veces que las usan, pero

apenas caben con los carritos o con las mulletas, están muy empujadas, tienen que rodar y cosas por el estilo” (Docente 4). “Mira, ahorita he estado batallando para llegar a algunos lugares, por ejemplo, fui a mi escuela, y la dirección, todo lo administrativo está en planta alta; entonces, como pude, tuve que subir varias escaleras, fue muy difícil, y luego hay rampas que no cumplen con las especificaciones; y los estacionamientos, hay dos que son para discapacitados, está el estacionamiento, pero no hay rampa, me bajo del coche y me topo con un bordo. No abrieron ahí, no hay una rampa, solo está el lugar, entonces ha sido muy complicado para mí tener acceso a varias cosas. Se me dificulta, pero bueno, gracias a Dios lo mío es temporal, pero ¿qué pasa con las personas que ya viven con eso?, entonces sí hay que pensar en hacer más accesibles los lugares, los espacios” (Docente 6).

En la barrera de accesibilidad a la información un docente mencionó: “Apenas se están colocando algunos avisos en lenguaje braille, no hay, todavía no conozco libros ni videos” (Docente 1).

En la barrera de accesibilidad a la tecnología, otro docente argumentó: “Respecto a lo tecnológico, pues tienen que ver mucho los conocimientos que tenga quien trabaja con la tecnología de estas cuestiones de accesibilidad, por ejemplo, si hablamos de la plataforma tecnológica donde se ponen los cursos, pues ahí tenemos también que abordar temas que tienen que ver con accesibilidad, es decir, en este caso tiene que haber accesibilidad a sitios web” (Docente 5).

Barreras en la estructura académica

La carga horaria no flexible del currículo es también una de las barreras para estudiantes con discapacidad. Al respecto, una docente mencionó: “Los horarios no siempre se pueden compaginar, y ellos se ven encajonados en un horario específico; es cuestión de revisar realmente la flexibilidad”. “Muchas veces les toca venir en la mañana y también en la tarde” (Docente 8).

Los periodos escolares cortos son desventajosos para estudiantes con discapacidad. Así lo reveló un docente: “En lo personal, considero que los periodos son cortos, entonces eso también creo que ha perjudicado, porque los temas han tenido que tratarse muy rápido y a veces no puedes tomarte el tiempo para ir más despacio” (Docente 1).

La inflexibilidad en el reglamento escolar es otro aspecto que hay que tomar en cuenta. “La verdad, en el reglamento yo no he visto que hagan referencia a personas que tuvieran algún tipo de situación o de consideración para evaluarlos, que era una de las cosas que la maestra Mati me decía; tenemos varios alumnos con discapacidad, deberíamos hacer algo. Yo, lo que he hecho es platicar con los maestros, para que traten de ser flexibles” (...) (Docente 2).

La falta de formación del profesorado para llevar a cabo los procesos de enseñanza-aprendizaje es un señalamiento que ellos mismos indicaron. “Se está incluyendo mucho a las personas con discapacidades como personas especiales, quizás tenemos que seguir trabajando con la formación del docente, que tenga herramientas para poder atender a estos jóvenes” (Docente 3). “Uno, como docente, se enfrenta a algo nuevo cuando tiene este tipo de alumnos, porque uno está acostumbrado a trabajar con grupos; digamos, que no tienen cierto tipo de discapacidad o las discapacidades no son tan relevantes como para impedir una interacción con ellos, sin embargo, los alumnos que tuve, que eran sordomudos, al enfrentarnos a esta situación nos damos cuenta de que no teníamos algunos medios necesarios para comunicarnos con ellos” (Docente 5). “Mi sentir a veces es de impotencia en el aspecto de que no tengo, no poseo todos los conocimientos ni los recursos adecuados para tratar a personas con algún tipo de discapacidad” (Docente 1).

Barreras por la falta de conocimiento de la discapacidad, inclusión y equidad educativa

El profesorado requiere un mayor conocimiento de los tipos de discapacidad. En relación con ello, se señaló: “Bueno, a lo mejor no sé la cla-

sificación completa, pero la visual, la auditiva, la física son las más comunes” (Docente 1). “Pues ahora sí, yo de verdad trato de verlos y tratarlos de igual manera, no hacer diferencias, a lo mejor poder apoyarlos, brindarles un poco más de confianza, porque siento que de repente estas personas se sienten menos, se les dificulta integrarse”. “La verdad, que dijeras utilicé algo especial para ella, no (Docente 2). “Los evaluó igual, igual que a todos” (Docente 9).

Barreras a causa de que no se fortalece de manera integral la inclusión y la equidad educativa

Dos docentes señalaron: “Siento que estamos en un proceso de ver estos elementos integrados de manera natural, pudiésemos decir que los vemos aislados, a veces los hacemos, a veces no, a veces los mismos espacios no se prestan para poder concretar algunas de las acciones que pudiese marcarnos la misma institución; sí inclusión, equidad, pero para desplazarse batallan, entonces, ya no es tan inclusivo ni tan equitativo; en cuanto a los tratos, sí, pero ¿en qué momento pudiésemos tener esos ejercicios de realmente fortalecer y consolidar esa interacción?, porque existe, pero no está fortalecida” (Docente 2). “Yo creo que darnos más, darnos cursos a los maestros, un poco más de herramientas para poder tratar este tipo de alumnos especiales” (Docente 6).

Los soportes para la inclusión de estudiantes con discapacidad, según las opiniones de docentes, fueron la actitud positiva, el apoyo que reciben de los compañeros y compañeras de clase, del mismo profesorado, de amistades externas a la UAT y de la familia.

Soportes en la actitud personal

La actitud positiva del estudiantado con discapacidad ha sido uno de los motivos por lo que han permanecido en la universidad, de acuerdo a lo que expresó el profesorado: “Pero, sobre todo, con su actitud, yo veía que ella se esforzaba mucho para poder aprender, buscaba establecerse o ubicarse en un lugar muy estratégico para poder estar leyendo los labios, porque era lo único que podía hacer en ese

momento; yo no manejo lengua de señas y tampoco ninguno de sus compañeros” (Docente 5). “Muy grata experiencia, particularmente porque se sobrepone al grupo, porque tiene ese propósito de aprender, de demostrarle a los jóvenes que aún con su discapacidad a veces es mucho mejor que ellos, entonces él les da una lección (Docente 3).

Soportes en la actitud social

El apoyo para la movilidad de estudiantes con discapacidad es prestado por compañeros y compañeras de clase. “Son las compañeras las que la apoyan, que están ahí al pendiente: ‘te ayudo, te llevo esto, te llevo lo otro’” (Docente 2). “Los dos casos que he tenido de discapacidad en estos últimos periodos han sido de tipo físico, motriz”. “Los compañeros les ayudan con su silla de ruedas, están en un lugar prioritario dentro del salón, cerca de la puerta, por si requieren ayuda para salir a hacer sus necesidades” (Docente 8).

El profesorado también señaló que hacen algunas adaptaciones curriculares y que buscan el apoyo de sus pares. “Para mí fue un reto, porque nunca me había enfrentado a esto en los 16 años que tengo aquí en la universidad. Entonces, el estar buscando información, el estar con ella también preguntándole cómo se dice esto, para poderme comunicar con ella y adaptar los contenidos para evaluarla; no fue sencillo” (Docente 6). “Se sensibiliza uno más, y se da uno cuenta que, si ellos pueden avanzar y pueden lograr sus objetivos, nosotros, con la comunicación entre profesores, podemos hacerlo cada vez mejor; entonces, nos hace más humanos, más solidarios. Tenemos un gran compromiso como profesores” (Docente 8).

Soportes en el apoyo externo

El profesorado mencionó que el estudiantado con discapacidad se hace acompañar de amistades para solventar una dificultad en la escuela. Se mostraron expresiones como, “Traía a una amiga que de alguna manera hacía la traducción” (Docente 7). “Sí supe del acercamiento de la madre, que desde un principio

que entró a la universidad buscaba a los maestros, para que de alguna forma nosotros entenderíamos el autismo del muchacho” (Docente 9).

Al comparar las experiencias de los sujetos investigados se identificaron coincidencias, diferencias y hallazgos. En cuanto a las barreras, se encontraron coincidencias en la accesibilidad de las circulaciones y rutas, las puertas y las aulas; las diferencias estuvieron en función de la accesibilidad en la información y en la tecnología mencionada por docentes. Las coincidencias en las barreras de la estructura académica fueron en la adaptación del currículo y la formación de docentes; las diferencias se relacionaron con la inconveniencia en el calendario de clase, normas y reglamentos que mencionó el profesorado. En la barrera de actitud social solo se encontró la discriminación por parte de algunos compañeros y compañeras de clase indicado por la estudiante con discapacidad intelectual.

Los hallazgos relacionados con las barreras fueron detectados en la información proporcionada por docentes. Se destacó la falta de conocimiento acerca del tema de la discapacidad, la inclusión y equidad educativa y la falta de sensibilización y de estrategias operativas para su manejo en la Universidad.

Los soportes para la inclusión, como la actitud personal positiva de estudiantes con discapacidad, la inclusión social que hacen compañeros y compañeras de clase y el profesorado fue un punto de coincidencia entre estudiantes con discapacidad y docentes.

Los hallazgos en la estructura académica fueron las adaptaciones curriculares y el apoyo entre docentes, identificados por ellos mismos. Las becas es un soporte en la estructura académica, identificado constantemente por el estudiantado con discapacidad. Así como el apoyo externo, el de la familia, de otros docentes y del gobierno del estado de Tamaulipas. También mencionaron estrategias propias de aprendizaje como técnicas de estudio, regla y punzón, computadora y correo electrónico.

Las relaciones causales de las barreras, soportes y necesidades escolares de todos los sujetos investigados se muestran en las Figuras 1, 2 y 3. Finalmente, y resultado de lo anterior, emergieron 8 elementos teóricos a considerar para el diseño de un modelo de inclusión y equidad en la UAT (Figura 4).

DISCUSIÓN

Cuando se habla de barreras escolares se debe ir más allá de los aspectos de accesibilidad (ONU, 2006; Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, 2011; SEP, 2012b), de las barreras escolares provenientes de la estructura académica (Arnaz, 1981; ANUIES/SEP, 2002; ONU, 2006) o de la discriminación. Es necesario integrar variables relevantes como la falta de conocimiento de la discapacidad, la inclusión y la equidad y los mecanismos de fortalecimiento para fomentar y activar la inclusión y la equidad educativa en la UAT.

En cuanto a los soportes para superar las barreras escolares se identificaron variables que no habían sido consideradas en la investigación, como son el apoyo externo a la institución educativa, las estrategias de aprendizaje propias de estudiantes con discapacidad, esto mediante, la incorporación de las tecnologías y, en algunos casos, de tecnologías especializadas para estudiantes con distintos tipos de discapacidad; el soporte académico a través del profesorado al realizar adaptaciones curriculares para la impartición de cátedra y de la comunicación que se tiene entre ellos, para conocer las estrategias aplicadas en el trabajo individualizado de estudiantes con discapacidad.

En el aspecto de las necesidades para lograr la inclusión plena en el contexto universitario, de la voz de los sujetos con discapacidad surgieron variables que tampoco habían sido consideradas en las categorías de la investigación: en la accesibilidad física se mencionaron lugares de descanso y área para cambiarse. En la estructura académica, un periodo de adaptación, el apoyo para la lectura y la ayuda de un intérprete. En la actitud social, no juzgar antes de co-



■ **Figura 1.** Mapa conceptual que muestra las barreras escolares para estudiantes con discapacidad.
 Figure 1. Concept map showing school barriers for students with disabilities.



■ **Figura 2.** Mapa conceptual que muestra los soportes para la inclusión de estudiantes con discapacidad.
 Figure 2. Concept map showing the range of support for the inclusion of students with disabilities.



■ **Figura 3.** Mapa conceptual que muestra las necesidades de estudiantes con discapacidad.
 Figure 3. Concept map showing the needs of students with disabilities.

Modelo de Inclusión y Equidad Educativa

1. Claridad en el concepto:

- a) Crear una Unidad de Inclusión y Equidad Educativa (UIEE), con la finalidad de representar oficialmente el área dedicada a la educación inclusiva y equitativa en la UAT.
- b) Celebrar conferencias, seminarios, coloquios, foros y congresos sobre los tipos de discapacidad, inclusión y equidad educativa para toda la comunidad universitaria.
- c) Obtener valoraciones médicas de estudiantes con discapacidad durante su ingreso a la universidad, para conocer sus prescripciones médicas.

2. Culturas y espacios inclusivos:

- a) Trabajar con las normas y especificaciones de la infraestructura física, para construir espacios accesibles.
- b) Usar recursos tecnológicos para diseñar materiales accesibles, por ejemplo, traducciones al sistema braille, videos subtitrados, audio libros, entre otros. Así mismo contar con tecnología de asistencia como lectores de pantalla o software de reconocimiento de voz.
- c) Contar con un portal universitario web accesible.
- d) Integrar brigadas de apoyo formadas por estudiantes y docentes voluntarios para acompañar a estudiantes con discapacidad con mayores dificultades en cada una de las Facultades o Unidades Académicas y continuar con las campañas de sensibilización.

3. Currículo flexible:

- a) Adaptar los reglamentos de los programas educativos, para considerar los tiempos en las tareas y actividades, horarios, porcentajes de asistencia, condiciones y formas de las evaluaciones parciales y finales, días de recuperación en el calendario escolar y otras especificaciones, de acuerdo con las necesidades y derechos de estudiantes con discapacidad y otros estudiantes vulnerables, y considerar el número máximo de estudiantes en las aulas.
- b) Considerar el uso de las plataformas tecnológicas educativas, para compensar las limitaciones de estudiantes con discapacidad y que funcionen como medios de comunicación y colaboración.

4. Formación de docentes:

- a) Capacitación de docentes dirigida a la implementación de estrategias de principios de diseño universal y adaptaciones curriculares; capacitación sobre los tipos de capacidad, sus tratamientos y la atención a la diversidad.

5. Experiencias compartidas entre docentes y mejores prácticas:

- a) Reuniones académicas, mesas de trabajo o talleres por semestre entre docentes, profesionales de la educación e investigadores locales, nacionales e internacionales.
- b) Contar con evidencias sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje-evaluación.
- c) Crear alianzas con la familia y crear redes de conocimiento con grupos de la sociedad civil y colaborar con otras escuelas para fortalecer la capacidad del modelo educativo.

6. Supervisión en la participación:

- a) Establecer un comité supervisor para estudiantes con discapacidad.

7. Evaluación del logro educativo:

- a) Instituir un comité evaluador para estudiantes con discapacidad.

8. Vinculación con el sector laboral:

- a) Establecer estrategias con las organizaciones públicas y privadas, para relacionar a estudiantes con discapacidad con trabajos, prácticas profesionales, pasantías y servicio social relacionados a sus campos de estudio.

■ **Figura 4. Elementos teóricos a considerar para el diseño de un modelo de inclusión y equidad en la UAT.**
 Figure 4. Theoretical elements to consider for the design of an inclusion and equity model in UAT.

nocer a la persona, tener información sobre la discapacidad, la inclusión y la equidad educativa.

Por otra parte, con relación a investigaciones efectuadas anteriormente, se identifica la presencia de elementos que coinciden con los resultados de este estudio. Las similitudes en las barreras escolares se relacionaron con la falta de conocimiento de la discapacidad (Salinas y col., 2013), el currículo rígido (Pérez-Castro, 2019), la accesibilidad en los espacios educativos, en los sanitarios y la formación del profesorado (Cruz y col., 2016), así como en la accesibilidad física y tecnológica (De-la-Herrán y col., 2016). Las similitudes en los soportes escolares se alinearon con la actitud personal, la actitud social y estrategias de estudio (Salinas y col., 2013), con la actitud positiva de estudiantes con discapacidad, las técnicas de estudio y el apoyo de compañeros y compañeras y de la familia (Cruz y col., 2016).

La concordancia de los resultados con otras investigaciones representa que la inclusión se ha concebido como acciones dentro de las instituciones educativas para permitir el acceso a todas las personas y no como acciones para transformar las estructuras académicas y atender las necesidades educativas de todo el estudiantado (Fuentes, 2006).

Para hablar de una inclusión y una equidad educativa, se requiere un cambio en los planes, programas, procesos y métodos, que brinden los espacios al aprendizaje y a la pedagogía conveniente para toda la comunidad estudiantil, como lo ha manejado la UNESCO (UNESCO, 2017; 2019; 2020).

Algunos autores, como López (2007), señalan que en los ámbitos educativos los indicadores de igualdad y equidad pueden explorarse en cuatro aspectos principales: al acceso, la permanencia, las condiciones de aprendizaje y los resultados educativos. Echeita y Ainscow (2011) mencionaron, la inclusión es un proceso que requiere mejoras continuas que se hacen a través del tiempo y que la tarea principal es iden-

tificar y eliminar barreras, así como definir políticas y prácticas inclusivas.

En esta investigación, identificar las barreras, soportes y necesidades de inclusión permitió generar elementos teóricos en el diseño de un modelo de inclusión y equidad en la UAT, a fin de cumplir con la accesibilidad física establecida por los organismos nacionales e internacionales (ONU, 2006; Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, 2011; SEP, 2012b), con la accesibilidad web según los Lineamientos Generales de Accesibilidad a Servicios de Telecomunicaciones para los Usuarios con Discapacidad (2016) y el estándar W3C (W3C, 2019). Del mismo modo, persigue sentar las bases para flexibilizar el currículo (Echeita y Ainscow, 2011) y para establecer el uso de las tecnologías de información y comunicación como medios de colaboración (Cabero y Córdoba, 2009; Cabero, 2015); así también, busca la profesionalización de la planta docente en temas de inclusión y de equidad educativa (ONU, 2006; 2008; CAST, 2011; Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, 2011; UNESCO, 2017; 2020) y crear alianzas, comités, redes de conocimiento y la vinculación con el sector laboral (UNESCO, 2017) y al mismo tiempo, fortalecer la interacción social del ser humano, a quien le es imperativo vincularse con sus semejantes para la consecución de sus fines individuales y grupales (Aristóteles, 1988).

Aunque la UAT plantea ejes para la inclusión y la equidad en el PDI (PDI, 2018) y se han realizado algunas acciones para favorecer a estudiantes con discapacidad, estas se consideran como esfuerzos aislados, en virtud de que no hay una instancia rectoral que registre o sistematice información sobre las condiciones de pertinencia y vigencia de infraestructura, equipo y mobiliario; o bien, que dé seguimiento a la trayectoria educativa del estudiantado que presenta alguna discapacidad.

Por último, como lo mencionan López (2007) y la UNESCO (2020), esta propuesta plantea un marco de referencia para el desarrollo de políticas educativas dirigidas a superar las barre-

ras en los sistemas educativos a nivel de acceso, permanencia, participación y resultados de aprendizaje de estudiantes con discapacidad.

CONCLUSIONES

El estudiantado con discapacidad de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, campus Victoria, enfrenta barreras escolares que obstaculizan su aprendizaje y su participación: en la accesibilidad física de las circulaciones y rutas, y en las puertas; en la distribución de espacio y mobiliario en los salones de clases, laboratorios, bibliotecas, sanitarios y cafeterías; también en la accesibilidad a la información y a la tecnología; en la estructura académica, debido al currículo inflexible; en la organización de actividades, al no considerar la situación y el número de estudiantes; y en la falta de conocimientos y habilidades del profesorado en temas de inclusión y equidad educativa, además de barreras actitudinales, como la discriminación. Los soportes escolares detectados se relacionan con la actitud positiva de estudiantes con discapacidad, la solidaridad de la comunidad universitaria para incluirlos socialmente, sobre todo en compañeros y compañeras de clase; el apoyo que reciben de becas y de personas externas a la Universidad, del mismo modo que de la tecnología asistiva y de la comu-

nicación. Las necesidades para su inclusión se centraron en áreas físicas accesibles, apoyos para dar respuesta a la diversidad, como intérpretes de lengua de señas mexicana, lenguaje braille y periodo de adaptación; asimismo, en el conocimiento de aspectos de no discriminación. Los elementos teóricos que surgieron para la construcción de un modelo educativo más inclusivo y equitativo fueron la claridad en el concepto, cultura y espacios inclusivos, currículo flexible, formación de docentes, experiencias compartidas entre docentes y mejores prácticas, supervisión en la participación, evaluación del logro educativo y vinculación con el sector laboral. Por lo tanto, los datos obtenidos en el estudio reflejaron que, en la Universidad existen brechas educativas que impiden la inclusión plena y efectiva de estudiantes con discapacidad. Esto hizo ver, que la inclusión educativa se ha visto como un concepto limitado, y no como una medida transformadora para valorar la diversidad de necesidades del estudiantado universitario. Por último, se abren nuevas líneas de investigación para el análisis de la trayectoria académica de estudiantes con discapacidad, el estudio sobre carreras profesionales y el acceso a estudiantes con discapacidad, y la evaluación de la implementación de los factores propuestos en esta investigación.

REFERENCIAS

- ANUIES, Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (2018). *Visión y acción 2030: Propuesta de la ANUIES para renovar la educación superior en México 2017-18*. México, D.F.: ANUIES. 184 Pp.
- ANUIES, Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (2019). Anuario Estadístico de Educación Superior de la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior. [En línea]. Disponible en: <http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>. Fecha de consulta: 6 de junio de 2019.
- ANUIES/SEP, Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior/Secretaría de Educación Pública (2002). Manual para la Integración de las Personas con Discapacidad en las Instituciones de Educación Superior de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. México: ANUIES, SEP. 94 Pp.
- Aristóteles (1988). *Política*. España: Gredos. 490 Pp.
- Arnaz, J. (1981). *La planificación curricular*. (Segunda edición). México: Trillas. 72 Pp.
- BIRF/BM, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial (2018). Informe sobre el desarrollo mundial 2018: Aprender para hacer realidad la promesa de la educación. [En línea]. Disponible en: http://iin.oea.org/pdf-iin/RH/docs-interes/2019/Informe-sobre-el_Desarrollo-Mundial-2018.pdf. Fecha de consulta: 10 de enero de 2019.
- Cabero, J. (2015). Reflexiones educativas sobre las tecnologías de la información y comunicación. *Tecnología, Ciencia y Educación*. 1: 19-27.

Cabero, J. y Córdoba, M., (2009). Inclusión educativa: inclusión digital. *Educación Inclusiva*. 2(1): 61-77.

Campaña Mundial por la Educación/Handicap International (2014). Igualdad de Derechos Igualdad de Oportunidades. La educación inclusiva para niños con discapacidad. [En línea]. Disponible en: https://www.right-to-education.org/sites/right-to-education.org/files/resource-attachments/CME_%20Igualdad_Derechos_Igualdad_Opor-tunidades_2013_ES.pdf. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2019.

CAST (2011). Universal Design for Learning Guidelines version 2.0. Wakefield, MA: Author. Traducción al español versión 2.0. (2013). [En línea]. Disponible en: https://emtic.educarex.es/images/articulos_mila/DUA_articulo/UDL_Guidelines_v2.0-full_espanol.pdf. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2019.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2019). Última reforma DOF 09-08-2019. [En línea]. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2019.

Creswell, J. (2009). *Research Design Qualitative. Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Los Angeles, London: SAGE. 267 Pp.

Cruz, A., Pantaleao, E., Sobrinho, R., Hora, J. y Bazilatto, A. (2016). Vivencias de los estudiantes con discapacidad en el contexto de una Universidad pública mexicana. *Revista Electrónica de Educación*. 10(3): 383-399.

Day, R. (2005). *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*. (Tercera edición). Washington, DC: OPS. 263 Pp.

De-la-Herrán, A., Pinargote, M. y Véliz, V. (2016). Génesis de una Universidad Inclusiva en Ecuador: La Universidad Técnica de Manabí. *Revista Iberoamericana de Educación*. 70(2): 167-194.

Echeita, G. y Ainscow, M. (2011). La educación inclusiva como derecho. Marco de referencia y pautas de acción para el desarrollo de una revolución pendiente. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/661330/educacion_echeita_TEJUELO_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2019.

Fuentes, L. Y. (2006). Género, equidad y ciudadanía: Análisis de las políticas educativas. *Nómadas*. 24: 22-35.

Glaser, B. and Strauss, A. (1967). *The discovery of*

grounded theory: strategies for qualitative research. New Brunswick: Aldine. 271 Pp.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México, D.F: Mc GrawHill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 600 Pp.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013a). Las personas con discapacidad en México, una visión al 2010. México: INEGI. 272 Pp.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013b). Conociendo Tamaulipas. México: INEGI. 33 Pp.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). La discapacidad en México, datos al 2014. México: INEGI. 358 Pp.

Katayama, R. J. (2014). *Introducción a la investigación cualitativa: fundamentos, métodos, estrategias y técnicas*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la UIGV. 126 Pp.

Ley General de Educación (2019). Políticas para fomentar la inclusión, del tipo de educación superior. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5573858&fecha=30/09/2019. Fecha de consulta: 6 de mayo de 2019.

Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (2011). Accesibilidad. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5191516&fecha=30/05/2011. Fecha de consulta: 16 de mayo de 2019.

Ley Orgánica UAT (2017). Inclusión y equidad educativa. [En línea]. Disponible en: <http://www.uat.edu.mx/SG/Documents/1.%20Leyes%20y%20Estatutos/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20la%20Universidad%20Aut%C3%B3noma%20de%20Tamaulipas.pdf>. Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2019.

Lineamientos Generales de Accesibilidad a Servicios de Telecomunicaciones para los Usuarios con Discapacidad (2016). Accesibilidad. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5466859&fecha=23/12/2016. Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2019.

López, N. (2007). Equidad educativa y desigualdad social: desafíos de la educación en el nuevo escenario latinoamericano. [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000142599>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2019.

MAXQDA, Art Data Analysis (2018). Software para análisis de datos cualitativos. [En línea]. Disponi-

ble en: <http://www.maxqda.com/open-source-software>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2019.

Modelo Educativo UAT (2010). Inclusión y equidad educativa. [En línea]. Disponible en: <https://www.uat.edu.mx/SACD/Paginas/Evaluaci%C3%B3n-Curricular.aspx>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2019.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2011). Informe Mundial sobre la Discapacidad. Malta: OMS. 363 Pp.

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2006). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y Protocolo Facultativo. [En línea]. Disponible en: <http://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2019.

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2008). La educación inclusiva: el camino hacia el futuro. [En línea]. Disponible en: http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/Policy_Dialogue/48th_ICE/CONFINTED_48-3_Spanish.pdf. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2019.

Pérez-Castro, J. (2019). La inclusión de los estudiantes con discapacidad en dos Universidades públicas mexicanas". *Innovación Educativa*. 19(79): 145-170.

PDI, Plan de Desarrollo Institucional UAT 2018-2021 (2018). Universidad Autónoma de Tamaulipas. [En línea]. Disponible en: <https://www.uat.edu.mx/Paginas/UNIVERSIDAD/pdi.aspx>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2019.

PND, Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (2019). Educación inclusiva y equitativa. [En línea]. Disponible en: <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/64/2019/abr/20190430-XVIII-1.pdf>. Fecha de consulta: 1 de junio de 2019.

Salinas, M., Lissi, M., Medrano, D., Zuzulich, M. y Hojas, A. (2013). La inclusión en la Educación Superior: desde la voz de estudiantes chilenos con discapacidad. *Revista Iberoamericana de Educación*. 63: 77-98.

Santos, J. L. G., Cunha, K. S., Adamy, E. K., Backes, M. T. S., Leite, J. L., and Sousa, F. G. M. (2018). Data analysis: comparison between the different methodological perspectives of the Grounded Theory. *Revista Da Escola de Enfermagem M Da USP*. 52: e03303.

SEP, Secretaría de Educación Pública (2012a). La educación pertinente e inclusiva. La discapacidad en educación indígena. México: SEP. 63 Pp.

SEP, Secretaría de Educación Pública (2012b). Normas de Accesibilidad del Instituto Nacional de

la Infraestructura Física Educativa. México: SEP. 39 Pp.

Stake, R. E. (2007). *Investigación con estudios de casos*. Madrid: Morada. 159 Pp.

Supo, J. (2013). Cómo validar un instrumento: aprende a crear y validar instrumentos como un experto. [En línea]. Disponible en: http://www.cua.uam.mx/pdfs/coplavi/s_p/doc_ng/validacion-de-instrumentos-de-medicion.pdf. Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2019.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Sede Buenos Aires (2015). Educación 2030. [En línea]. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002456/245656s.pdf>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2019.

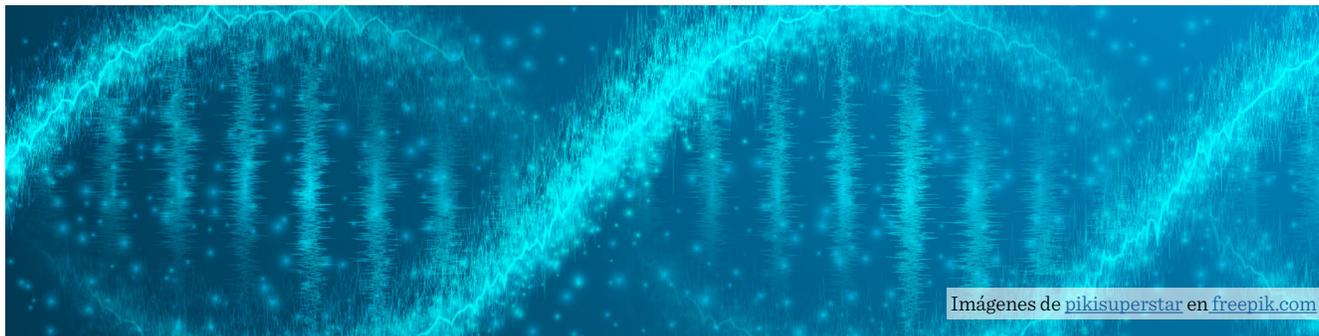
UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Sede Buenos Aires (2017). Guía para asegurar la inclusión y la equidad en la educación. París, Francia: UNESCO. 46 Pp.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2019). Compromiso de Cali sobre Equidad e Inclusión en la Educación. [En línea]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370910_spa. Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2021.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2020). Foro Internacional sobre Equidad e Inclusión, todas y todos los estudiantes cuentan. [En línea]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372651_spa. Fecha de consulta: 19 de febrero de 2021.

W3C (2019). Sobre el W3C. W3C España. [En línea]. Disponible en: <http://w3c.es/Consortio/>. Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2019.

Yapu, M. e Íñiguez, E. F. (2009). *Grupos focales sus antecedentes, fundamentos y prácticas*. La Paz: Universidad PIEB. 31 Pp.



Imágenes de pikisuperstar en freepik.com

Metabarcoding de DNA ambiental: un enfoque para el seguimiento de la biodiversidad

Environmental DNA metabarcoding: an approach for biodiversity monitoring

Cinthia Yedith Padilla-García, Fátima Yedith Camacho-Sánchez, Miguel Ángel Reyes-López*

RESUMEN

El término ácido desoxirribonucleico ambiental o DNA ambiental (eDNA) se acuñó para definir al ácido desoxirribonucleico (DNA) que se puede recuperar o detectar del ambiente (por ejemplo: suelo, aire o agua) sin necesidad de que el espécimen esté físicamente presente. El objetivo del presente trabajo fue analizar y ejemplificar los usos, aplicaciones y potencial del eDNA. El estudio del eDNA es utilizado para la evaluación de especies, que va desde la reconstrucción histórica de sus comunidades, la restauración del ecosistema, hasta la salud humana, lo que lo convierte en una herramienta versátil e importante para el futuro en investigación, permitiendo estudios de conservación, taxonómicos o de reconstrucción filogenéticos. Para lograr esto, se usa el procedimiento de *metabarcoding*, el cual se basa en obtener DNA de cualquier origen (en este caso eDNA), en ausencia física o no del organismo, con apoyo de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), para finalmente, secuenciarlos y obtener códigos de barras. Los estudios de eDNA probablemente se constituirán como un enfoque esencial para diversas tareas científicas no solo en el seguimiento de la biodiversidad, sino en el análisis de la salud humana o la generación de códigos de barras de DNA.

PALABRAS CLAVE: eDNA, biodiversidad, PCR, secuenciación.

ABSTRACT

Environmental deoxyribonucleic acid or environmental DNA (eDNA) is a term coined to define the deoxyribonucleic acid (DNA) that can be recovered or detected in an environment (for example: soil, air, or water) sample, but not specimen physically present (metagenome). The objective of this review was to understand, analyze, and define the uses, applications, and potential of eDNA. eDNA brings together several fields ranging from ecological assessment for historical community reconstruction, ecosystem restoration to human health, making it extremely versatile and important for the future in research, such as studies of conservation, taxonomic, or phylogenetic reconstruction. To achieve this, the metabarcoding procedure is used, which is based on obtaining DNA of any origin (in this case eDNA), in the physical absence or not of organisms, with the polymerase chain reaction (PCR), to finally sequence them and develop barcodes. The application of eDNA in biological research seems almost limitless, but it requires collaboration and coordination of scientific teams. eDNA studies will probably become an essential tool for different scientific tasks not only in monitoring biodiversity, but also in human health analysis or in the development of DNA barcodes.

KEYWORDS: eDNA, biodiversity, PCR, sequencing.

*Correspondencia: mareyesl@gmail.com/ Fecha de recepción: 13 de diciembre de 2020/ Fecha de aceptación: 25 de junio de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Conservation Medicine Laboratory, boulevard del maestro s/n esquina Elías Piña, col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas México. C. P. 88710.

INTRODUCCIÓN

El estudio y conocimiento de la diversidad genética, el cual detecta las variaciones heredables que pudieran ocurrir en cada organismo, entre los individuos de alguna población y entre poblaciones de una misma especie, cobra relevancia desde hace varias décadas por la diversidad de usos y trabajos que presenta. Para lograr implementar ese tipo de propuestas se requiere de una interrelación entre varias áreas, disciplinas o ciencias. Así, la genética y la evolución se agrupan para entender, describir y dar las pautas en trabajos de biodiversidad, para que sea estudiada o entendida y pueda ser protegida y conservada (Rimieri, 2017).

Alrededor del mundo se están perdiendo diversas especies (Scheffers y col., 2012; Raven, 2020) de flora y fauna silvestre debido a que el ser humano modifica los ambientes a través de la pérdida del hábitat, la contaminación ambiental (presencia de componentes nocivos en el medio ambiente, que pueden ser químicos, físicos o biológicos, ya sea en un entorno natural o artificial), la sobreexplotación, la introducción de especies invasoras, el cambio climático, entre otros (Kosłowski y col., 2020). Además del empleo de algunos métodos convencionales (como quemas, generación de dióxido de carbono por industrias, incendios o combustión de automóviles, uso de plásticos, y otros) que aceleraron las alteraciones del ambiente y tal vez la pérdida de alguna especie, por lo que es necesario desarrollar metodologías más precisas que en algunos casos logren distinguir dos especímenes o especies entre sí, para finalmente detectarlos, diferenciarlos y contabilizarlos (Yildiz y col., 2019).

Aunque aún no existe la información completa de la magnitud de dicha pérdida de la biodiversidad, hay un acuerdo internacional llamado Plan Estratégico para la Biodiversidad 2011-2020, que marca los procedimientos para tratar de detener y revertir la pérdida de la biodiversidad de acuerdo al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés: United Nations Environment Programme) (UNEP, 2011). Estas ac-

ciones dependen en gran medida del monitoreo biológico, que permite obtener datos de la especie, lo que se logra normalmente visualizándolas y cuantificándolas individuo por individuo basándose en diversos caracteres morfológicos. El dilema se presenta cuando las especies son similares o idénticas morfológica o anatómicamente (Thomsen y Willerslev, 2015; Deiner y col., 2017). Los errores que se presentan son muy comunes en la clasificación de algunos taxones debido a que se requiere personal altamente entrenado, por lo que se implementan otras técnicas para su identificación y futuro uso de la información (Bortolus, 2008; Hernández-González y col., 2016), como la caracterización molecular.

El campo de la biología molecular cobró relevancia desde el año 2000, dado que entre sus aplicaciones está el estudio de los genomas de organismos, desde un microorganismo hasta organismos superiores, como los humanos. Para entender cómo el estudio genómico de los ácidos nucleicos es utilizado en biodiversidad es necesario señalar que una molécula clave para esos estudios es el ácido desoxirribonucleico (DNA, por sus siglas en inglés: deoxyribonucleic acid), la cual está compuesta por átomos en forma de doble hélice y tiene cuatro bases nitrogenadas llamados nucleótidos: adenina, guanina, citosina y timina. El DNA se encarga de transmitir la información genética (Vázquez-Ramos, 2016; Koch y col., 2020) y es útil para identificar individuos al comparar secuencias de origen distinto o no.

Con los estudios moleculares del DNA se puede complementar la morfología o la anatomía de especímenes o seres humanos, respectivamente, con lo se obtiene una mayor precisión de la identificación de sujetos (Pizarro, 2003), o mediante el uso de ácido ribonucleico (RNA, por sus siglas en inglés: ribonucleic acid), con el mismo principio de detección del DNA. Estos estudios requieren de cantidades pequeñas de muestra (micro o nanogramos) de ácido nucleico (DNA o RNA) usada para su análisis o amplificación; el protocolo es rápido (menos de 3 h) y está basado en la reacción en cade-

na de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés: polymerase chain reaction) (Zhu y col., 2020), o de un par de días para otras técnicas más elaboradas, comparadas con los cultivos de bacterias u hongos (de 1 d a 4 d o más días para hongos de lento crecimiento) (Austin, 2017); versátil (múltiple y/o diferentes tipos de muestras residuales) y, en algunos casos, barato (cuando se consideran pruebas masivas) (Deiner y col., 2017). Asimismo, es utilizada es la secuenciación (Mani, 2020), la cual cuenta con variantes, desde secuenciación química, enzimática, de electroforesis capilar, como la secuenciación tradicional, que por muchos años fue la más común, llamada secuenciación de Sanger, enzimática, capilar o de primera generación (Sanger y col., 1977; van-Dijk y col., 2018), que consume mucho tiempo, y se puede analizar espécimen por espécimen para obtener una secuencia a la vez. Ésta se basa en la terminación de la amplificación o extensión de cadenas de ácidos nucleicos, lo cual produce cadenas de diferentes tamaños que se pueden agrupar por el nucleótido común en donde se terminó la reacción enzimática. Los avances en secuenciación pasaron de secuenciar unas cuantas muestras o fragmentos, hasta análisis de miles o millones de fragmentos en un solo ensayo por medio de secuenciación de siguiente generación (NGS, por sus siglas en inglés: next generation sequencing), por ejemplo. Esta técnica revolucionó las ciencias biológicas debido a su rendimiento masivo, escalabilidad y velocidad, lo que permite investigaciones en una amplia variedad de aplicaciones y estudios en sistemas biológicos a un nivel nunca antes posible (van-Dijk y col., 2018).

Por un lado, se tienen las secuencias de las especies o especímenes que se quiere identificar o estudiar y, por el otro, se debe saber si fueron o no identificados antes y si dicha secuencia ya está reportada. Con la información anterior, ambas secuencias son comparadas o alineadas. En el caso de que ya estén publicadas las secuencias se puede recurrir a sitios en la web que cuentan con herramientas bioinformáticas, como el GenBank (Benson y col., 2013), o mediante el uso de programas bioin-

formáticos (ambas maneras se describen posteriormente).

Así, los análisis genómicos se basan en metodologías moleculares, las cuales muestran avances importantes en las técnicas de identificación de individuos o especímenes, lo que permiten detectarlos incluso sin tener evidencia física o visual del organismo (Andruszkiewicz y col., 2017b). Cabe señalar que estos estudios pueden dividirse en análisis con o sin amplificación de los ácidos nucleicos, llamados estudios de *metabarcoding* y metagenómicos, respectivamente.

En paralelo, las características de especies de vida silvestre u organismos que se cree extintos, escasos, escurridizos a simple vista o que no se pueden cultivar por métodos tradicionales, pueden inferirse mediante la detección de su DNA. A partir de este punto, el concepto de DNA ambiental (eDNA, por sus siglas en inglés: environmental DNA) emergió, describiéndose como el DNA que se puede obtener de muestras tomadas en el ambiente sin estar presente algún individuo físicamente (Taberlet y col., 2012; Ruppert y col., 2019), es decir, a partir de muestras de piel, pelo, fluidos u otros tejidos o materiales, como el suelo, aire o agua. Por lo que detectar el DNA y conocer a qué organismo o entidad biológica se parece es importante para obtener información sobre especies, poblaciones y comunidades (Thomsen y Willerslev, 2015) habitantes en un área específica o en determinado momento del tiempo.

Asegurar el éxito de la detección del eDNA dependerá de saber manejar la muestra recolectada y el posterior aislamiento e integridad del material genético obtenido de dicha muestra del medio ambiente (Andruszkiewicz y col., 2017a), hasta su identificación.

Este trabajo tuvo como objetivo dar a conocer el estado actual, usos y aplicaciones del estudio del eDNA, sus bondades, características, dificultades y aplicaciones en el estudio de la biodiversidad, salud, ambiente y de muestras antiguas.

I. eDNA

El término eDNA fue introducido en 1980, utilizado para detectar y describir comunidades de microorganismos en sedimentos marinos (Ivanova y col., 2019). En 1990 fue clasificado de acuerdo al tamaño de la partícula: DNA mayor a 0.2 μm fue descrito como DNA particulado, y menor a esto, DNA disuelto (Díaz-Ferguson y Moyer, 2014).

Para profundizar en el concepto: el DNA está contenido en materiales liberados por los organismos hacia el ambiente, los cuales pueden ser desde heces, mucosidades, células de la piel, organelos, gametos, inclusive, hasta DNA extracelular (Deiner y col., 2017). Como ya se demostró en diversos estudios, la técnica puede proporcionar información de macroorganismos extintos u organismos que hace tiempo transitaron por un punto dado pero que ya no están en el área. Esto se debe a que los materiales orgánicos conservan cadenas cortas de DNA que se mantienen en el ambiente por largos espacios de tiempo (Ficetola y col., 2008).

Sin embargo, la obtención de este tipo de DNA no es fácil, ya que hay factores ambientales que pudieran afectarlo (Hänfling y col., 2016), como la temperatura, el pH, la conductividad, o comunidades microbianas capaces de degradar el DNA (Andruszkiewicz y col., 2017a). Además, dependiendo del tipo de la muestra, como las heces, agua o sedimentos orgánicos, las concentraciones obtenidas en la extracción de DNA variarán, lo cual dependerá del espécimen, de su dieta, la estación del año, la densidad, que se encuentren en el agua o en el suelo, el tipo de sedimento (Valdez-Moreno y col., 2019), incluso de su pelaje. Los rangos de concentración de DNA que se puede obtener varían de 1 $\text{ng}/\mu\text{L}$ a 10 $\text{ng}/\mu\text{L}$ son suficientes para realizar un PCR de la muestra.

II. Bases técnicas del uso del eDNA

Para el estudio y análisis de eDNA se pueden seguir protocolos previamente publicados. En la metodología de Díaz-Ferguson y Moyer (2014) se argumenta que para la detección del eDNA

se requiere el desarrollo de marcadores genéticos específicos para cada objetivo del trabajo. Los marcadores genéticos son secuencias conocidas dentro del ácido nucleico a estudiar y de las cuales se conoce normalmente su posición. Una vez detectados esos marcadores, se sintetizan sondas moleculares complementarias a ellos, para posteriormente ser empleados en diversos métodos, como el PCR, el cual amplifica millones de veces el fragmento de interés a estudiar, para enseguida ser visualizado a través de una electroforesis en geles de agarosa o poliacrilamida (Díaz-Ferguson y Moyer, 2014; Salipante y Jerome, 2020).

En algunas otras metodologías, como la que señalan Valdez-Moreno y col. (2019) y que se resume en la Figura 1, se utiliza el término *metabarcoding*, que implica la recolección de muestras ambientales (presencia física o no de los especímenes a estudiar), la extracción de DNA, amplificación por PCR para un gen de interés, por ejemplo, el gen mitocondrial de la citocromo oxidasa-I (COI por sus siglas en inglés: cytochrome c oxidase I) y secuenciación; también se puede emplear el procedimiento de “metagenómica”, para la cual no requiere de la visualización física del espécimen del medio ambiente y que, además, implica una colección de genes amplificados y secuenciados (pero sin pasar por un PCR, a diferencia del *metabarcoding*, que sí lo requiere). Es decir, mientras la metagenómica analiza secuencias nucleares, cloroplastídicas o mitocondriales diversas sin el uso previo de PCR para secuenciar, el *metabarcoding* se basa en el mismo principio pero se apoya del PCR y utiliza secuencias conservadas, universales y con regiones variables, que pueden servir como código de barras.

Con lo anterior, se puede caracterizar la biodiversidad presente en una región dada, logrando la detección de especies o especímenes mediante la generación de sus secuencias específicas dentro del genoma o genoma mitocondrial del organismo, que servirán como una etiqueta molecular para la identificación de especies. Una serie de ejemplos de la versatilidad del estudio de eDNA se presenta como par-



*Paso que puede o no ser omitido, dependiendo del tipo de análisis a realizar.

■ **Figura 1.** Diagrama de flujo del procedimiento general para la obtención y análisis del eDNA (Valdez-Moreno y col., 2019).

Figure 1. Flow chart for general procedure to extract and analyze eDNA (Valdez-Moreno y col., 2019).

te de la amplitud de este tipo de estudios. A modo de muestra, en el mar costero en Japón y en un río en Indiana, EE. UU., el DNA se aisló, se secuenció y se consiguió determinar, a partir de los restos de especímenes, el origen de una especie sin haber tenido conocimiento previo de su existencia en el lugar (Deiner y col., 2016; Lacoursière-Roussel y col., 2016; Valentini y col., 2016; Cowart y col., 2018; Valdez-Moreno y col., 2019).

Otros ejemplos de los usos de eDNA son en la eutrofización (el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, balsas, ríos, embalses, entre otros) de los cuerpos de agua, tanto dulce como de mar, la cual es causada por los efectos de las actividades humanas y los aportes de nutrientes, lo que podría provocar la proliferación de algas nocivas (HAB, por sus siglas en inglés: harmful algal blooms), disminución de la calidad del agua, reducción de la biodiversidad, lo cual podría amenazar la salud humana (Liu y col., 2020); con la técnica podría identificarse los organismos presentes, benéficos o no y sus implica-

ciones en el ecosistema. Además, se podría estudiar el monitoreo de la biodiversidad, el eDNA podría usarse para estudios genéticos de poblaciones, lo cual es un campo emergente que ofrece perspectivas interesantes, sin embargo, habrá que seguir desarrollándolo (Adams y col., 2019).

Para obtener una muestra y su análisis como eDNA, a continuación se describen varios ejemplos donde se observa el uso de muestras de diferentes fuentes y orígenes, y su análisis.

II.1. Recolección de muestra de agua

Uno de los vehículos más comunes en el que se encuentran muestras de DNA o material con potencial DNA es el agua. De acuerdo a estudios realizados, donde se describe que la mayoría de los animales terrestres que se acercan a cuerpos de agua disponibles para beberla, tienen contacto de su saliva, tejido de su hocico o pelo y que éstos pueden caer y encontrarse en dicho fluido, es importante describir el procedimiento de cómo detectarlos. Por lo que se señala en general, el procedimiento marca que las muestras se tomen de

la zona litoral a no más de 0.5 m, para posteriormente almacenarse en botellas estériles, aunque la toma de la muestra se puede realizar directamente de agua dulce, salobre, subterránea y de cuerpos tanto lénticos como lóticos. Equipo y muestras deben ser manipulados utilizando guantes, para evitar contaminar (material con DNA o RNA de las personas que manejan la muestra, de bacterias del ambiente o de otras muestras cercanas) y colocarlas en hielo, para su posterior procesamiento. Todo el equipo de muestreo y filtrado se debe lavar con una solución de hipoclorito de sodio (llamada también lejía o cloro) comercial al 10 % antes de su uso. Las muestras de agua tienen que ser recolectadas en envases de polietileno de aproximadamente 500 mL. En paralelo, dos muestras testigos negativos (agua destilada) deben ser colectadas en los recipientes, para hacer el seguimiento de una potencial contaminación durante el muestreo y el transporte del agua (Ushio y col., 2017; Valdez-Moreno y col., 2019). En México no se requieren permisos oficiales para la colecta de este tipo de muestras, ya que son del ambiente y no de vertebrados o de especies protegidas por las leyes mexicanas, pero en caso de que se produzca una perturbación en el sitio de muestreo o que se utilicen, aprovechen o descarguen aguas residuales sí se requeriría de un permiso oficial de acuerdo al Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020) o lo procedente de acuerdo con las leyes y regulaciones del país o región de que se trate.

II.2. Procesamiento de muestra de agua

Las muestras de agua se deberán filtrar dentro de las 7 h de colectadas, para evitar que se degrade el material genético. Los artículos de filtrado más utilizados son los filtros de fibra de vidrio y los de nitrato de celulosa, con diferentes tamaños de poros. Los de poros más grandes permiten mayores volúmenes de agua y los de poros más pequeños capturan más partículas, pero limitan el volumen y la velocidad de filtración (Muha y col., 2019). Por ejemplo, existen filtros circulares de membrana de nitrato de celulosa Whatman, con tamaños de poros de 0.45 μm y diámetro 47 mm, y filtros de fibra de

vidrio de borosilicato Advantec GA55 con tamaño de poros de 0.6 μm y diámetro de 47 mm. Ya en el laboratorio o lugar donde se procesará la muestra, se debe trabajar en un área estéril y tomar medidas para evitar la contaminación ambiental, por lo que habrá que cambiarse los guantes entre cada muestra o manejo de muestra, usar cubrebocas y, de ser posible, diferentes cuartos, tanto para la extracción del DNA como para la amplificación. Al terminar, el material filtrado se almacena a - 18 °C (Coward y col., 2018; Valdez-Moreno y col., 2019).

II.3. Extracción del DNA

Para la extracción del DNA se pueden utilizar estuches comerciales (MoBio) normalmente vendidos como PowerSoil® DNA Isolation Kit - Qiagen, especiales para muestras de suelo, con indicaciones del fabricante que deberán seguirse. Este método usa filtros, a diferencia de otros que no los requieren. El procedimiento no dura más de 10 min. Posteriormente se debe incubar a 4 °C el DNA obtenido. Otros estuches comerciales (Muha y col., 2019) son DNA Qiagen DNeasy Blood & Tissue (protocolo para manchas de sangre seca), usado para múltiples muestras, como tejido o sangre total. Uno más es Nexttec (Nexttec Biotechnologie GmbH, Alemania), con mayores ventajas debido a que evita una posible contaminación del DNA y que es de un solo paso entre la digestión (ruptura de paredes celulares y proteínas mediante enzimas o reactivos químicos) de la muestra y la elución final del DNA. También se puede usar el NucleoSpin® Soil (Soliman y col., 2017), el cual usa filtros y tiene una alta eficiencia en la obtención del DNA. Derivado de este último estudio, se recomienda para la estandarización el uso de diferentes individuos y por triplicado la extracción de DNA, lo que podría ser una solución para alcanzar un mejor protocolo para los estudios de metagenómica del suelo. Finalmente, se pueden usar procedimientos tradicionales para la extracción de DNA, como el de fenol: cloroformo (Green y Sambrook, 2017).

II.4. Amplificación del DNA

Para el estudio de las muestras de DNA exis-

ten diferentes zonas blanco que habitualmente se usan como regiones (segmentos de DNA) de amplificación. Varios son los ejemplos: COI, para metazoos, y la cadena grande de bisfosfato de ribulosa carboxilasa (rcbL), para las plantas, son los estándares establecidos por el código de barras de la vida. Otras regiones usadas son el RNA ribosómico 12S o el 16S, que pueden ser más apropiadas para diferentes taxones; para hongos se emplea ITS (por sus siglas en inglés: internal transcribed spacer) y en bacterias el 16S. Para ciertos eucariotas también se usa el 18S rRNA (Epp y col., 2012; Taberlet y col., 2012; Gibson y col., 2015; Creer y col., 2016; Deiner y col., 2017; Hering y col., 2018).

Los iniciadores para el *metabarcoding* de eDNA (Tabla 1) deben ser lo suficientemente cortos como para amplificar muestras degradadas, idénticas pero variables entre especies y flanqueadas por regiones altamente conservadas (segmentos de DNA que conservan su secuen-

cia intacta a través del tiempo) para amplificar una variedad de especies sin sacrificar la especificidad del grupo objetivo. Se debe tomar en cuenta que se requieren procesos para asegurar que el producto amplificado sea real o verdadero y no falsos negativos, por lo que se realizan múltiples réplicas de PCR (realizar la reacción múltiples veces) y de réplicas biológicas (colectar más de una vez las mismas muestras biológicas).

Una metodología de amplificación que se usa con buenos resultados es realizar un PCR de dos pasos. En el primero se utilizan iniciadores convencionales y en el segundo, iniciadores de fusión con identificadores moleculares únicos (UMI, por sus siglas en inglés: unique molecular identifiers) o los códigos de barras moleculares (MBC, por sus siglas en inglés: molecular barcodes), que son secuencias de ácido nucleico cortas o “etiquetas” moleculares, útiles en los protocolos de preparación de bibliotecas de secuenciación de siguiente gene-

■ **Tabla 1. Ejemplos de los 8 iniciadores más utilizados en el estudio de eDNA (Evans y col., 2016; Thomsen y col., 2016; Andruszkiewicz y col., 2017b; Bylemans y col., 2018; Wang y col., 2021).**
 Table 1. Examples for the 8 commonly used primers in eDNA's study (Evans y col., 2016; Thomsen y col., 2016; Andruszkiewicz y col., 2017b; Bylemans y col., 2018; Wang y col., 2021).

Nombre iniciador	Sentido 5' a 3'	Secuencia	Amplición (pb)
FishCBa	Directo	TCCTTTTGAGGCGCTACAGT	130
	Reverso	GGAATGCGAAGAATCGTGTT	
16S1b	Directo	CGAGAAGACCCTWTGGAGCTTIAG	107
	Reveso	GGTCGCCCCAACCRAAG	
Ac16sc	Directo	CCTTTTGCATCATGATTTAGC	375
	Reverso	CAGGTGGCTGCTTTTAGGC	
16S2d	Directo	GACCCTATGGAGCTTTAGAC	233
	Reverso	CGCTGTTATCCCTADRGTAACT	
16S-Fishe	Directo	AGCGYAATCACTTGTCTYTTAA	233
	Reverso	CRBGGTCGCCCCAACCRAA	
Ac12sc	Directo	ACTGGGATTAGATACCCCACTATG	429
	Reverso	GAGAGTGACGGGCGGTGT	
MiFish-Uf	Directo	GTCGGTAAACTCGTGCCAGC	219
	Reverso	CATAGTGGGGTATCTAATCCCAGTTTG	
Teleog	Directo	ACACCGCCCGTCACTCT	100
	Reverso	CTTCCGGTACTTACCATG	

*W = A o T; I = inosina, R = A o G, D = A, G o T; Y = C o T, B = C, T o G.

ración. Después de la primera ronda, los productos de PCR se diluyen, para pasar a la segunda ronda de PCR. Finalmente, se purifica el DNA y se secuencia.

II.5. Análisis Bioinformático

Una vez obtenidas las secuencias, se comparan, resguardan y analizan. El primer paso pudiera ser subir las secuencias a una biblioteca mundial de secuencias. Existen diferentes bases de datos, una de las más conocidas es la del código de barras de la vida (BOLD, por sus siglas en inglés: barcode of life bata system). En ésta, cada secuencia cargada es clasificada y almacenada, para posteriormente ser comparada con secuencias ya existentes en el sistema. Una utilidad de lo anterior puede ser la clasificación de grupos de individuos relacionados, lo cual es conocido como unidad taxonómica operacional (OTU, por sus siglas en inglés: operational taxonomic unit), es decir, las secuencias son agrupadas por similitud de secuencias de DNA de un gen marcador taxonómico específico. Otra base de datos es la que se encuentra en el GenBank, que indica estar diseñada para proporcionar y fomentar el acceso de la comunidad científica a la información de las secuencias de DNA más actualizadas y completas, y forma parte de lo que es el sitio web de El Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI, por sus siglas en inglés: National Center for Biotechnology Information), que promueve la ciencia y la salud al proporcionar acceso a información biomédica y genómica. Ello ayudará a determinar si la secuencia problema secuenciada existe o no en dicha base de datos, si es una secuencia conocida, o es la primera vez que se detecta.

Por otro lado, derivado de la generación de cientos, miles o millones de secuencias por análisis, fueron creados sitios web para reunir tal información, como es el caso de mBRAVE (multiplex barcode research and visualization environment), una plataforma multiusuario que admite el almacenamiento, la validación, el análisis y la publicación de numerosos proyectos basados en instrumentos de secuenciación de alto rendimiento (HTS, por sus siglas

en inglés: high-throughput sequencing). Este sistema se basa en la plataforma BOLD para respaldar la identificación y el descubrimiento de especies para los datos de HTS (Ratnasingham, 2019).

El procesamiento y la subida de los datos a ese tipo de plataforma de almacenamiento se pueden llevar a cabo por medio de diferentes paquetes informáticos. Entre otros, QIIME2 (por sus siglas en inglés: quantitative insights into microbial ecology version 2), DADA2 (por sus siglas en inglés: the divisive amplicon denoising algorithm) u OBITools, que es un conjunto de programas de Python (lenguaje bioinformático) desarrollados para simplificar la manipulación de archivos de secuencias (Boyer y col., 2016; Callahan y col., 2016; Macher y col., 2021).

QIIME2 puede transformar secuencias sin procesar en diagramas de barras taxonómicas, árboles filogenéticos, análisis de coordenadas principales y otras visualizaciones de la diversidad microbiana. Para DADA2 se incluyen herramientas o procedimientos sobre cómo filtrar tablas y cómo calcular y visualizar los análisis de ordenamiento y medición de la diversidad, para lo cual se introdujo un enfoque basado en modelos para corregir errores del amplicón sin construir OTU. Así, DADA2 es precedido de otro paquete informático basado en el programa de R, el cual es de código abierto (<https://github.com/benjjneb/dada2>) que extiende y mejora el algoritmo de su predecesor. Mientras que OBITools hace la asignación taxonómica de secuencias automáticamente contra una base de datos en línea. Tiene capacidad para filtrar y editar secuencias teniendo en cuenta la anotación taxonómica y ayuda a establecer líneas de análisis a medida para una amplia gama de aplicaciones de *metabarcoding* de DNA, incluidos estudios de biodiversidad o análisis de dietas.

III. eDNA en agua

III.1. eDNA en acuíferos

El método para obtener eDNA de acuíferos se efectuó primeramente en ambientes controlados, para observar si era viable la detección

de especies, para posteriormente ser aplicado a ambientes naturales (Ficetola y col., 2008). El eDNA es, relativamente, una nueva herramienta para el monitoreo que se utiliza en ambientes acuíferos, ya que las partículas de DNA se distribuyen homogéneamente en el agua, a comparación del DNA que pudiera encontrarse en el suelo (Hänfling y col., 2016). La mayoría de los estudios sobre este tema se enfocan en peces y anfibios, pero esta herramienta se diversificó tanto que también se usa para identificar mamíferos, reptiles, artrópodos, gasterópodos y bivalvos (Dougherty y col., 2016).

La técnica del eDNA mostró su utilidad al ser empleada por primera vez para el monitoreo de peces que habitan la región de Bacalar (México) y a la vez detectar especies invasoras que pudieran afectar las playas. Se aplicó en agua y sedimentos, descubriendo que era más viable en agua, ya que fue capaz de localizar un mayor número de organismos (Valdez-Moreno y col., 2019). En este estudio se incluyeron 8 sitios de muestreo (1 con 3 localidades), la mayoría fueron examinadas en más de una ocasión, produciendo un total de 14 eventos de muestreo. Las muestras fueron colocadas en botellas, y tanto éstas como el equipo de muestreo se manipularon con guantes, para minimizar la contaminación con DNA humano. En cada sitio se hicieron tres tomas repetidas de agua y sedimento. Cada muestra se dividió en dos submuestras de 0.5 L que se filtraron a través de filtros separados de 0.22 μm . Un filtro se almacenó con 1 mL de solución PW1 (solución encontrada en el estuche comercial DNeasy® PowerWater® Kit – QIAGEN) con medio de trituración (cuentas que ayudan al molido de la muestra), mientras que la otra submuestra se colocó con medio de trituración en un tubo seco cubierto con papel de aluminio.

III.2. eDNA en ríos

Los ríos son invaluable para los estudios ambientales, ya que transportan la información genética del paisaje a lo largo de los tramos que atraviesan, así como los sedimentos, material orgánico y los nutrientes a su alrededor (Deiner y col., 2016). El eDNA es empleado pa-

ra el conteo e identificación de poblaciones de peces, principalmente, mediante métodos no invasivos, en contraste con los invasivos usados anteriormente para esto, donde eran capturados e identificados morfológicamente, lo que no ayuda mucho a la salud del animal, ya que le provoca estrés y aumenta su depredación (Shaw y col., 2016).

El eDNA resiste en el agua a temperatura ambiente y puede cambiar su integridad de unos días a algunas semanas, de acuerdo a un trabajo de Pont y col. (2018), que reveló patrones cuantitativos de la biodiversidad de peces. También señaló que en las corrientes de los ríos la concentración de eDNA y su detectabilidad no solo dependen de las tasas de producción y degradación, sino también de la dilución, el transporte a través de la red fluvial, la deposición y la resuspensión. Este estudio usó como referencia uno previo de Valentini y col. (2016), el cual diseñó iniciadores que se probaron exhaustivamente *in silico* utilizando el programa ecoPCR (Ficetola y col., 2010) en: (i) una colección de todas las secuencias de DNA mitocondrial y (ii) en todas las secuencias de DNA disponibles públicamente. El programa ecoPCR es un PCR *in silico* que consiste en seleccionar en una base de datos las regiones que coinciden (es decir, que presentan similitud) con dos iniciadores de PCR. Dichas regiones deben localizarse en la secuencia seleccionada, de manera que permitan la amplificación por PCR, lo que fuerza la orientación relativa de las coincidencias y la distancia entre ellas.

Deiner y col. (2016), mostraron que el método de eDNA ayudó a detectar más especies en comparación con un método convencional llamado “kicknet” (que utiliza una red de malla cuadrada con un mango de poste a cada lado que se emplea para recoger macroinvertebrados acuáticos en una corriente). Utilizando solo kicknet se consiguieron de 17 a 24 familias, y combinándolo con eDNA se obtuvieron de 23 a 40 familias (Deiner y col., 2016; 2017). Existen otros trabajos reportados en Indiana, EE. UU., donde el método combinado ayudó a

identificar especies que otros métodos pasaron por alto, en comparación con el método convencional (kicknet). Deiner y col. (2016; 2017) identificaron un promedio de 12 especies, entre las que se encontraron *Semotilus atromaculatus*, *Lepomis cyanellus*, *Etheostoma nigrum*, *Cottus bairdii*, *Rhinichthys obtusus*, *Catostomus commersonii*, *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo trutta*, *Ambloplites rupestris*, *Micropterus dolomieu*, *Lepomis macrochinus*, y *Etheostoma caeruleum*; y con kicknet y eDNA se obtuvieron 4 especies más; *Ameiurus natalis*, *Cyprinus carpio*, *Umbra pygmaea* y *Micropterus salmoides*, dando un promedio de 16 especies en 2013 (Olds y col., 2016; Valdez-Moreno y col., 2019). Finalmente, otro estudio en Japón usando eDNA, descubrió especies acuáticas raras, en peligro de extinción, y especies invasoras (Yamamoto y col., 2017).

IV. eDNA en ambientes terrestres

Los sedimentos son una fuente muy valiosa para el estudio de eDNA, el DNA puede permanecer desde periodos cortos hasta miles de años, dependiendo de las condiciones del ambiente donde se encuentre la muestra (Buxton y col., 2018). Algunos estudios demuestran que el eDNA se mantiene más tiempo en el sedimento que en la superficie del agua. Turner y col. (2015) demostraron que el DNA de la carpa asiática de cabeza grande se conserva por 4 meses en el sedimentos y está más concentrado que en las columnas de agua (Turner y col., 2015).

Así como en el agua, los sedimentos terrestres son muy importantes, ya que ayudan a investigar y reconstruir evidencias de animales o comunidades de plantas que habitaron la tierra hace miles de años (Deiner y col., 2017). Es decir, la fauna y la flora ancestrales dejaron ahí rastros de DNA extracelular. En 2013, otro trabajo estudió sedimentos en Siberia y en Nueva Zelanda, descubriendo que contenían DNA de animales extintos, como el mamut lanudo, en el primer sitio, y las aves de Moa en el segundo (Pedersen y col., 2015). Para lograr el *metabarcoding* se utilizaron iniciadores genéricos (o universales), que están diseñados pa-

ra apuntar a varios taxones simultáneamente, entre ellos, plantas, animales o muestras fecales, en contraste con los iniciadores específicos, diseñados para amplificar sólo unas pocas especies seleccionadas. Por esta razón y derivado, que con la tecnología molecular podía detectarse DNA, los investigadores le llamaron DNA ancestral o “antiguo” (aDNA, por sus siglas en inglés: ancient DNA).

Aunque parece “fácil” la detección del aDNA, se debe considerar que su campo está plagado de obstáculos metodológicos significativos que incluyen, entre otros, daño *post mortem* a biomoléculas conservadas, contaminación de muestras y reactivos por DNA moderno y la presencia de inhibidores de reacciones enzimáticas (McHugo y col., 2019). En general, diversos factores que pueden comprometer irrevocablemente la autenticidad y reproducibilidad de un DNA amplificado a partir de muestras arqueológicas o fortuitas encontradas en zonas donde posiblemente habitaron animales o plantas prehistóricas. Sin embargo, con los cuidados de muestreo, transportación, enriquecimiento del DNA en el momento de su extracción y, claro, la tecnología de la amplificación, se tiene el potencial para estudios de detección de flora y fauna ancestral.

V. eDNA en el aire

El agua y el aire son capaces de desplazar el DNA ambiental más rápido y a mayores distancias (Barnes y Turner, 2016). Específicamente, el aire es un medio importante de transporte de microorganismos ya que supera barreras geográficas (Yooseph y col., 2013) y traslada diferentes partículas de material diverso, polvo, microorganismos, esporas, polen, entre otros.

Por ello, el eDNA puede tener aplicaciones en la salud humana utilizando como muestra el aire ambiental de alguna zona o ecosistema dado. Determinar el microbioma en el aire puede influir en las decisiones de salud con respecto a los alérgenos (partícula o microorganismos que genera una reacción inmunológica de hipersensibilidad), los microorganismos pa-

tógenos y la contaminación del aire. Así se debe considerar, por ejemplo, la actual pandemia del síndrome respiratorio agudo grave (SARS, por sus siglas en inglés: severe acute respiratory syndrome), la cual es una enfermedad respiratoria viral causada por un coronavirus del tipo 2, llamado coronavirus asociado al SARS (SARS-CoV-2) que provoca la enfermedad conocida como COVID-19 (Wang y col., 2020). Para el caso de los microorganismos en aire, la identificación actualmente se realiza mediante la observación microscópica, la cual se torna laboriosa y en muchos casos no se logran reconocer, a nivel de género, todas las especies relevantes (Kraaijeveld y col., 2015) o cultivables, para su posterior identificación. Mediante la recolección de muestras del aire, aplicación del *metabarcoding* y la tecnología NGS es posible determinar la composición del microbioma en el aire y sus posibles implicaciones para la salud humana y el ecosistema.

Si bien, el uso más frecuente de *metabarcoding* ambiental es en entornos naturales, también se puede aplicar en interiores. En particular, los microorganismos transportados por el aire son una preocupación crítica en los espacios de atención a la salud, ya que algunos pueden causar infecciones asociadas a los hospitales y, en general, a lugares donde se tienen en uso equipos de aire acondicionado que pueden contener bacterias, virus u hongos (Cao y col., 2014; Banchi y col., 2018).

Un ejemplo de la aplicación de esta metodología fue en 2015, cuando se realizó un estudio en aguas marinas para la identificación de orcas (*Orcinus orca*); para ello se tomaron muestras de agua y aire/superficie de las Islas de San Juan. Del aire/superficie se obtuvo la muestra de DNA por medio de filtros. El análisis de las muestras de la superficie encontró excelente concentración de DNA y se logró secuenciar a los microorganismos (Baker y col., 2018). Para este estudio, además del eDNA, se utilizó una variante del PCR llamado PCR por gotitas digitales (ddPCR, por sus siglas en inglés: droplet-digital PCR), la cual es una nueva y poderosa tecnología para cuantificar niveles ba-

jos de DNA mediante el fraccionamiento de una reacción de PCR en más de 20 000 gotas utilizando una emulsión de aceite (Doi y col., 2015).

En otro caso, se comprobó que se puede identificar el polen de las plantas que potencialmente es alérgeno. Lo que se hizo fue filtrar las muestras de aire (Kraaijeveld y col., 2015) para localizar el tipo de polen.

En realidad, la utilidad del *metabarcoding* de eDNA se vuelve infinita, en virtud de que es posible hacer un procedimiento de análisis relativamente sencillo, aislando un fluido (aire o agua) de uno o de diferentes entornos, y después determinando uno o varios organismos, con el examen del microbioma de un ambiente específico; en muchos casos, sin necesidad de crecimiento o siembra de tales microorganismos.

CONCLUSIONES

El avance de la ciencia conlleva a nuevos descubrimientos, técnicas y metodologías producto del trabajo de investigación, dedicación y tiempo. En biología molecular abarca nuevas maneras de analizar lo que antes era casi imposible, debido a que no se podían identificar simultáneamente a todos o una parte de los organismos de un ambiente dado. La reciente introducción de la técnica *metabarcoding* de ácido desoxirribonucleico (DNA) y en particular del estudio de DNA ambiental (eDNA) ha permitido alcanzar ese objetivo. Actualmente existe información disponible sobre el *metabarcoding* y eDNA, en particular, en agua, lo cual es muy relevante para la detección de especies nuevas, previamente descritas o especies invasoras para el ecosistema, los humanos, los animales o las plantas. Sin embargo, aún faltan más estudios en otros tipos de muestras, como suelos y aire. Se espera que en un futuro esta sea la manera para la caracterización y clasificación de especies y que su uso se generalice para el monitoreo de microorganismos, especies terrestres o acuáticas que se encuentran en números muy bajos, se cree que ya están extintas o son especies nuevas. Es importante destacar que se requiere de técnicas

especiales, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y secuenciación de terminación de la cadena de Sanger o de siguiente generación. En esta primera etapa es necesario generar las bases de datos de todo tipo de especímenes, por ejemplo, de cuerpos de fluidos, para que existan referencias con qué compararse o en su defecto, si ya existen, comparar las secuencias obtenidas con esas bases de

datos previamente creadas. Finalmente, con el *metabarcoding* se generará un código de barras para algún tipo de muestra que se desee estudiar y con esto lograr el inventario de la biodiversidad de un área en particular y por qué no, el inventario total de la Tierra, entre otras aplicaciones mencionadas en este trabajo.

REFERENCIAS

- Adams, C. I., Knapp, M., Gemmell, N. J., Jeunen, G. J., Bunce, M., Lamare, M. D., and Taylor, H. R. (2019). Beyond Biodiversity: Can Environmental DNA (eDNA) Cut It as a Population Genetics Tool? *Genes*. 10(3): 192.
- Andruszkiewicz, E. A., Sassoubre, L. M., and Boehm, A. B. (2017a). Persistence of marine fish environmental DNA and the influence of sunlight. *PLoS One*. 12(9).
- Andruszkiewicz, E. A., Starks, H. A., Chavez, F. P., Sassoubre, L. M., Block, B. A., and Boehm, A. B. (2017b). Biomonitoring of marine vertebrates in Monterey Bay using eDNA metabarcoding. *PLoS One*. 12(4): e0176343.
- Austin, B. (2017). The value of cultures to modern microbiology. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 110(10): 1247-1256.
- Banchi, E., Ametrano, C. G., Stanković, D., Verardo, P., Moretti, O., Gabrielli, F., ..., and Muggia, L. (2018). DNA metabarcoding uncovers fungal diversity of mixed airborne samples in Italy. *PLoS One*. 13: e0194489.
- Baker, C. S., Steel, D., Nieukirk, S., and Klinck, H. (2018). Environmental DNA (eDNA) from the wake of the whales: Droplet digital PCR for detection and species identification. *Frontiers in Marine Science*. 5: 1-11.
- Barnes, M. A. and Turner, C. R. (2016). The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics. *Conservation Genetics*. 17(1): 1-17.
- Benson, D. A., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D. J., Ostell, J., and Sayers, E. W. (2013). GenBank. *Nucleic Acids Research*. 41(D1): D36-D42.
- Bortolus, A. (2008). Error cascades in the biological sciences: The unwanted consequences of using bad taxonomy in ecology. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 37(2): 114-118.
- Boyer, F., Mercier, C., Bonin, A., Le-Bras, Y., Taberlet, P., and Coissac, E. (2016). Obitools: a unix-inspired software package for DNA metabarcoding. *Molecular Ecology Resources*. 16(1): 176-182.
- Buxton, A. S., Groombridge, J. J., and Griffiths, R. A. (2018). Seasonal variation in environmental DNA detection in sediment and water samples. *PLoS One*. 13(1): 1-14.
- Bylemans, J., Gleeson, D. M., Hardy, C. M., and Furlan, E. (2018). Toward an ecoregion scale evaluation of eDNA metabarcoding primers: A case study for the freshwater fish biodiversity of the Murray-Darling Basin (Australia). *Ecology and Evolution*. 8(17): 8697-8712.
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J., and Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods*. 13(7): 581-583.
- Cao, C., Jiang, W., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., ..., and Zhu, T. F. (2014). Inhalable microorganisms in Beijing's PM2.5 and PM10 pollutants during a severe smog event. *Environmental Science & Technology*. 48(3): 1499-1507.
- Cowart, D. A., Murphy, K. R., and Cheng, C. H. C. (2018). Metagenomic sequencing of environmental DNA reveals marine faunal assemblages from the West Antarctic Peninsula. *Marine Genomics*. 37: 148-160.
- Creer, S., Deiner, K., Frey, S., Porazinska, D., Taberlet, P., Thomas, W., ..., and Bik, H. (2016). The ecologist's field guide to sequence-based identification of biodiversity. *Methods in Ecology and Evolution*. 7(9): 1008-1018.
- Deiner, K., Bik, H. M., Mächler, E., Seymour, M., Lacoursière-Roussel, A., Altermatt, F., ..., and Bernatchez, L. (2017). Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology*. 26(21): 5872-5895.
- Deiner, K., Fronhofer, E. A., Mächler, E., Walser, J. C., and Altermatt, F. (2016). Environmental DNA reveals that rivers are conveyor belts of biodiversity information. *Nature Communications*. 7(1): 1-9.
- Díaz-Ferguson, E. E. and Moyer, G. R. (2014). History, applications, methodological issues and perspectives for the use environmental DNA (eDNA) in marine and freshwater environments. *Revista de Biología Tropical*. 62(4): 1273-1284.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2020). Ley de Aguas Nacionales. [En línea]. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf. Fecha de consulta: 10 de junio de 2021.

- Doi, H., Uchii, K., Takahara, T., Matsushashi, S., Yamanaka, H., and Minamoto, T. (2015). Use of droplet digital PCR for estimation of fish abundance and biomass in environmental DNA surveys. *PLoS One*. 10(3): e0122763.
- Dougherty, M. M., Larson, E. R., Renshaw, M. A., Gantz, C. A., Egan, S. P., Erickson, D. M., and Lodge, D. M. (2016). Environmental DNA (eDNA) detects the invasive rusty crayfish *Orconectes rusticus* at low abundances. *Journal of Applied Ecology*. 53(3): 722-732.
- Epp, L. S., Boessenkool, S., Bellemain, E. P., Haile, J., Espósito, A., Riaz, T., ..., and Brochmann, C. (2012). New environmental metabarcodes for analysing soil DNA: potential for studying past and present ecosystems. *Molecular Ecology*. 21: 1821-1833.
- Evans, N. T., Olds, B. P., Renshaw, M. A., Turner, C. R., Li, Y., Jerde, C. L., ..., and Lodge, D. M. (2016). Quantification of mesocosm fish and amphibian species diversity via environmental DNA metabarcoding. *Molecular Ecology Resources*. 16(1): 29-41.
- Ficetola, G. F., Coissac, E., Zundel, S., Riaz, T., Shehzad, W., Bessière, J., ..., and Pompanon, F. (2010). An in silico approach for the evaluation of DNA barcodes. *BMC Genomics*. 11(1): 434.
- Ficetola, G. F., Miaud, C., Pompanon, F., and Taberlet, P. (2008). Species detection using environmental DNA from water samples. *Biology Letters*. 4(4): 423-425.
- Gibson, J. F., Shokralla, S., Curry, C., Baird, D. J., Monk, W. A., King, I., and Hajibabaei, M. (2015). Large-Scale Biomonitoring of Remote and Threatened Ecosystems via High-Throughput Sequencing. *PLoS One*. 10(10): e0138432.
- Green, M. R. and Sambrook, J. (2017). Isolation of High-Molecular-Weight DNA Using Organic Solvents. *Cold Spring Harb Protoc.* (4): pdb.prot093450.
- Hänfling, B., Handley, L. L., Read, D. S., Hahn, C., Li, J., Nichols, P., ..., and Winfield, I. J. (2016). Environmental DNA metabarcoding of lake fish communities reflects long-term data from established survey methods. *Molecular Ecology*. 25(13): 3101-3119.
- Hering, D., Borja, A., Jones, J. I., Pont, D., Boets, P., Bouchez, A., ..., and Kelly, M. (2018). Implementation options for DNA-based identification into ecological status assessment under the European Water Framework Directive. *Water Research*. 138: 192-205.
- Hernández-González, J., Inza, I., and Lozano, J. A. (2016). Weak supervision and other non-standard classification problems: A taxonomy. *Pattern Recognition Letters*. 69: 49-55.
- Ivanova, N., Valdez-Moreno, M., and Elias-Gutierrez, M. (2019). Resident or Invasive Species? Environmental DNA Can Provide Reliable Answers. *IBOL Barcode Bulletin*. 9(1): 9-11.
- Kraaijeveld, K., de-Weger, L. A., Ventayol-García, M., Buermans, H., Frank, J., Hiemstra, P. S., and den-Dunnen, J. T. (2015). Efficient and sensitive identification and quantification of airborne pollen using next-generation DNA sequencing. *Molecular Ecology Resources*. 15(1): 8-16.
- Koch, J., Gantenbein, S., Masania, K., Stark, W. J., Erlich, Y., and Grass, R. N. (2020). A DNA-of-things storage architecture to create materials with embedded memory. *Nature Biotechnology*. 38(1): 39-43.
- Koslowski, M., Moran, D., Tisserant, A., Verones, F., and Wood, R. (2020). Quantifying Europe's biodiversity foot-prints and the role of urbanization and income. *Global Sustainability*. 3: E1.
- Lacoursière-Roussel, A., Dubois, Y., Normandeau, E., and Bernatchez, L. (2016). Improving herpetological surveys in eastern North America using the environmental DNA method1. *Genome*. 59(11): 991-1007.
- Liu, Q., Zhang, Y., Wu, H., Liu, F., Peng, W., Zhang, X., ..., and Zhang, H. (2020). A Review and Perspective of eDNA Application to Eutrophication and HAB Control in Fresh-water and Marine Ecosystems. *Microorganisms*. 8(3): 417.
- Macher, T. H., Beermann, A. J., and Leese, F. (2021). Taxon TableTools: A comprehensive, platform-independent graphical user interface software to explore and visualise DNA metabarcoding data. *Molecular Ecology Resources*. 21(5): 1705-1714.
- Mani, I. (2020). Current Status and Challenges of DNA Sequencing. In V. Singh (Ed.), *Advances in Synthetic Biology* (pp. 71-80). Alemania: Springer, Singapore.
- McHugo, G. P., Dover, M. J., and MacHugh, D. E. (2019). Unlocking the origins and biology of domestic animals using ancient DNA and paleogenomics. *BMC Biology*. 17(1): 1-20.
- Muha, T. P., Robinson, C. V., Garcia-de-Leaniz, C., and Con-suegra, S. (2019). An optimised eDNA protocol for detecting fish in lentic and lotic freshwaters using a small water volume. *PLoS One*. 14(7): e0219218.
- Olds, B. P., Jerde, C. L., Renshaw, M. A., Li, Y., Evans, N. T., Turner, C. R., ..., and Lamberti, G. A. (2016). Estimating species richness using environmental DNA. *Ecology and Evolution*. 6(12): 4214-4226.
- Pedersen, M. W., Overballe-Petersen, S., Ermini, L., Der-Sarkissian, C., Haile, J., Hellstrom, M., ..., and Willerslev, E. (2015). Ancient and modern environmental DNA. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 370(1660): 20130383.
- Pizarro, O. R. (2003). Proyecto de ley para un registro de ADN de utilización Criminalística. *Revista Conamed*. 8(2): 21-34.
- Pont, D., Rocle, M., Valentini, A., Civade, R., Jean, P., Maire, A., ..., and Dejean, T. (2018). Environmental DNA reveals quantitative patterns of fish biodiversity in large rivers despite its downstream transportation. *Scientific Reports*. 8(1): 1-13.
- Ratnasingham, S. (2019). mBRAVE: The Multiplex Barcode Research And Visualization Environment. *Biodiversity Information Science and Standards*. 3.

- Raven, P. H. (2020) Biodiversity: A Global Perspective. In G. Dar and A. Khuroo (Eds.), *Biodiversity of the Himalaya: Jammu and Kashmir State. Topics in Biodiversity and Conservation* (pp. 156-180). Alemania: Springer, Singapore.
- Rimieri, P. (2017). Genetic Diversity and Genetic Variability: Two Different Concepts Associated To Plant Germplasm and Breeding. *Journal of Basic and Applied Genetics*. 28(2):7-13.
- Ruppert, K. M., Kline, R. J., and Rahman, M. S. (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*. 17: e00547.
- Salipante, S. J. and Jerome, K. R. (2020). Digital PCR—An Emerging Technology with Broad Applications in Microbiology. *Clinical Chemistry*. 66(1): 117-123.
- Sanger, F., Nicklen, S., and Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 74(12): 5463-7.
- Scheffers, B., Joppa, L., Pimm, S., and Laurance, W. (2012). What we know and don't know about Earth's missing biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*. 27(9): 501-10.
- Shaw, J. L. A., Clarke, L. J., Wedderburn, S. D., Barnes, T. C., Weyrich, L. S., and Cooper, A. (2016). Comparison of environmental DNA metabarcoding and conventional fish survey methods in a river system. *Biological Conservation*. 197: 131-138.
- Soliman, T., Yang, S. Y., Yamazaki, T., and Jenke-Kodama, H. (2017). Profiling soil microbial communities with next-generation sequencing: the influence of DNA kit selection and technician technical expertise. *PeerJ*. 5: e4178.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M., and Rieseberg, L. H. (2012). Environmental DNA. *Molecular Ecology*. 21(8): 1789-1793.
- Thomsen, P. F., Møller, P. R., Sigsgaard, E. E., Knudsen, S. W., Jørgensen, O. A., and Willerslev, E. (2016). Environmental DNA from Seawater Samples Correlate with Trawl Catches of Subarctic, Deepwater Fishes. *PLoS One*. 11(11): e0165252.
- Thomsen, P. F. and Willerslev, E. (2015). Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*. 183: 4-18.
- Turner, C. R., Uy, K. L., and Everhart, R. C. (2015). Fish environmental DNA is more concentrated in aquatic sediments than surface water. *Biological Conservation*. 183: 93-102.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2011). Convention of Biological Diversity: Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-EN.pdf>. Fecha de consulta: 21 de enero de 2021.
- Ushio, M., Fukuda, H., Inoue, T., Makoto, K., Kishida, O., Sato, K., ..., and Miya, M. (2017). Environmental DNA enables detection of terrestrial mammals from forest pond water. *Molecular Ecology Resources*. 17(6): e63-e75.
- Valdez-Moreno, M., Ivanova, N. V., Elías-Gutiérrez, M., Pedersen, S. L., Bessonov, K., and Hebert, P. D. (2019). Using eDNA to biomonitor the fish community in a tropical oligotrophic lake. *PLoS One*. 14(4):1-22.
- Valentini, A., Taberlet, P., Miaud, C., Civade, R., Herder, J., Thomsen, P. F., ..., and Dejean, T. (2016). Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. *Molecular Ecology*. 25(4): 929-942.
- van-Dijk, E. L., Jaszczyszyn, Y., Naquin, D., and Thermes, C. (2018). The Third Revolution in Sequencing Technology. *Trends in Genetics*. 34(9): 666-681.
- Vázquez-Ramos, J. (2016). Reparación del ADN: un asunto de vida... y de Premios Nobel. *Educación Química*. 27(2): 93-96.
- Wang, M. Y., Zhao, R., Gao, L. J., Gao, X. F., Wang, D. P., and Cao, J. M. (2020). SARS-CoV-2: Structure, Biology, and Structure-Based Therapeutics Development. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 10: 587269.
- Wang, S., Yan, Z., Hänfling, B., Zheng, X., Wang, P., Fan, J., and Li, J. (2021). Methodology of fish eDNA and its applications in ecology and environment. *Science of the Total Environment*. 755: 142622.
- Yamamoto, S., Masuda, R., Sato, Y., Sado, T., Araki, H., Kondoh, M., ..., and Miya, M. (2017). Environmental DNA metabarcoding reveals local fish communities in a species-rich coastal sea. *Scientific Reports*. 7(1): 1-12.
- Yildiz, I., Açıkkalp, E., Caliskan, H., and Mori, K. (2019). Environmental pollution cost analyses of biodiesel and diesel fuels for a diesel engine. *Journal of Environmental Management*. 243: 218-226.
- Yooseph, S., Andrews-Pfannkoch, C., Tenney, A., McQuaid, J., Williamson, S., Thiagarajan, M., ..., and Venter, J. C. (2013). A metagenomic framework for the study of airborne microbial communities. *PLoS One*. 8(12): e81862.
- Zhu, H., Zhang, H., Xu, Y., Laššáková, S., Korabečná, M., and Neuzil, P. (2020). PCR past, present and future. *Biotechniques*. 69(4): 317-325.



Imágenes de: Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo

Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México

Characterization of organic fertilizers applied to flower crops in the south of the State of Mexico

Marithza Guadalupe Ramírez-Gerardo^{1*}, Sergio Vázquez-Villegas¹, Gloria Isabel Méndez-Gómez¹, Jaime Mejía-Carranza²

RESUMEN

Las ventajas de incorporar abonos orgánicos (AO) disminuyen cuando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas no son las adecuadas. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar abonos orgánicos destinados a suelos florícolas y analizar las repercusiones de su aplicación. Se determinaron las propiedades de 10 AO: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y nitratos. Se utilizó un diseño completo al azar y análisis de varianza ($P \leq 0.05$) para evaluar el índice germinativo (IG) en semillas de rábano y maíz, con lixiviados de AO al 5 %, así como la actividad microbiana de tres AO incorporados al suelo en incubaciones aerobias. El pH promedio fue de 8.2 ± 0.81 , y el intervalo de la CE en AO fue de 0.15 dS/m a 6.7 dS/m, mientras que el de la MO fue de 28.8 % a 80 %. El IG fue diferente estadísticamente ($P < 0.05$) en cada especie de semilla. Asimismo, la incorporación de AO incrementó significativamente ($P < 0.05$) la actividad microbiana del suelo. Se concluye que la heterogeneidad de la materia prima genera una gran variabilidad en las características de los AO, sin embargo, en todos los casos, su aplicación mejoró las propiedades de los suelos florícolas.

PALABRAS CLAVE: composta, lombricomposta, materia orgánica, relación carbono/nitrógeno (C/N).

ABSTRACT

The advantages of incorporating organic fertilizers (OF) decrease when their physical, chemical and microbiological properties are not adequate. The objective of this research was to characterize organic fertilizers intended for floricultural soils and analyze the effects of their application. The properties of 10 OF were determined: hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), organic matter (OM), content of nitrogen, phosphorus, potassium and nitrates. A completely randomized design and analysis of variance ($P \leq 0.05$) were used to evaluate the germination index (GI) in radish and corn seeds, with leachates of OF at 5 %, as well as the microbial activity of three OF incorporated into the soil in aerobic incubations. The average pH was 8.2 ± 0.81 , and the interval of EC in OF ranged from 0.15 dS/m to 6.7 dS/m, whereas that of the OM was from 28 % to 80 %. The GI was statistically different ($P < 0.05$) in each seed species. Likewise, the incorporation of OF significantly increased ($P < 0.05$) the microbial activity of the soil. It is concluded that the heterogeneity of the raw material generates a great variability in the characteristics of the OF; however, in all cases, its application improved the properties of the floricultural soils.

KEYWORDS: compost, lombricompost, organic matter, carbon/nitrogen ratio (C/N).

*Correspondencia: marithza@gmail.com/ Fecha de recepción: 4 de enero de 2021/ Fecha de aceptación: 21 de abril de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, División de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, carretera federal Toluca-Ixtapan de la Sal km 64.5, La Finca, Villa Guerrero, Estado de México, México, C. P. 51787. ²Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México, México.

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional se caracteriza por el empleo de agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas de origen sintético, que permiten alcanzar altos rendimientos, sin embargo, esta forma de producción está vinculada al deterioro físico, químico y biológico del suelo (Sakin y col., 2018). El municipio de Villa Guerrero, en el Estado de México, México, forma parte del corredor florícola más importante del país, con una producción intensiva de flores de corte, cuyos sistemas productivos se caracterizan por tener una alta demanda de nutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Cabrera y col., 2017) que los floricultores incorporan como fertilizantes sintéticos, acción que impacta de manera negativa a los suelos, ya que con el tiempo genera problemas de salinidad, empobrecimiento de nutrientes y disminución de actividad microbiana (Bonanomi y col., 2020; Yáñez-Ocampo y col., 2020). Actualmente se han comenzado a utilizar diversas fuentes de materia orgánica (MO), como estiércoles de bovino, equino y gallinaza de animales, que tiene el propio productor, humus de lombriz, composta, pajas y desechos de cultivos, en cantidades variables, con el objetivo de disminuir principalmente costos en la compra de fertilizantes sintéticos, pero también para mantener la salud y calidad de los suelos y mejorar su productividad; sin embargo, se desconocen las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los abonos orgánicos (AO) que incorporan.

La aplicación de los AO al suelo se considera una práctica agrícola sustentable, porque contribuye a mantenerlos sanos y fértiles (Scotti y col., 2015; Vilkién y col., 2016; Bonanomi y col., 2020) debido a que son fuente de nutrimentos, principalmente N, P, K, calcio (Ca) y magnesio (Mg), y porque mejoran las características físicas del suelo, como la textura, densidad aparente, formación y estabilidad de agregados, y características químicas como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), saturación de bases intercambiables, aporte de MO y nutrimentos del suelo y, en consecuencia, la productividad de los cultivos (Dikr y Belete, 2017; Cai y col., 2019).

Dentro de las cualidades que tienen los AO se considera el valor agronómico y, por lo tanto, el aporte nutrimental, microbiológico y atributos como el grado de madurez y/o toxicidad (Pérez y col., 2008). De manera que la caracterización de los AO es relevante porque aporta información sobre diferentes procesos edáficos físicos, químicos y biológicos, que se suscitan cuando estos se incorporan al suelo. Un AO rico en material recalcitrante, como lignina, puede ocasionar un mayor secuestro de carbono (C) respecto de abonos con compuestos más lábiles, como proteínas y materiales solubles en agua (Kumar y Goh, 1999); abonos con una relación carbono/nitrógeno (C/N) superior a 30 contribuyen a una inmovilización de N para el cultivo (Kumar y Goh, 1999; Marzi y col., 2019); una composta poco madura puede afectar la germinación de las semillas y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Diacono y Montemurro, 2010; Tooba y col., 2014); asimismo, la aplicación de compostas que involucran estiércoles de animales como ovino, bovino, porcino, equino y gallinaza, que no alcanzaron las temperaturas adecuadas o cuyo proceso de elaboración fue corto, pueden provocar pérdida de nutrientes, como N en forma de NH_3 o NO_3 , o por otra parte, la introducción de organismos patógenos como *Escherichia coli* o *Salmonella* spp. (Maffei y col., 2016). Además de las características de los AO, la cantidad y la frecuencia de aplicación, así como, el material de origen y su proceso de obtención (Félix-Herrán y col., 2008) tienen un papel importante. Pérez y col. (2008) examinaron diferentes AO y encontraron diversidad en pH, CE, MO, carbono orgánico (CO) y N total, así como en la cantidad de hongos y levaduras, atribuibles a la cantidad y utilización diferencial del material de origen. Pérez y col. (2010) reportaron que las compostas de pollinaza tienen un alto aporte nutrimental, pero también pérdidas importantes de N por volatilización. Bashir y col. (2016), al analizar abonos como compostas de residuos sólidos municipales y estiércoles de aves, para conocer el impacto sobre los agregados del suelo y la estabilidad, detectaron una mejora en la formación de los macroagregados del suelo, después de 2 años de

aplicación. Torres y col. (2016) caracterizaron AO y estimaron grandes riesgos de salinización cuando se emplean en zonas áridas, adjudicados a que el material para su elaboración tenía altas concentraciones de sodio.

De acuerdo con lo anterior, contribuir al conocimiento sobre las características de los AO permitirá proponer su uso adecuado y sugerir estrategias en sus procesos de obtención, para lograr la conservación y mantenimiento de suelos sanos como los destinados a cultivos florícolas.

Los AO del tipo composta designados a suelos florícolas son productos orgánicos obtenidos por un proceso biológico oxidativo, donde intervienen microorganismos para degradar los residuos orgánicos en un periodo promedio de 90 d; en vermicomposta, además de microorganismos intervienen en el proceso de degradación lombrices, y el tiempo de obtención es de 90 d - 210 d; y en bocashi, se utilizan materiales diferentes que en la composta, como levadura, pulque o microorganismos del suelo para acelerar el proceso, que en promedio es de 40 d, y determinar los posibles efectos de su uso.

El objetivo de la presente investigación fue examinar abonos orgánicos destinados a suelos florícolas y determinar los posibles efectos de su uso.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de las muestras se llevó a cabo en 10 sistemas productivos del municipio de Villa Guerrero, en el Estado de México, los cuales fueron elegidos por la facilidad de acceso y disposición a colaborar. Se ubicaron en las coordenadas geográficas comprendidas entre los paralelos 18°56'17.1" N y 18°59'40.7" N y los meridianos 99°39'00.3" W y 099°39'46.1" W e intervalo altitudinal de 2 044 msnm a 2 233 msnm.

La información recabada incluyó el tipo de AO catalogado por el productor, materia prima para su elaboración, tiempo de obtención, cultivo, destino y dosis de aplicación. En todos los ca-

sos se trató de material listo para ser utilizado. La toma de muestras se realizó en cinco puntos de la pila del AO, para obtener finalmente una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg, de acuerdo a la Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-020.AMBT-2011), la cual se identificó y se guardó en bolsas tipo "ziploc" para su análisis en el Laboratorio de Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, en el Estado de México, México. Se secó en sombra, a temperatura ambiente promedio de 25 °C durante 3 d, para posteriormente tamizar (2 mm) con base a la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008). Las determinaciones para caracterizar los AO se realizaron por triplicado, el pH y la CE se midieron en una relación abono: agua (1:5 p/v) con potenciómetro (Orion Star modelo A211, Iowa, USA). Para la cuantificación de nitratos (NO₃) se utilizó una relación 1:5 (p/v) en una disolución de CaCl₂ 0.01M. La mezcla se agitó por 30 min en una placa magnética (Thermo-Scientific CIMAREC, Iowa, USA), enseguida se filtró usando papel Whatman No. 1 y en la solución filtrada se determinó el contenido de nitratos con tiras Aqua-Check (HACH®, USA).

Para el contenido de MO se especificó primero el porcentaje de cenizas a partir de la calcinación de la muestra en una mufla (FELISA, Jalisco, México) a 550 °C durante 2 h. El porcentaje de CO se obtuvo al dividir el porcentaje de MO entre 1.724; ambos procedimientos se hicieron como lo indica la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. La relación C/N se calculó al dividir el CO entre el contenido de N orgánico total.

Para la cuantificación de P y K, la muestra se sometió primero en disolución de Mehlich (agua, acetato de amonio, ácido nítrico, ácido etilendiaminotetraacético y fluoruro de amonio). La determinación de P consistió en tomar 1 mL del extracto y agregar 22 mL de agua, más 1 mL de molibdato de amonio, y luego se cuantificó mediante un espectrofotómetro (Genesys 10s Vis Termo Scientific, USA). En el caso del K, se usaron 0.10 mL de la disolución extractora y se agregaron 10 mL de agua destilada, para lue-

go medir mediante absorción atómica (Analyst 206 Perkin Elmer, USA). El N total se precisó por el método Kjeldahl, la muestra se sometió a una digestión ácida, para conseguir N amoniacal, posteriormente este fue liberado mediante una destilación con NaOH, y finalmente se cuantificó por un análisis volumétrico de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC, por sus siglas en inglés: Association of Official Agricultural Chemists) (AOAC, 1990).

Se realizaron pruebas de fitotoxicidad mediante la germinación de semillas de rábano (*Rapahnus sativus* L.) y maíz (*Zea mays* L.) (Haq y col., 2014). Para ello se obtuvieron extractos con agua destilada al 5 % de cada uno de los 10 AO recolectados, con base en el método propuesto por Zucconi y Bertoldi (1987). El extracto obtenido se filtró en papel Whatman No. 1 y se guardó en vasos de plástico ámbar de 200 mL a temperatura ambiente. En cajas Petri (90 mm de diámetro) se colocó papel filtro y encima 10 semillas de cada especie, enseguida se aplicaron 10 mL de cada extracto. Por tipo de AO se tuvieron 3 réplicas para cada especie vegetal, bajo un diseño completamente aleatorizado, con un tratamiento control, donde no se utilizó extracto de AO, únicamente agua destilada. Las semillas se mantuvieron a temperatura ambiente promedio de 25 °C. El índice germinativo (IG) se cuantificó después de 48 h al dividir el número de semillas germinadas en cada AO, entre el número de semillas germinadas en el control (Huerta y col., 2010).

La actividad microbiana se estimó mediante la liberación de C en forma de C-CO₂, que se genera como resultado de la descomposición de la MO por parte de los mismos microorganismos, para ello se mezclaron 100 g de suelo con 2 g de 3 diferentes AO: bocashi (B1 y B2), composta (C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7) y lombricomposta (LC). Las mezclas se mantuvieron en frascos herméticos de vidrio con capacidad de 1 L, a una humedad edáfica de 55 % de espacio poroso lleno de agua y a una temperatura de 26 °C ± 1 °C en una estufa (ELVEC modelo 954-2, México D. F., México) bajo un diseño completamente al azar. El C-CO₂ retenido en

una solución de NaOH se determinó por titulación mediante una disolución de HCl 0.05 M (García y col., 2003). Las mediciones se realizaron diariamente durante 35 d. El suelo que se utilizó se obtuvo de un sistema productivo de rosa (*Rosa hybrida*) de la misma zona, con una textura franco arenosa, con 66 %, 28 % y 6 % de arena, limo y arcilla, respectivamente, un pH de 6.6, MO de 2.11 %, contenido de P de 145 ppm, K de 1 200 ppm, Ca de 2 500 ppm y Mg de 1 600 ppm.

En la caracterización de los AO se obtuvo el promedio y el coeficiente de variación para cada una de las variables evaluadas. El IG y la respiración microbiana se evaluaron bajo un diseño completo al azar con tres repeticiones. Se especificó la homogeneidad de varianza entre tratamientos y la distribución normal de las observaciones de cada tratamiento (prueba Shapiro Wilk, P < 0.05), posteriormente se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias de mínima diferencia significativa (MDS, P < 0.05). Para cuantificar las tasas de respiración microbiana se utilizó una regresión lineal. Los datos se examinaron con el paquete estadístico InfoStat Versión 2016 (Di-Rienzo y col., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tipo de AO más abundante fue la composta (70 %), aunque algunos floricultores llegan a elaborar bocashi (20 %) y, en menor cantidad, lombricomposta (10 %) (Tabla 1). La preparación de los AO se realiza a partir de los residuos, según la especie florícola que se cultive en el sistema. Estos pueden incluir residuos de rosas, helechos y crisantemos, entre otros, mezclados con estiércol, principalmente de equino y bovino, de acuerdo a la información de los productores de donde se tomaron las muestras. La dosis de aplicación de los AO varió desde 10 T/ha a 100 T/ha, según el criterio del floricultor. Estas diferencias, sumadas a las características propias de cada AO y al tiempo de obtención, que puede ser hasta de 195 d de diferencia entre uno y otro, hicieron que su impacto en los cultivos fuese diferente (Tabla 1).

■ Tabla 1. Abonos orgánicos y dosis de aplicación en suelos florícolas en Villa Guerrero, Estado de México.
 Table 1. Organic fertilizers and application rates in floricultural soils in Villa Guerrero, Estado de Mexico.

Abono orgánico	Componentes	Tiempo estimado de obtención (d)	Dosis de aplicación (T/ha)	Cultivos en donde se aplica
Bocashi (B1)	Cascarilla de arroz, estiércol equino, tierra, carbón, melaza, suero de leche y levadura.	40	22	Helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>), ruscus italiano (<i>Ruscus aculeatus</i>) hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>)
Bocashi (B2)	Cascarilla de arroz, estiércol equino, carbón, melaza, suero de leche y levadura.	40	22	Helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>), ruscus italiano (<i>Ruscus aculeatus</i>) hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>)
Composta (C1)	Desecho de helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>), estiércol equino, suero de leche, levadura y melaza.	180	22	Helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>), ruscus italiano (<i>Ruscus aculeatus</i>) hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>)
Composta (C2)	Desecho de rosal (<i>Rosa hybrida</i>), estiércol de bovino y tierra.	90	10	<i>Rosa hybrida</i>
Composta (C3)	Rastrojo de rosal, estiércol de bovino, melaza, urea y cal.	15	20	<i>Rosa hybrida</i>
Composta (C4)	Desecho de rosa (<i>Rosa hybrida</i>), estiércol de bovino, suero de leche y melaza.	60	50	<i>Rosa hybrida</i>
Composta (C5)	Desecho de rosa (<i>Rosa hybrida</i>), crisantemos, gerbera, estiércol de bovino y tierra.	90	10	<i>Rosa hybrida</i>
Composta (C6)	Desechos de gerbera (<i>Gerbera jamesonii</i>), crisantemo (<i>Dendrathera morifoliumm</i>), hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>), helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>) y rosa (<i>Rosa hybrida</i>), estiércol de bovino y melaza.	210	100	Crisantemo (<i>Dendrathera morifoliumm</i>), rosa (<i>Rosa hybrida</i>), gerbera (<i>Gerbera jamesonii</i>), hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>) y helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>)

Continúa...

Composta (C7)	Residuos de rosal (<i>Rosa hybrida</i>), gallinaza y melaza.	60	30	Hortalizas, flores (<i>Rosa hybrida</i>)
Lombricomposta (LC)	Estiércol equino, composta de desechos de mercado (frutas y verduras).	150	20	Helecho de cuero (<i>Rumohra adiantiformis</i>), ruscus italiano (<i>Ruscus aculeatus</i>), hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i>)

En el caso de la C3, aunque el proceso de compostaje es corto como un bocashi, e incompleto, los floricultores lo llegan a utilizar así. Se denominó como compostaje, porque no se agregaron materiales que se utilizan para el bocashi (cascarilla de arroz, levadura, pulque cenizas, entre otros). En el caso de la C4 y C7, se consideraron compostas porque aunque intentan acelerar el proceso fermentativo con suero de leche y melaza o gallinaza y melaza, no incorporan productos que caracteriza a un bocashi (cascarilla de arroz, cenizas o carbón vegetal, entre otros).

Los pH de los AO presentaron un valor promedio de 8.23 y un coeficiente de variación de 87 % (Tabla 2). Esta variación tan grande se atribuye a que se elaboran con diferentes materiales de origen y, sobre todo, porque los tiempos de obtención y almacenamiento los establece el floricultor. Los valores de pH registrados (7 a 8.5) en los AO indicaron que pasaron por un proceso de degradabilidad aerobia probablemente insuficiente, ya que idealmente, el pH esperado después de un proceso de compostaje debe ser de neutro a ligeramente básico, por lo que es posible que los procesos para la elaboración de AO para este estudio estén relativamente incompletos, probablemente porque la etapa de enfriamiento final, donde se reinicia la actividad microbiana mesofílica (Jiang y col., 2015; Montalvo y col., 2018), no se presenta o es muy corta. La utilización de los AO caracterizados no representa un problema a mediano plazo, ya que el pH que predomina en los suelos de la zona de estudio, del tipo andosol, es ácido, con valores de pH de alrededor de 6, como lo re-

portan Guadarrama-Nonato y col. (2018); Yáñez-Ocampo y col. (2020). En el caso de LC, el valor de pH fue 7, por lo que es ideal su utilización. En su mayoría, los AO presentaron valores dentro de lo permitido por la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008) (5.5 a 8.5).

Los valores de CE se detectaron en un intervalo de 0.15 dS/m a 7 dS/m, es decir, presentaron una variabilidad muy alta, lo que explica la elevada desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV) (Tabla 2), atribuibles al material de origen y al proceso de obtención del AO. En el primer caso, la fuente de N que emplea cada floricultor para elaborarlo es un tipo de estiércol (ovino, equino o gallinaza) que a su vez está influenciado por la clase de alimentación, la edad del animal y la cantidad que se utiliza (Torres y col., 2016). En cuanto a la variabilidad vinculada a la obtención del AO, depende de la cantidad a usar y del tiempo de compostaje, ya que, por ejemplo, valores de CE altos dependen del tiempo de formación y precipitación de sales, como son iones amonio y carbonatos (Montalvo y col., 2018). De igual forma, el proceso de mineralización de la MO implica la liberación de sales como cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} y aniones como HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} , los cuales pueden conformar el 98 % del total de las sales solubles que están presentes en un AO (Huerta y col., 2010). La CE tiene gran importancia cuando se aplican al terreno, ya que está relacionada con cantidad excesiva de sales en el suelo y, en consecuencia, puede limitar procesos fisiológicos, principalmente vinculados a la absorción de agua y nutrimentos, alteración en la tasa fotosintética, la transpiración y, por

■ Tabla 2. Valores promedio de pH, conductividad eléctrica (CE), nitratos (NO_3), materia orgánica (MO) y relación carbono/nitrógeno (C/N) en abonos orgánicos aplicados a suelos florícolas de Villa Guerrero, Estado de México.

Table 2. Averages values of pH, electrical conductivity (EC), nitrates (NO_3), organic matter (OM) and carbon/nitrogen ratio (C/N) in organic fertilizers applied to floricultural soils of Villa Guerrero, Estado de Mexico.

Abono orgánico	pH	CE (dS/m)	NO_3 (mg/kg)	MO (%)	C/N
B1	8.38 ± 0.03	0.20 ± 0.01	1.0 ± 0	28.90 ± 0.67	29.19 ± 1.2
B2	9.60 ± 0.02	0.48 ± 0.01	2.5 ± 0	70.34 ± 0.53	69.74 ± 3.1
C1	7.34 ± 0.11	0.49 ± 0.01	75 ± 0	80.08 ± 2.14	93.89 ± 10.1
C2	9.28 ± 0.02	1.25 ± 0.20	100 ± 0	62.24 ± 1.73	16.26 ± 0.8
C3	7.79 ± 0.06	6.70 ± 0.38	250 ± 0	75.20 ± 1.31	13.73 ± 0.4
C4	8.82 ± 0.02	3.80 ± 1.10	250 ± 0	58.33 ± 0.75	39.24 ± 0.4
C5	7.58 ± 0.05	0.15 ± 0.02	15 ± 0	28.80 ± 5.85	11.11 ± 0.6
C6	8.36 ± 0.02	4.18 ± 0.20	250 ± 0	31.79 ± 0.95	28.87 ± 0.7
C7	8.49 ± 0.09	2.48 ± 0.40	83 ± 0	48.37 ± 11.6	31.76 ± 9.3
LC	7.17 ± 0.03	0.75 ± 0.04	100 ± 0	33.94 ± 1.12	19.71 ± 0.3
Promedio	8.23	1.9	1.19	51.8	35
DS	0.81	2.20	101.84	48.37	31.76
CV (%)	87	> 100	71	20	73

B = bocashi, C = composta y LC = lombricomposta.

ello, afectar el desarrollo y crecimiento de la planta (Leogrande y Vitti, 2018). De igual forma, en el curso de germinación la CE impacta, porque valores altos pueden causar daños físicos, como quemaduras en plántulas, o impedir directamente el desarrollo de la radícula (Kebrom y col., 2019).

Aunque mayoritariamente los AO analizados no suponen un riesgo por efecto de una posible acumulación de sales, hubo 4 AO que registraron valores de CE por arriba de 2.13 dS/m (Tabla 2), que según Torres y col. (2016) constituyen un riesgo potencial de salinización del suelo a largo plazo, sin embargo, de acuerdo a la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008), la mayoría de los AO presentan una CE permitida (4 dS/m).

Como resultado de la heterogeneidad en la materia prima que utilizan los floricultores para la elaboración de los AO, conjuntamente con el tiempo que dura el proceso, que incluye periodos de 15 d a 210 d (Tabla 1), los porcentajes de MO variaron de 28 % a 80 % (Tabla 2), con un coeficiente de variación relati-

vamente bajo (20 %). En este sentido, el porcentaje de MO presente en cualquiera de los AO resulta benéfica, ya que en los suelos florícolas de la zona, su contenido se halla dentro de una clasificación agronómica mediana (Guadarrama-Nonato y col., 2018; Yáñez-Ocampo y col., 2020). Sin embargo, lo ideal es que en los AO la MO sea mayor al 40 % pero menor al 60 %, de no ser así, significa que el proceso de compostaje puede estar incompleto, debido a que la MO no está siendo degradada, pero no necesariamente indica que el resto de sus atributos del AO no permitan su utilización para los cultivos. Cuando el tiempo de elaboración es de 90 d o superior, como se observa en cinco de los abonos caracterizados (C1, C2, C5, C6, y LC), se considera que la MO que se obtiene es estable, porque se ha dado el tiempo suficiente para que se mineralice (Vaca y col., 2006); contrariamente, procesos de elaboración de poco tiempo, como sería el C3, hecho con rastrojo de rosas, generan MO lábil, con una degradabilidad incompleta. La Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008) fija la cantidad ideal de aporte de MO de 20 % a 50 %, intervalo que abarcan el 60 % de los AO caracteriza-

dos en este trabajo. El exceso de MO presente en algunos de los abonos orgánicos es indicativo de un proceso fermentativo incompleto, ya que normalmente gran parte del CO se pierde en forma de CO₂. Por otra parte, los AO con exceso de MO como B2 y C1 se asocian a relaciones C/N también muy altas, lo que implica que cuando se incorporan al suelo puede haber una inmovilización del N por parte de los microorganismos y hasta después de cierto tiempo alcanzar el equilibrio en el sistema edáfico.

La relación C/N en promedio fue de 35 (Tabla 2). Los AO que presentan más de 20 pueden tener un efecto negativo, debido a la inmovilización de N por los microorganismos como bacterias y hongos, además, es indicativo de que son ricos todavía en elemento vegetal difícil de degradar (Montalvo y col., 2018), como podría ser la parte leñosa de la rosa, que queda como componente principal en el producto final y que estaría conformado básicamente por material lignocelulósico. A su vez, la relación C/N dependerá mucho también de la dinámica de N, como la pérdida de N-NH₃, la formación de N-NO₃ y el comportamiento de N-HH₄ a lo largo del proceso de compostaje (Montalvo y col., 2018). Con base en

la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008), únicamente 4 de los AO tienen un valor de C/N adecuado (< 20), que corresponde a las compostas C2 y C5 y la LC. Los bocashi y las compostas obtenidas en tiempos cortos (C3) e intermedios (C4 y C7) presentaron valores altos de C/N, indicativo de que los procesos fermentativos pueden estar incompletos. Las compostas tuvieron un alto contenido de nitratos (NO₃) con una diferencia de más de 100 unidades respecto de los bocashi, esto se atribuye a las diferencias del proceso. Como lo menciona Cáceres y col. (2017) en las compostas aún en estado de maduración, los microorganismos mesófilos siguen trabajando, ocasionando la formación de NO₃, además, factores como la humedad y oxigenación también pueden intervenir, una humedad adecuada favorece la entrada de oxígeno y la formación de NO₃, situación que el floricultor controla conforme a su experiencia.

En cuanto al aporte de N, K y P (Tabla 3), el contenido de N promedio fue similar al de otros AO, pero el P y el K es menor al reportado por Álvarez-Sánchez y col. (2006); Angelova y col. (2013); Ávalos y col. (2018). Conforme a la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008), el N debe estar entre 1 % y 4 %, y el promedio obte-

■ **Tabla 3. Valores promedio de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en abonos orgánicos aplicados a suelos florícolas de Villa Guerrero, Estado de México.**

Table 3. Average values of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in organic fertilizers applied to floricultural soils of Villa Guerrero, Estado de Mexico.

Abono orgánico	N (%)	P	K
		(mg/kg)	
B1	0.57 ± 0.02	88.86 ± 0.49	1 000 ± 0.36
B2	0.59 ± 0.02	135.77 ± 0.40	1 000 ± 0.45
C1	0.50 ± 0.06	98.27 ± 0.00	600 ± 0.32
C2	2.22 ± 0.05	177.42 ± 0.33	3 200 ± 0.76
C3	3.18 ± 0.05	343.98 ± 0.53	4 400 ± 0.32
C4	0.86 ± 0.05	194.12 ± 0.62	3 200 ± 0.52
C5	1.51 ± 0.05	182.29 ± 2.63	200 ± 0.18
C6	0.64 ± 0.00	186.96 ± 0.73	3 000 ± 0.22
C7	0.89 ± 0.07	334.41 ± 4.96	800 ± 0.53
LC	1.00 ± 0.05	192.00 ± 1.17	400 ± 0.31
Promedio	1.19	193.41	1 789
DS	0.87	85.81	258.19
CV (%)	71	44	84

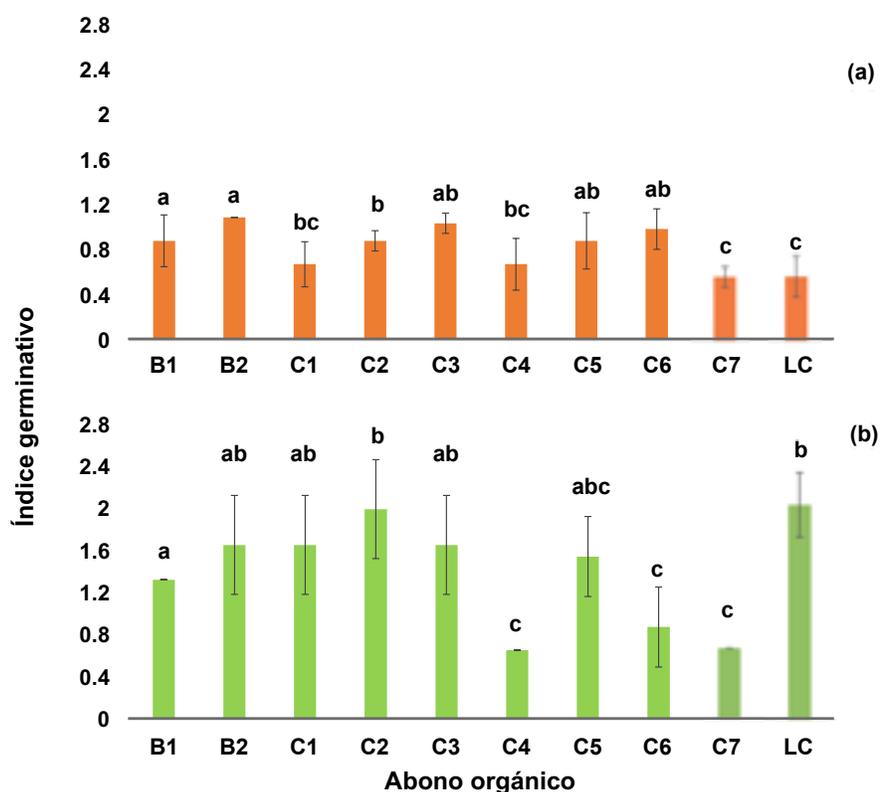
N = 3 ± DS (desviación estándar), B = bocashi, C = composta y LC = lombricomposta.

nido en este estudio se ubica en ese intervalo, de manera que la aplicación de este tipo de AO es benéfica para cualquier cultivo florícola.

Respecto a las pruebas de fitotoxicidad en la germinación de las semillas de rábano, el IG indicó que hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$); únicamente el B2 y la C3 tuvieron mayor germinación de semillas que el control (Figura 1a). Estos resultados muestran que el 80 % de los lixiviados no tienen un efecto provechoso en la germinación de semillas de rábano. El IG en semillas de maíz también difirió significativamente ($P < 0.05$), pero, en contraste, en las semillas de rábano el IG fue en el 70 % de los AO > 1 (Figura 1b), lo que denota que la aplicación de lixiviados favoreció la germinación. Los resultados del IG en el caso de maíz coin-

ciden con lo encontrado por Arancon y col. (2012), quienes reportan una germinación mayor cuando se utilizan extractos de composta respecto del testigo (agua destilada), atribuido a que en el extracto o lixiviado encuentran ácidos húmicos, fitohormonas o metabolitos secundarios que se considera que promueven la germinación. En este estudio se observó que las semillas de maíz fueron estimuladas en su germinación (Figura 1b), lo cual también se logró en semillas de *Vigna unguiculata* (Arunbabu y col., 2017) y de trigo (Ameen, 2020).

La actividad microbiana, evaluada a partir de la liberación de $C-CO_2$, indicó una mayor cantidad acumulada al mezclar suelo con C3, y fue diferente significativamente respecto de B1, LC y del suelo control ($P < 0.05$) (Tabla 4). Este tipo de composta tiene una relación C/N baja



■ Figura 1. Comparación de medias (Mínima diferencia significativa, MDS, $\alpha = 0.05$) del índice germinativo en rábano (*Rapahanus sativus*) (a) y maíz (*Zea mays*) (b), a 5 % de concentración de lixiviados obtenidos de abonos orgánicos. B = bocashi, C = composta y LC = lombricomposta.

Figure 1. Comparison of means (Least significant difference, LSD, $\alpha = 0.05$) of the germination index in radish (*Rapahanus sativus*) (a) and corn (*Zea mays*) (b), at 5 % concentrations of leachates obtained from organic fertilizers. B = bocashi, C = compost and LC = vermicompost.

■ **Tabla 4.** C-CO₂ liberado acumulado durante 35 d en incubaciones aerobias de mezcla de suelo con tres diferentes abonos orgánicos utilizados en suelos florícolas de Villa Guerrero, Estado de México. **Table 4.** Cumulative C-CO₂ during 35 d in aerobic incubations of soil mixture with three different organic fertilizers used in floricultural soils of Villa Guerrero, Estado de Mexico.

Abono orgánico	C-CO ₂ acumulado (mg/kg suelo)	C-CO ₂ acumulado respecto del suelo (%)	Ajuste a modelo lineal (mg/kg de C-CO ₂ /d)	R ²
C3	503.45 ± 16.43 ^a	22.03	13.10 x + 86.9	0.965 0
B1	417.09 ± 36.32 ^b	1.10	10.30 x + 73.0	0.982 6
LC	460.73 ± 39.93 ^{ab}	11.67	11.62 x + 88.4	0.958 5
Suelo	412.55 ± 42.28 ^b		10.35 x + 75.08	0.962 1
MDS	66.35			

N = 3 ± DS (desviación estándar), letras diferentes indican diferencias significativas (P < 0.05), MDS = mínima diferencia significativa, B = bocashi, C = composta y LC = lombricomposta.

(13.73), lo que favorece que la MO sea accesible para los microorganismos. Por otra parte, B1 fue el AO que liberó más lentamente el C orgánico (10.30 mg/kg en 1 d). Es posible que la relación C/N alta (29.19) haya contribuido a una baja actividad microbiana. En este sentido, los resultados de este estudio contrastan con el de Agüero y Terry (2014), quienes indicaron que bocashi tiene una aportación importante de carga microbiana cuando se incorpora al suelo, por lo que se esperaría una mayor liberación de C-CO₂. El C-CO₂ liberado al aplicar C3 es indicativo de que hubo actividad microbiana. Esta composta elevó en un 22 % la liberación de C-CO₂ respecto al suelo control, lo que resultaría benéfico, porque implica la liberación de nutrimentos que, en condiciones de campo, el cultivo puede aprovechar. El análisis de regresión lineal indica que las tasas de liberación de C-CO₂ fueron más altas cuando se aplicó C3 y LC (11.6 mg/kg a 13.10 mg/kg de C-CO₂/d), mientras que la tasa de mineralización al aplicar B1 es menor y similar al suelo al que no se aplicó AO (Tabla 4). Cabe mencionar que la biomasa microbiana actúa sobre la MO del suelo (Sarmiento y col., 2019) y sobre la que se incorpora en el propio abono, en donde normalmente predominan actinomicetos que degradan MO lábil (Yáñez-Ocampo y col., 2020). El hecho de que la C3 mostró una mayor respiración microbiana es indicativo de que hay

una mayor cantidad de sustrato para ser utilizado por los microorganismos, asociado a la presencia de un material lábil (Carabassa y col., 2020), e indirectamente también indica poca cantidad de sustrato que los microorganismos pueden utilizar (Fernández y col., 2010); ambas características son importantes de considerar al momento de aplicarlos en los cultivos. De manera que la incorporación de MO al suelo promoverá la actividad microbiana, pero depende mucho de su calidad. Cada AO generará una respuesta diferente, atribuida al grado de madurez, relación C/N, MO lábil, aporte de nutrientes, entre otras características.

CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que los abonos orgánicos preparados por los floricultores y estudiados en la presente investigación, son preferentemente de tipo composta. Sus características físicas, químicas y biológicas muestran una gran variabilidad, atribuida principalmente a la heterogeneidad del material de origen y al tiempo de elaboración. Es importante señalar que en algunos casos hay necesidad de completar el proceso fermentativo para asegurar relaciones carbono/nitrógeno adecuados. La conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno y contenido de nitrógeno fueron las características que mayor diversidad mostraron. Los abonos orgánicos evaluados no presentan un riesgo

al aplicarlos a los suelos florícolas, por el contrario, aportan mínimamente 10 % de materia orgánica, lo que significa una ventaja para im-

pulsar la actividad microbiana y mantener las propiedades del suelo en este tipo de sistemas productivos.

REFERENCIAS

- Agüero, D. y Terry, E. (2014). Revisión bibliográfica. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. 35(4): 52-59.
- Álvarez-Sánchez, E., Vázquez-Alarcón, A., Castellanos, J. Z. y Cueto-Wong, J. (2006). Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *Terra Latinoamericana*. 24(2): 261-268.
- Ameen, A. (2020). Comparison of crop production efficiency of compost leachate with chemical fertilizer and evaluating its effect on germination and growth of wheat crop. *African Journal of Biotechnology*. 19(5): 282-286.
- Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S., and Ivanov, K. I. (2013). The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19(5): 958-971.
- AOAC, Association of Official Agricultural Chemists (1990). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists 923.03. Washington: AOAC. 115 Pp.
- Arancon, N. Q., Pant, A., Radovich, T., Hue, N. V., Potter, J. K., and Converse, C. E. (2012). Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (Teas). *HortScience*. 47: 1722-1728.
- Arunbabu, V., Indu, S. K., and Ramasamy, E. V. (2017). Arun Leachate pollution index as an effective tool in determining the phytotoxicity of municipal solid waste leachate. *Waste Management*. 68: 329-336.
- Ávalos, M., Figueroa, U., García, J. L., Vázquez, C., Gallegos, M. A. y Orona, I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia*. 20(10): 170-189.
- Bashir, K., Alil, S., Sohail, S., and Ahmad, I. (2016). Effect of organic amendments on distribution, stability and carbon concentration of soil aggregates. *Pakistan Journal of Agricultural Science*. 53(4): 955-961.
- Bonomi, G., De-Filippis, F., Zotti M., Idbellaa, M., Cesarano, G., Al-Rowailyc, S., and ElGawad, A. (2020). Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology*. 156: 103714.
- Cabrera, R. I., Solís-Pérez, A. R. y Gómez, G. (2017). Aplicaciones de nutrición vegetal en cultivos de flor de corte. En R. V. Flórez (Ed.), *Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel* (pp. 33-47). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Cáceres, R., Malynska, K., and Marfá, O. (2017). Nitrification within composting: A review. *Waste Management*. 72: 119-137.
- Cai, A., Xua, M., Wang, B., Zhang, W., Liang, G., Hou, E., and Luo, Y. (2019). Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility. *Soil & Tillage Research*. 189: 168-175.
- Carabassa, V., Domene, X., and Alcañiz, J. P. (2020). Soil restoration using compost-like-outputs and digestates from non-source-separated urban waste as organic amendments: Limitations and opportunities. *Journal of Environmental Management*. 255: 109909.
- Diacono, M. and Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30: 401-422.
- Dikr, W. and Belete, K. (2017). Review on the effect of organic fertilizers, biofertilizers and inorganic fertilizers (NPK) on growth and flower yield of marigold (*Tagetes erecta* L.). *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*. 5(3): 192-204.
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., and Robledo, C. W. (2016). InfoStat (versión 2016). [Software de cómputo]. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Félix-Herrán, J. A., Sañudo-Torres, R., Rojo-Martínez, G., Martínez-Ruiz, R. y Olalde-Portugal, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*. 4(1): 57-67.
- Fernández, R., Quiroga, A., Zorati, C., and Noellemeyer, E. (2010). Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil & Tillage Research*. 109(2): 103-109.
- García, C., Gil, F., Hernández, T. y Trasar, C. (2003). *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de las actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. España: Mundi-Prensa. 371 Pp.
- Guadarrama-Nonato, A., Mejía-Carranza, J. y Ramírez-Gerardo, M. G. (2018). Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa. *Acta Universitaria*. 28(32): 33-41.
- Haq, T., Ali, T., and Begun, R. (2014). Seed germination bioassay using maize seeds for phytotoxicity evaluation of di-

fferent composted materials. *Pakistan Journal of Botany*. 46(2): 539-542.

Huerta, O., López, M., and Soliva, M. (2010). *Proces de compostatge caracterizació de mostres*. Barcelona: Ed. Diputació de Barcelona. 432 Pp.

Jiang, J., Liu, X., Huang, Y., and Huang, H. (2015). Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management*. 39: 78-85.

Kebrom, T., Woldesenbet, S., Bayabil, H., Garcia, M., Gao, M., Ampim, P., ..., and Fares, A. (2019). Evaluation of phytotoxicity of three organic amendments to collard greens using the seed germination bioassay. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(6): 5454-5462.

Kumar, K. and Goh, K. M. (1999). Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*. 68: 197-318.

Leogrande, R. and Vitti, C. (2018). Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid land and Research and Management*. 33(1): 1-21.

Maffei, F., Batalha, E., Landgrafa, M., Schaffner, D. W., and Franco, B. (2016). Microbiology of organic and conventionally grown fresh produce. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47(1): 99-105.

Marzi, M., Ahbazi, K., Kharazi, N., and Rezaei, M. (2019). The influence of organic amendment source on carbon and nitrogen mineralization in different soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 20: 177-19.

Montalvo, P. A. J., Dongo, L. F. O., Maraví, J. L. C., Monzón, L. A. T., Coral, M. F. C. y Figueroa, L. V. (2018). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Revista Producción + Limpia*. 13(22): 77-88.

NADF-020.AMBT-2011 (2011). Norma ambiental para el Distrito Federal. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. [En línea]. Disponible en: http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividaddf/nadf_020_ambt_2011.pdf. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020.

NMX-FF-109-SCFI-2008 (2008). Norma mexicana humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2020.

Pérez, A., Céspedes, C. y Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. R. C. Suelo. *Nutrición Vegetal*. 8(4): 10-29.

Pérez, C. R., Pérez C. A. y Vertel, M. M. (2010). Caracterización nutricional, fisicoquímica y microbiológica de tres

abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Tumbaga*. 1(5): 27-37.

Sakin, E., Celik, A., Dogan, Z., Yalcin, H., and Seyreck, A. (2018). Comparing carbon pools and some soil quality parameters of soils in organic and conventional agriculture land. *Fresenius Environmental Bulletin*. 27(11): 7536-7544.

Sarmiento, G. J., Amézquita, M. A. y Mena, L. M. (2019). Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*. 10(1): 55-61.

Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., and Rao, M. (2015). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15(2): 333-352.

Tooba, H., Tasneem, A., and Razia, B. (2014). Seed germination bioassay using maize seeds for Phytotoxicity evaluation of different composted materials. *Pakistan Journal of Botany*. 46: 539-542.

Torres, D., Mendoza, B., Marco, L. M. y Gómez, C. (2016). Riesgos de salinización y solidificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multicencias*. 16(2): 133-142.

Vaca, R., Lugo, J. y Esteller, A. (2006). Caracterización de la materia orgánica soluble y de los ácidos húmicos en suelo acondicionado con lodo residual fresco o compostado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22(1): 27-30.

Vilkienė, M., Ambrazaitienė, D., Karčauskienė, D., and Dabkevičius, Z. (2016). Assessment of soil organic matter mineralization under various management practices. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 66(8): 641-646.

Yáñez-Ocampo, G., Sánchez-González, M. E., De-la-Portilla-López, N., Marmolejo-Santillán, Y., Del-Águila-Juárez, P., Lugo-de-la-Fuente, J. y Vaca-Paulín, R. (2020). Densidad poblacional de actinomicetos en suelos florícolas, enmendados con vermicomposta. *Terra Latinoamericana*. 38: 745-753.

Zucconi, F. and Bertoldi, M. (1987). Compost specification for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In M. de-Bertoldi, M. P. Ferranti, and F. Zucconi (Eds.), *Compost: production, quality and use* (pp. 30-50). Barking: Elsevier Applied Science Publishers.



Imagen de Rita Miranda López

Perfil de compuestos orgánicos volátiles y ácidos grasos del aguacate (*Persea americana*) y sus beneficios a la salud

Volatile organic compounds and fatty acids profile of avocado (*Persea americana*) and its health benefits

Cynthia Teresa Lara-García, Hugo Jiménez-Islas, Rita Miranda-López*

RESUMEN

La caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos a partir de su contenido de ácidos grasos y compuestos orgánicos volátiles (COV) permiten determinar su utilidad potencial. Se han realizado pocos estudios recientes relacionados con los COV encontrados en el aguacate, los cuales pueden variar dependiendo del lugar de origen, genética y fenotipos. El objetivo del presente trabajo fue presentar el estado del arte de la fitoquímica del aguacate criollo comparado con variedades comerciales. Se encontró que los COV le confieren un perfil de aroma que identifica a diversas variedades y que los ácidos grasos son responsables de la síntesis de algunos COV. En la hoja de aguacate criollo se identificaron 26 COV, siendo 8 monoterpenoides, 7 sesquiterpenos, 6 fenilpropanoides, 1 acetato y 4 alcanos; estos COV no se han encontrado en las variedades comerciales. Por otro lado, la variedad *Drymifolia* se caracteriza por su contenido fenólico, diversos ácidos grasos y acetogeninas. Dichos componentes químicos también se han asociado con diversos beneficios a la salud, como actividad anticancerígena en colon, próstata y células K562, actividad antiinflamatoria y antioxidante. Ello ha propiciado el interés de fomentar su uso como ingrediente, aditivo o fitofármaco en la industria alimentaria o biotecnológica.

PALABRAS CLAVE: *Persea americana*, compuestos volátiles, ácidos grasos, bioactividad.

ABSTRACT

The characterization and evaluation of phytochemical resources, based on their content of fatty acids and in volatile organic compounds (VOC) allow to determine their potential usefulness. There have been few recent studies related to the VOC found in avocado, which can vary depending on the place of origin, genetics and phenotypes. These compounds have been associated to healthy benefits effects. The objective of the present work was to present the current literature review of the phytochemistry of creole avocado compared to commercial varieties. VOC were found to confer an aroma profile that identifies various varieties, and that fatty acids are responsible for the synthesis of some VOC. In the creole avocado leaf, 26 VOC were identified, being 8 monoterpenoids, 7 sesquiterpenes, 6 phenylpropanoids and 4 alkane; these VOC have not been found in the commercial varieties. On the other hand, the *Drymifolia* variety is characterized by its phenolic content, various fatty acids and acetogenins. These chemical components have also been associated with various health benefits such as anticancer activity in colon, prostate and K562 cells, anti-inflammatory and antioxidant activity. This has led to the interest in promoting its use as an ingredient, additive or phytopharmaceutical in the food or biotechnology industry.

KEYWORDS: *Persea americana*, volatile compounds, fatty acids, bioactivity.

*Correspondencia: rita.miranda@itcelaya.edu.mx/ Fecha de recepción: 18 de noviembre de 2020/ Fecha de aceptación: 31 de marzo de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

Tecnológico Nacional de México Celaya, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Antonio García Cubas Pte. núm. 600, esq. Avenida Tecnológico, col. Alfredo V. Bonfil, Celaya, Guanajuato, México, C. P. 38010.

INTRODUCCIÓN

El aguacate es originario de las partes altas de Guatemala y las zonas montañosas del centro y este de México. Actualmente se diferencian las razas guatemaltecas (*Persea americana* var. *Guatemalensis*), mexicana (*P. americana* var. *Drymifolia*) y antillana (*P. americana* var. *americana*). La mayoría de las variedades en el mercado son Bacon, Hass, Fuerte y Gwen, siendo la Hass la de mayor comercialización (Turner y Miksicek, 1984; Acosta y col., 2012; Melgar y col., 2018).

México es el centro de origen y distribución del aguacate y cuenta con gran variedad de “criollos”, los cuales se han diversificado a través del tiempo. La caracterización y evaluación de dichos recursos fitogenéticos permiten establecer su utilidad potencial. Los aguacates de la variedad mexicana *Drymifolia* son frutos con formas elipsoides, ovoides, piriformes, oblongos o romboidales (Acosta y col., 2013). Estos aguacates nativos se cultivan naturalmente en jardines de traspatio y tierras agrícolas. Se han realizado estudios donde se identifican de manera morfológica, midiendo los diámetros ecuatorial y polar, tanto de la fruta como de la semilla; además del peso de la fruta completa, semilla, pulpa y cáscara. Se han registrado genotipos de buena calidad, para preservarlos y posteriormente usarlos como portainjerto, debido al pericarpio delgado del aguacate criollo, que lo hace susceptible al daño postcosecha (mecánico y fisiológico), lo que causa que solamente se consumen de manera regional, a diferencia de la variedad ‘Hass’, que posee una piel mediana gruesa, con textura rugosa (Figura 1), y que es altamente demandada; un consumidor reconocido de esta variedad es Estados Unidos, que la importa, principalmente de México, país del cual absorbe el 87 % de la producción (Salazar-García, 2016; Damián-Nava y col., 2017; Espinosa-Alonso y col., 2017; Cho y col., 2021).

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son sustancias químicas producidas por las frutas y verduras que contribuyen a su sabor y aroma. El tipo y concentración de COV dependen

de la especie y la variedad y cambian conforme la fase de maduración, el estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas, lo que vuelve muy complejo dilucidar su biosíntesis y por lo tanto, el cómo dichos compuestos influyen en la decisión del consumo de los frutos. Se han utilizado como biomarcadores para el diagnóstico y manejo de la calidad postcosecha (Mahendran y col., 2018; Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021; Guo y col., 2020).

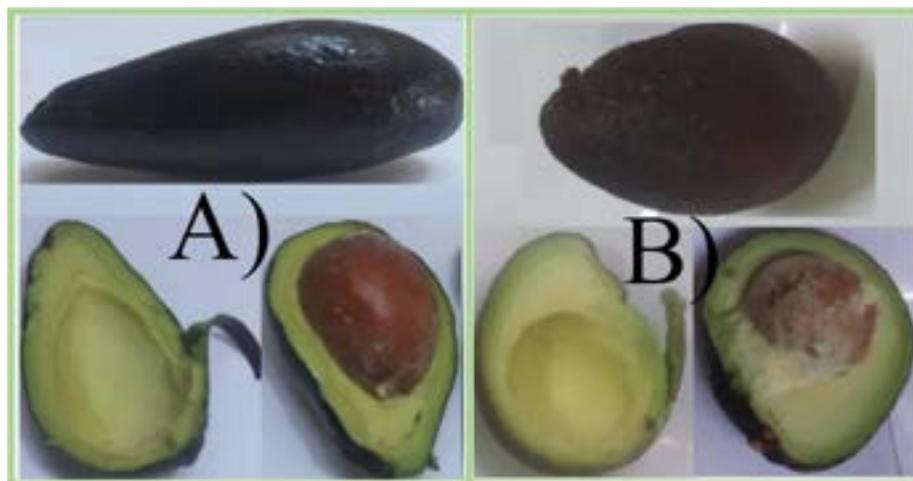
El aguacate es rico en compuestos bioactivos que tienen diversos beneficios para la salud. Es reconocido como una fuente particularmente rica de compuestos fitoquímicos lipofílicos como ácidos grasos monoinsaturados, tocoferoles, carotenos, esteroides y acetogeninas (Rodríguez-Sánchez y col., 2013). Su consumo se asocia a una mejor calidad de dieta, ingesta de nutrientes y menor riesgo de síndrome metabólico, destacando por su actividad antimicrobiana, antioxidante y anticancerígena, entre otras (Araújo y col., 2018; Edwards y col., 2020). También se ha reportado la presencia de ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, monoterpenos y sesquiterpenos (Poll y col., 2006; Dávila-Aviña y col., 2011; Canto y col., 2013; Tiwari y col., 2020).

El objetivo del presente trabajo fue presentar el estado del arte actual de la fitoquímica del aguacate criollo comparado con variedades comerciales.

Compuestos orgánicos volátiles

Los COV se asocian con el sabor característico de una amplia variedad de frutas. Su producción se deriva principalmente de ácidos grasos modulada por etileno (García-Rojas y col., 2016). En aguacate ‘Hass’ se ha detectado la presencia de hexanal y E-2 hexanal, asociados con el aroma herbal del fruto y con una tendencia a disminuir su concentración durante su maduración (García-Rojas y col., 2016).

Los aldehídos predominaron entre los COV presentes en 14 genotipos de aguacate, debido probablemente a que estos compuestos se generan a partir de la degradación de los lípidos, los



■ **Figura 1. A) Aguacate criollo, B) Aguacate Hass.**
Figure 1. A) Creole avocado, B) Hass avocado.

cuales abundan en dicha fruta. Entre las características de estos compuestos identificados destacan las siguientes: el acetaldehído es un aldehído de cadena corta, muy volátil y se caracteriza por un aroma a fruta fresca, el hexanal y E-2-hexenal presentan un aroma a hierba con un umbral característico, el limoneno aporta una nota aromática fresca cítrica, el α -cubebeno tiene aromas frutales parecido a los cítricos, mientras que el α -copaeno y el β -cariofileno poseen notas especiadas y amaderadas (Ali y col., 2020).

La concentración de COV responsables de aroma y sabor dependió de la composición atmosférica usada durante el almacenamiento controlado de la variedad Fuerte. Los compuestos identificados fueron, alcoholes, aldehídos, ésteres e hidrocarburos. Los autores infieren que el sabor del aguacate, que es generalmente descrito como fresco y herbáceo, se debe a la presencia de alcoholes y aldehídos (Mahendran y col., 2018).

Los COV además de ser responsables del aroma y sabor, pueden ayudar para la clasificación de diversas variedades de aguacate criollo. Debido a que el taxón de estos productos es muy variable, resulta importante tipificar a los árboles de aguacate como fuente de genes de resistencia contra plagas y enfermedades. También es una herramienta útil para diferen-

ciar los fenotipos químicos prominentes en variedades comerciales. Los compuestos que imperaron en *P. americana* var. *Drymifolia* fueron estragol y cariofileno (22 % a 72 % y de 9 % a 16 %, respectivamente) (Torres-Gurrola y col., 2009). Otra investigación de aguacates en Florida, Estados Unidos comparó 3 variedades con el perfil de COV, los cuales diferían entre los tres cultivares con varios compuestos detectados en un solo cultivar. El híbrido Simmonds difirió por el contenido de 3-metil-buten-1-ol, cis-3-hexen-1-ol, cis- β -ocimeno, hexilo butirato, δ -elemeno y transnerolidol. El híbrido Booth 7 se caracterizó por su contenido de 2-metil-1-butanol, 2-metil-butenal, crotonato de etilo, isovalerato de etilo, tiglato de etilo, cis- α -bisabolenol y selineno; finalmente, el híbrido Monroe se distinguió por el contenido de butirato de metilo, valenciano e ilángeno (Canto y col., 2013).

Campuzano-Granados y Cruz-López (2021) identificaron y compararon los COV florales presentes en el aguacate 'Hass' y el de raza antillana. Se identificaron 35 compuestos volátiles, caracterizándose por poseer en su mayoría monoterpenos y sesquiterpenos; el linalool fue el compuesto más abundante en la raza antillana, mientras que en Hass fue el (E)- β -ocimeno. Lo anterior condujo a clasificar de manera taxonómica las razas de aguacate analizadas gracias a las diferencias en el perfil de COV florales.

La Tabla 1 muestra los COV que se han encontrado en diferentes partes del aguacate (flor, mesocarpio y hoja), de plantas que provienen de diversos lugares de origen y, por lo tanto, con distintas características cada una.

En 10 años se han realizado únicamente 5 estudios de COV presentes en el aguacate, donde la pulpa, flor y hoja son los materiales analizados. En pulpa existen 2 estudios de ‘Hass’ y 1 de Fuerte, ninguno de ellos hecho en México. De los 2 estudios realizados en México, en 1 se analizó el perfil de COV en hojas para seleccionar árboles de *P. americana* var. *Drymifolia*, como fuente de genes de resistencia a plagas y enfermedades, ya que previamente se había demostrado, en el caso de los pinos con mayor concentración de β -pineno, que son menos atacados que los que tienen menor cantidad del compuesto. Por ello, se considera que el fenotípico químico puede ayudar a determinar la susceptibilidad a plagas. Esto se observó en el aguacate criollo-*Trioza*, en el que, los árboles con más concentración de estragol presentaron menos agallas foliares. En

otro ángulo, en la investigación de COV florales, realizada también entre las variedades ‘Hass’ y raza antillana, muestra el ejemplo analizado en el barrenador del hueso *Conotrachelus perseae*, el cual ha sido reportado únicamente en el cultivo de ‘Hass’ en la región de Comitán, Chiapas; mientras que el barrenador del hueso *Stenoma catenifer* se ha encontrado en cultivos de la raza antillana en la región del Soconusco, Chiapas. Lo anterior se relaciona a los COV florales, ya que estos envían a los insectos fitófagos y polinizadores señales químicas que les permiten localizar fuentes de alimento, hábitats y sitios de oviposición; estas señales varían dependiendo de la especie, variedad, estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas (Torres-Gurrola y col., 2009; García-Rojas y col., 2016; Flores-Álvarez y col., 2018; Ali y col., 2020; Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021).

El perfil de COV en la variedad *Drymifolia* mostró la presencia de 28 compuestos que no se encuentran reportados en las variedades extranjeras (Torres-Gurrola y col., 2009). En tanto que en el análisis realizado en la flor de la variedad

■ **Tabla 1. Compuestos orgánicos volátiles de *Persea americana*.**

Table 1. Volatile organic compounds from *Persea americana*.

Fuente	Origen	Compuesto	Concentración	Aroma	Referencia
Pulpa	Chile (Hass)	Hexanal	1 100 pmol/kg	Hierba	García-Rojas y col. (2016)
		E-2-Hexenal	130 pmol/kg	Hierba	
Pulpa	E.U.A (Hass)	Acetaldehído	1 824.25 μ m/kg	Fruta fresca	Ali y col. (2020)
		Hexanal	695.16 μ m/kg	Hierba	
		E-2-Hexenal	1 381.58 μ m/kg	Hierba	
		Limoneno	7.50 μ m/kg	Cítrico	
Pulpa	Reino Unido (Fuerte)	Acetaldehído	3.47 %	Fragante, floral	Mahendran y col. (2018)
		Etanol	7.10 %	Herbáceo, afrutado	
		2-Propanol	0.19 %	Amargo	
		Acetona	0.22 %	A levadura, afrutado	
		Acetato de metilo	1.92 %	Olor etéreo	
		2-Metil propanal	1.24 %	Floral	
		2-Metil pentano	0.27 %	-	
		3-Metil pentano	0.79 %	Dulce	
	n-Propanol	0.54 %	Sabor amargo		

Continúa...

	Diacetal	0.19 %	Mantecoso
	Butanal	0.89 %	Olor verde
	Hexano	0.74 %	-
	2-Metil furano	0.14 %	Hierba
	Acetato de etilo	2.54 %	Afrutado
	2-Metil-1-propanol	0.08 %	Dulce
	3-Metil butanal	0.07 %	Fragante
	Pentanal	0.82 %	Acre
	3-Pentanona	0.42 %	-
	3-Pentanol	0.17 %	Afrutado, cítrico
	3-Metil butanol	0.71 %	Verde afrutado
	3-Hidroxi-butan-2-ona	0.21 %	-
	2-Metil butanol	0.97 %	Vino fermentado
	Tolueno	0.27 %	Dulce, picante
	1-Octeno	0.04 %	-
	Trans-hex-3-enal	0.39 %	Verde, afrutado
	Hexanal	5.54 %	Aguacate aceitoso
	Octano	0.21 %	Gaseoso
	Cis-hex-2-enal	6.64 %	Verde, afrutado
	Trans-hex-3-en-1-ol	21.21 %	Verde, floral
	Trans-hex-2-en-1-ol	18.42 %	Verde, afrutado
	Hexan-1-ol	14.54 %	Fragante
	Heptanal	0.84 %	Caramelo, mantecoso
	Nonano	0.22 %	Dulce, aceitoso
	2-Nonanona	0.12 %	Leche hervida
	2-Metil-5-hepten-2-ona	0.17 %	-
	Octanal	0.87 %	Dulce, afrutado
	Trimetilbenceno	0.14 %	Dulce
	Nonanal	3.14 %	Afrutado
	Decanal	1.62 %	Cáscara de naranja
	α -Cubebeno	0.21 %	Leñosos leves
	α -Copaeno	0.14 %	Leñoso, picante, dulce
	β -Cariopileno	0.14 %	Olor seco a madera
	β -Gurjunene	0.17 %	Hierbas, dulce
	δ -Cadineno	0.24 %	-
	α -Humuleno	0.11 %	Suave leñoso, terroso
	Heptadecanal	0.13 %	-
	Tetradecanal	0.10 %	-
	Ácido tetradecanoico	0.31 %	Aceitoso, ceroso
	Nonadecano	0.12 %	Húmedo, nuez
	Eicosano	0.14 %	Grasa

Continúa...

Hojas	México (Drymifolia)	1S- α -Pino	1.10 %	-	Torres- Gurrola y col. (2009)
		L- β -Pino	2.00 %	-	
		Sabineno	2.40 %	-	
		β -Pino	3.50 %	-	
		α -Felandreno	0.40 %	-	
		ρ -Cimeno	6.80 %	-	
		1R- α -Pino	0.70 %	-	
		Eucaliptol	0.50 %	-	
		Cis- β -Terpineol	1.20 %	-	
		β -Linalool	0.40 %	-	
		4-Alilanisol	38.30 %	-	
		4-Alilfenol	0.10 %	-	
		Chavicol-metil-éter	0.10 %	-	
		5-Metil-tridecano	0.80 %	-	
		Anetol	2.30 %	-	
		Eugenol-metil-éter	3.40 %	-	
		Fenol-4-(2-propenil)-acetato	0.80 %	-	
		β -Cubeneno	1.00 %	-	
		Cariofileno	11.20 %	-	
		Octadecano	1.70 %	-	
		Eugenol	0.30 %	-	
		α -Humuleno	1.70 %	-	
		Germacreno D	3.10 %	-	
Nerolidol	1.30 %	-			
Hexadecano	3.80 %	-			
Óxido de cariofileno	2.40 %	-			
Heptadecano	1.20 %	-			
Germacreno D-4-ol	1.00 %	-			
Flor	México (Hass)	α -pino	0.39 %	-	Campuzano- Granados y Cruz-López, (2021)
		Sabineno	0.36 %	-	
		β -pino	0.43 %	-	
		β -mirceno	3.45 %	-	
		Limoneno	0.49 %	-	
		(Z)- β -ocimeno	3.16 %	-	
		(E)- β -ocimeno	20.82 %	-	
		(E)-óxido de linalool	0.30 %	-	
		(Z)-óxido de linalool	1.97 %	-	
		Linalool	0.43 %	-	
		Perilleno (isómero)	9.33 %	-	
		Nitrilo de bencilo	1.91 %	-	

Continúa...

Lavandulol	0.43 %	-
Caproato de butilo	0.00 %	-
Salicilato de metilo	2.74 %	-
η -Tridecano	0.36 %	-
α -Copaeno	2.41 %	-
β -Cubebeno	1.94 %	-
β -Gurjuneno	2.03 %	-
β -Cariofileno	13.98 %	-
γ -Muuroleno	0.55 %	-
Valenceno	1.58 %	-
β -Guaieno	1.54 %	-
n-Pentadecano	2.40 %	-
γ -Cadineno	12.85 %	-
β -Cadineno	2.75 %	-
Dendrasalina	1.34 %	-
n-Hexadecano	0.27 %	-
8-Hexadecino	0.53 %	-
Ciclohexadecano	2.57 %	-
n-Heptadecano	3.36 %	-
n-Nonadecano	2.77 %	-
n-Icosano	0.00 %	-
n-Heneicosano	0.50 %	-
n-Docosano	0.05 %	-

mexicana Hass y la antillana se identificaron 2 de los 28 compuestos de la variedad *Drymifolia*: sabineno y β -pineno (Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021), por lo que se puede inferir que el perfil de COV y la ubicación geográfica podrían ser clave para una caracterización y clasificación propia (García-Rojas y col., 2016; Flores-Álvarez y col., 2018; Ali y col., 2020). Por lo tanto, en la hoja de aguacate criollo se identificaron 26 COV que lo caracterizan, de los cuales 8 fueron monoterpénoides, 7 sesquiterpenos, 6 fenilpropanoides, 1 acetato y 4 alcanos.

Ácidos grasos

Los compuestos lipídicos son abundantes e importantes en la composición de los aguacates. Se identifican 5 a 6 ácidos grasos en cantidades significativas, conteniendo ácidos grasos sa-

turados, monoinsaturados y polinsaturados (Alkhalaf y col., 2019). Por otro lado, se ha informado que el ácido oléico reduce el colesterol total y la lipoproteína de baja densidad (LDL, por sus siglas en inglés: low density lipoproteins) sin reducir la lipoproteína de alta densidad (HDL, por sus siglas en inglés: high density lipoproteins) ni inhiben la agregación plaquetaria o la acción trombótica (Krumreich y col., 2018).

El estado de maduración del aguacate influye en el contenido de ácidos grasos; al ir madurando, el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y saturados aumenta, mientras que los polinsaturados disminuyen, debido a su degradación (Villa-Rodríguez y col., 2011). También se ha observado que, el contenido de áci-

dos grasos monoinsaturados y polinsaturados está relacionado con temperaturas de crecimiento más frías, como mecanismo para conferir más fluidez a las membranas celulares y, por ende, brindarle cierta resistencia al frío (Pedreschi y col., 2016).

Es importante considerar que, tanto la localización geográfica del aguacate, como su relevante contribución a la salud están relacionadas con su contenido de ácidos grasos, por lo que ambos parámetros se han propuesto como variables a tomar en cuenta en futuros estudios de denominación de origen (Carvalho y col., 2015). En este sentido, Ali y col. (2020) clasificaron en 3 grupos los genotipos de aguacate, con base en el perfil de ácidos grasos y COV. El primero estaba conformado por 11 genotipos y se caracterizó por poseer mayor contenido de ácido oléico y la menor cantidad de ácido palmítico; el segundo se limitó a un genotipo y se distinguió por tener mayor concentración de (E)-2-hexanal, limoneno y ácido palmitoleico; el tercer grupo estuvo constituido por 2 subgrupos, los cuales tenían la mayor cantidad de hexanal y acetaldehído.

Se ha demostrado que los ácidos grasos tienen la capacidad de actuar como antioxidantes en sistemas tisulares *in vitro*. Esta capacidad dependió directamente del grado de insaturación, siendo más eficientes los ácidos grasos omega 3 de cadena larga, en particular el ácido eicosapentanoico. Su mecanismo de acción no ha sido precisado, pero se ha sugerido que inhiben la producción de radicales libres por la NAD(P)H oxidasa y la posibilidad de secuestrar agentes oxidantes, aunque esto último no se ha probado (Richard y col., 2008). Asimismo, se les atribuye a los ácidos grasos una asociación con los compuestos orgánicos volátiles, en donde los ácidos linolénico y linoleico están involucrados en la producción de COV, debido a que existió una reducción significativa del ácido linolénico durante el proceso de maduración, la cual fue de 109 g/mL a 6 g/mL asociado con el incremento de COV. Por su parte, en una investigación realizada en manzanas, los ácidos linolénico y linoleico, como ácidos grasos

libres o liberados por la actividad de la lipasa y luego metabolizadas por las enzimas β -oxidasa y/o lipoxigenasa, son considerados los principales precursores de ésteres volátiles, alcoholes y aldehídos, producidos durante la maduración de la fruta (García-Rojas y col., 2016). Un efecto similar fue documentado en aguacate Hass por Richard y col. (2008).

La Tabla 2 muestra los ácidos grasos reportados en las diversas partes del aguacate (pericarpio, mesocarpio y semilla). En México, se analizó la semilla del aguacate var. *Drymifolia*, en la que se identificaron 9 ácidos grasos, que se caracterizan por el contenido de ácido araquídico, 13-docosenoico, 15-tetracosenoico y lignocérico (Lara-Márquez y col., 2019). El contenido de ácidos grasos, característico de esta variedad, depende de la variedad botánica, la temporada de cultivo, ubicación geográfica, condiciones climáticas y la etapa de madurez, factores que se toman en cuenta para considerar al aguacate como materia prima para la industria del aceite, farmacéutica o alguna otra similar (Mpai y Sivakumar, 2020).

Beneficios a la salud

El aguacate destaca entre las frutas por tener cualidades dietéticas y medicinales extraordinarias (Alkhalaf y col., 2019). Su consumo proporciona niveles significativos de fibra dietética, minerales (magnesio, potasio), vitaminas como A, B-6, C, E, K, ácido fólico, ácido pantoténico, colina, niacina, riboflavina; además de fitoesteroles, luteína, zeaxantina y aceite rico en ácidos grasos insaturados, que solamente proporcionan 1.7 kcal/g. Esta densidad calórica se considera media-baja, porque un aguacate tiene aproximadamente un 80 % parte comestible, de lo cual 72 % es peso de agua y 8 % fibra dietética (Dreher y Davenport, 2013). Figueroa y col. (2018) lo consideran un alimento funcional por la presencia de compuestos bioactivos, tales como el hidroxibenzoico, los ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y procianidinas.

Existe un interés particular en los lípidos de la semilla de aguacate y sus derivados, ya que poseen una importante actividad anticancerí-

■ **Tabla 2. Ácidos grasos de *Persea americana*.**
Table 2. Fatty acids from *Persea americana*.

Fuente	Origen	Compuesto	Concentración	Referencia
Semilla	México (Drymifolia)	Ácido mirístico	2.49 (µg/g)	Lara-Márquez y col. (2019)
		Ácido palmítico	7.10 (µg/g)	
		Ácido linoleico	4.06 (µg/g)	
		Ácido oléico	5.32 (µg/g)	
		Ácido esteárico	5.06 (µg/g)	
		Ácido araquídico	2.39 (µg/g)	
		Ácido 13-docosenoico	2.44 (µg/g)	
		Ácido 15-tetracosenoico	2.88 (µg/g)	
		Ácido lignocérico	4.29 (µg/g)	
Semilla	Egipto	Ácido mirístico	0.31 %	Alkhalaf y col. (2019)
		Ácido miristoleico	0.27 %	
		Ácido palmítico	14.72 %	
		Ácido palmitoleico	0.19 %	
		Ácido esteárico	0.87 %	
		Ácido oléico	75.16 %	
		Ácido linoleico	3.37 %	
		Ácido α-linolénico	3.57 %	
		Ácido eicosadienoico	0.15 %	
		Ácido eicosatrienoico	0.19 %	
Pulpa	Egipto	Ácido mirístico	1.28 %	Alkhalaf y col. (2019)
		Ácido miristoleico	1.22 %	
		Ácido palmítico	20.05 %	
		Ácido palmitoleico	3.66 %	
		Ácido esteárico	3.36 %	
		Ácido oléico	25.30 %	
		Ácido linoleico	39.40 %	
		Ácido α-linolénico	2.62 %	
		Ácido eicosadienoico	1.86 %	
Ácido eicosatrienoico	1.22 %			
Pulpa	Brasil (Breda)	Ácido palmítico	19.90 %	Krumreich y col. (2018)
		Ácido palmitoleico	6.50 %	
		Ácido oléico	59.30 %	
		Ácido linoleico	10.60 %	
		Ácido linolénico	0.50 %	
		Ácido docosadienoico	0.80 %	
		Ácido tricosanoico	2.40 %	
Pulpa	México (Hass)	Ácido tridecanoico	0.284 mg/100 g MF	Villa-Rodríguez y col. (2011)
		Ácido mirístico	0.068 mg/100 g MF	
		Ácido palmítico	44.81 mg/100 g MF	
		Ácido esteárico	3.43 mg/100 g MF	

Continúa...

		Ácido palmitoleico	14.66 mg/100 g MF	
		Ácido cis-10-heptadecenoico	0.42 mg/100 g MF	
		Ácido oléico	297.76 mg/100 g MF	
		Ácido cis-13,16Docosadienico	1.69 mg/100 g MF	
		Ácido linoleico	50.06 mg/100 g MF	
		Ácido α -linolénico	11.53 mg/100 g MF	
Pulpa	Chile (Hass)	Ácido oléico	29.2 g/mL	García-Rojas y col. (2016)
		Ácido palmítico	4.1 g/mL	
		Ácido linoleico	115.9 g/mL	
		Ácido palmitoleico	28.5 g/mL	
		Ácido linolénico	5.2 g/mL	
Pulpa	E.U.A (Hass)	Ácido palmítico	13.65 %	Ali y col. (2020)
		Ácido palmitoleico	3.45 %	
		Ácido oléico	56.95 %	
		Ácido linoleico	12.20 %	
		Ácido linolénico	1.10 %	
		Ácido araquídico	0.73 %	
		Ácido eicosenoico	37.00 %	
Pulpa	Sudáfrica (Hass)	Ácido palmítico	20.49 g/kg MF	Mpai y Sivakumar (2020)
		Ácido palmitoleico	10.46 g/kg MF	
		Ácido oléico	42.3 g/kg MF	
		Ácido linoleico	19.38 g/kg MF	
Pulpa	Perú (Hass)	Ácido palmítico	26.18 mg/g MS	Campos y col. (2020)
		Ácido palmitoleico	12.61 mg/g MS	
		Ácido oléico	40.68 mg/g MS	
		Ácido linoleico	19.48 mg/g MS	
		Ácido α -linoleico	1.05 mg/g MS	

MF: muestra fresca; MS: muestra seca

gena. La variedad nativa mexicana muestra un mayor contenido de aceite en la semilla (20 % a 30 %). Lara-Márquez y col. (2019) documentaron que la citotoxicidad de moléculas lipídicas inhibe la oxidación de ácidos grasos y aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que conduce a una pérdida de potencial mitocondrial en células Caco-2, células de cáncer de colon, lo que explica el efecto anticancerígeno. Además, reportaron 4 compuestos exclusivamente en la semilla del aguacate var. *Drymifolia*, los cuales caracterizan dicha variedad. En general, a estos 4 compuestos se les denomina acetogeninas (avocatinas, ácidos

grasos polihidroxicos, persinas y pahuatinas), y se estima que son promotores de biopelículas bacterianas e inhibidores neurotóxicos. Es importante mencionar que dichos compuestos son derivados de ácidos grasos.

Los extractos lipídicos de la semilla y el fruto de aguacate tienen una actividad inhibidora significativa de radicales oxidantes ABTS y DPPH, lo que se asocia a su capacidad antioxidante. También se ha registrado una inhibición significativa del carcinoma hepatocelular en células HepG2 y HCT116 y el contenido de compuestos fitoquímicos tiene un efecto de laberinto en la

detención del ciclo celular, deteniendo el crecimiento de algunas células cancerosas a través de la estimulación de la apoptosis (muerte auto-programada de la célula) (Alkhalaf y col., 2019).

El extracto cetónico de aguacate contiene carotenoides y tocoferoles que frenan el crecimiento *in vitro* de líneas celulares de cáncer de próstata, tanto dependientes (LNCaP) como independientes (PC-3) de andrógenos (Lu y col., 2005). En tanto que los efectos de los múltiples compuestos bioactivos que existen en el aguacate no pudieron ser reproducidos utilizando únicamente luteína purificada, por lo que se infiere que diversas sustancias bioactivas liposolubles pueden interactuar para producir efectos benéficos a la salud. Es probable que estos carotenoides bioactivos se absorban en el torrente sanguíneo, donde, en sinergismo con otros compuestos fitoquímicos comunes en una dieta de frutas y verduras, pueden contribuir a la reducción significativa del riesgo de cáncer (Lu y col., 2005).

Rodríguez-Sánchez y col. (2013), determinaron que existe una relación entre las acetogeninas presentes en el mesocarpio de la variedad 'Hass' y la actividad antioxidante del fruto. Estos COV pueden intervenir como antioxidantes lipofílicos en alimentos, al actuar como agentes estabilizantes de especies aniónicas y como agentes donadores de hidrógeno.

La hoja de aguacate representa también una fuente importante de compuestos con alta actividad antioxidante, como son ácidos fenólicos (Hexaóxido de ácido dimetil elágico y ácido cafeico-hexosido), flavonoides (Cinchonain, peltaronidin 3-O-glucósido, quercetina-3-glucósido, quercetina-O-desoxihexosido y Kaempferol-O-pentosido) y otros (Perseitol), que podrían ser utilizados como agentes bioactivos para el tratamiento de varias enfermedades, y para el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Castro-López y col., 2019).

El aceite de aguacate criollo mexicano tiene mayor contenido fenólico que otros aceites comestibles y exhibe también actividad antiinflamatoria (Espinosa-Alonso y col., 2017).

PaDef, es un péptido proveniente del aguacate, que activa la apoptosis en células de K652, por apoptosis extrínseca, lo que podría implicar la participación de TNF- α . Dicha actividad sugiere que esta defensina tendría la posibilidad de ser una molécula potencial en el tratamiento de leucemia (Flores-Álvarez y col., 2018).

En la Tabla 3 aparecen 11 estudios, 7 de ellos en México, de los cuales 4 fueron en la var. *Drymifolia*, en hoja, pulpa y semilla mediante la extracción de diversos péptidos. Los resultados indican que los extractos se relacionan con la muerte de células de cáncer de próstata y células K562, actividad antioxidante y antiinflamatoria (Rodríguez-Sánchez y col., 2013; Espinosa-Alonso y col., 2017; Flores-Álvarez y col., 2018; Castro-López y col., 2019; Lara-Márquez y col., 2019).

Acerca de los posibles compuestos que inhiben las células de cáncer de próstata, uno de ellos es la luteína, según el reporte de Lu y col. (2005), quienes observaron que este compuesto detuvo el ciclo celular resultante de la regulación negativa de proteína p27. En otras investigaciones, los compuestos obtenidos del extracto de la pulpa de aguacate empleando acetona como solvente, mostraron ser ricos en luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, α -tocoferol y γ -tocoferol. Estos extractos demostraron capacidad para detener las células de cáncer de próstata PC-3 en el G₂/M y aumentar la expresión de la proteína p27 (Melgar y col., 2018).

En diversos estudios, la actividad anticancerígena la relacionan con la presencia de glutatión, compuesto que destaca por estar presente en mayor proporción que en otros frutos, siendo un potente antioxidante tripéptido que desempeña un papel importante en las vías de desintoxicación y la reducción del estrés oxidativo (Dreher y Davenport, 2013). Es posible que tenga relación con el COV limoneno, ya que posee la capacidad de inhibir la formación de tumores estimulando la enzima glutatión S-transferasa, siendo esta una enzima de-

■ **Tabla 3. Beneficios a la salud de *Persea americana*.**

Table 3. Health benefits of *Persea americana*.

Fuente	Origen	Beneficio	Referencia
Semilla	México (Drymifolia)	Efecto citotóxico en células de cáncer de colón.	Lara-Márquez y col. (2019)
Semilla y pulpa	Egipto	Actividad antioxidante, antiinflamatoria y anticancerígena.	Alkhalaf y col. (2019)
Cáscara	España (Hass)	Actividad antioxidante, antiinflamatoria, antibacteriana, anticancerígena y cardioprotectores.	Figueroa y col. (2018)
Pulpa	E.U.A (Hass)	Inhibición del crecimiento celular de cáncer de próstata.	Lu y col. (2005)
Pulpa	México (Hass)	Actividad antioxidante (acetogeninas) lipofílica	Rodríguez-Sánchez y col. (2013)
Hoja	México (Drymifolia)	Actividad antioxidante	Castro-López y col. (2019)
Pulpa	México (Drymifolia)	Actividad antiinflamatoria	Espinosa-Alonso y col. (2017)
Semilla	México (Hass)	Actividad antioxidante	Araújo y col. (2020)
Epicarpio	México (Hass)	Actividad antifúngica	Jiménez-Velázquez y col. (2020)
Pulpa	México (Drymifolia)	Citotoxicidad de PaDef defensina en células de leucemia mieloide crónica K562	Flores-Álvarez y col. (2018)
Pulpa	Egipto (Hass y Red)	Actividad citotóxica y antimicrobiana	Younis y col. (2020)

sintoxicante que cataliza la reacción del glutatión con electrófilos peligrosos, para formar compuestos menos tóxicos y más solubles en agua, que puedan ser excretados del organismo fácilmente. En algunas pruebas preliminares, pacientes con cáncer reciben limoneno oralmente para probar su efectividad terapéutica (Craig, 1997). Las acetogeninas alifáticas (avocatinas, persinas y pahuatinas), inhibieron la proliferación celular en células cancerosas orales humanas, mediante la contención de la vía EGFR/RAS/RAF/MEK/ERK1/2 al disminuir EGFR (Tyr1173), fosforilación de c-RAF (Ser338) y ERK1/2 (Thr202/Tyr204) (Cascinu y col., 2002; Ding y col., 2009; D' Ambrosio y col., 2011; Naveed y col., 2018).

Otros trabajos se enfocaron en la actividad antiinflamatoria del aguacate. El estudio del ex-

tracto acuoso de sus hojas demostró un efecto antiinflamatorio efectivo *in vivo*, inhibiendo el edema en la pata de rata inducido por carragenina (Adeyemi y col., 2002); la reducción de óxido nítrico sintasa y ciclooxigenasa-2, en macrófagos murinos activados, se debe a la perisenona A y B (Kim y col., 2000). En cuanto a la actividad anti-oxidante, existen una gran diversidad de compuestos que la favorecen, como es el caso del ácido gálico, vanílico y ferúlico, quercetina, catequina, epicatequina, ácido neoclorogénico, procianidinas B1 y B2, vitamina E, α -tocoferol, ácido clorogénico (Lu y col., 2005; Bhattacharyya y col., 2010; Ortega-Arellano y col., 2019; Santana y col., 2019). Para la identificación y cuantificación de los compuestos anteriores en aguacate se han utilizado diversas técnicas, entre ellas por ácido 2, 2'-azino-bis -3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico (ABTS, por sus siglas

en inglés: 2,20-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt)), 2, 2- Difetil-1-picrilhidrazilo (DPPH, por sus siglas en inglés: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés: oxygen radical absorbance capacity), capacidad antioxidante reductora cúprica (CUPRAC, por sus siglas en inglés: cupri-reducing antioxidant capacity), poder antioxidante reductor férrico (FRAP, por sus siglas en inglés: ferric-reducing ability of plasma), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés: high-performance liquid chromatography), cromatografía líquida de alta resolución-espectrometría de masas (HPLC-MS, por sus siglas en inglés: high-performance liquid chromatographymass spectrometry) cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés: gas chromatography-mass spectrometry) y cromatografía de gases mediante detector de ionización de flama (GC-FID, por sus siglas en inglés: gas chromatography-flame ionization detector) (Bhuyan y col., 2019). Por lo que de acuerdo con el consenso de información que realizó Bhuyan y col. (2019), en donde los compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles y acetogeninas, antioxidantes significativos que se encuentran en el aguacate, se han relacionado positivamente con los compuestos fenólicos con la capacidad antioxidante, aumentando a la par, ya que los compuestos fenólicos reducen la oxidación, inflamación y agregación plaquetaria. Cabe resaltar que dicha actividad es mayor en hojas, cáscara y semilla, en comparación con pulpa, así mismo, entre mayor es la etapa de maduración, los compuestos fenólicos aumentan.

Aunque el aguacate ha sido reconocido por sus efectos benéficos a la salud, se ha informado toxicidad aguda animal por el consumo de la pulpa y hojas, reportándose que la hoja induce daño en el miocardio y en las glándulas mamarias en animales (Jimenez y col., 2020). En este sentido, en estudios realizados con extracto metanólico de pulpa y hoja de aguacate se descubrió que tienen efectos genotóxicos sobre linfocitos periféricos humanos cultivados (Kul-

karni y col., 2010). Sin embargo, en otro estudio, el extracto acuoso de aguacate no presentó toxicidad en ratas macho adultas (Ozolua y col., 2009). Finalmente, se ha descubierto que el compuesto con mayor toxicidad del aguacate es la persina, la cual tiene efecto sobre la glándula lactante en dosis entre 60 mg/kg y 10 mg/kg (Oelrichs y col., 1995), por lo que hacen falta estudios sobre el tipo de extracción que se podría utilizar y la dosis correcta a administrar.

Los diversos estudios *in vitro*, *in vivo* y preclínicos, han ayudado a formular la posible obtención de compuestos con acción farmacológica o tratamientos de atención o prevención para diversas enfermedades a partir de la planta de aguacate, pero se necesita una mayor investigación al respecto.

Acorde con la información descrita en el presente trabajo, es importante resaltar que, de las investigaciones realizadas en aguacate, sobresale en su mayoría las efectuadas en variedades comerciales como la Hass. La información obtenida resultó ser limitada en *P. americana* variedad *Drymifolia* sobre la caracterización del perfil de compuestos orgánicos volátiles y del perfil de ácidos grasos y la relación con su ubicación geográfica en México. Por lo tanto, para futuras investigaciones, se propone determinar tanto el perfil de ácidos grasos como el de compuestos orgánicos volátiles, para así resaltar los compuestos que los tipifiquen y le confieran la importancia que se desea dar a conocer sobre *P. americana* variedad *Drymifolia*.

CONCLUSIONES

Los ácidos grasos están estrechamente relacionados con la síntesis de algunos compuestos orgánicos volátiles (COV), estos últimos le confieren diversas características organolépticas al aguacate. Tanto la localización geográfica del aguacate como su relevante contribución a la salud están relacionadas con el contenido de ácidos grasos, los cuales, permiten ser considerados como una importante variable para futuras clasificaciones, aunado a ello, conociendo el perfil de COV complementaría dicha propuesta. Por otro lado, los compuestos fitoquí-

micos presentes en aguacates nativos y en diversos híbridos se consideran compuestos bioactivos, a los que se les han atribuido diferentes cualidades anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes y efecto cardioprotector, entre otras, lo que motiva a profundizar en investigaciones futuras para darle la importancia a este tipo de sustancias. Por lo que, el aguacate, además de consumirse en fresco, podría llevar a establecer procesos de aprovechamiento integral que permitan utilizar al fruto o a sus subproductos como fuente de ingredientes de grado alimenticio o farmacéutico, entre otros. Sin embargo, los estudios para establecer la inges-

ta segura y niveles de administración de los extractos de aguacate han mostrado, en algunos casos, cierto grado de toxicidad. Se requieren más investigaciones para evaluar el potencial terapéutico del aguacate, así como para comprender la biodisponibilidad y la farmacocinética de los fitoquímicos presentes.

AGRADECIMIENTOS

Autores agradecen la beca otorgada (1011431) por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para realizar sus estudios de posgrado y al Tecnológico Nacional de México por el fomento a la investigación.

REFERENCIAS

- Acosta, E., Almeyda, I. H. y Hernández, I. (2013). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 531-542.
- Acosta, E., Hernández, I. y Almeyda, I. H. (2012). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región sur. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(2): 245-257.
- Adeyemi, O., Pkpo, S., and Ogunti, O. (2002). Analgesic and anti-inflammatory effects of *Persea americana* Mill (Lauraceae). *Fisioterapia*. 52: 2311-2323.
- Ali, S., Plotto, A., Scully, B. T., Wood, D., Stover, E., Owens, N., ..., and Bai, J. (2020). Fatty acid and volatile organic compound profiling of avocado germplasm grown under East-Central Florida conditions. *Scientia Horticulturae*. 261: 109080.
- Alkhalaf, M. I., Alansari, W. S., Ahmed, E. A., and Elhawalwy, M. E. A. (2019). Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract. *Journal of King Saud University - Science*. 31(4): 1358-1362.
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M. E., and Aguilar, C. N. (2020). Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. *Industrial Crops & Products*. 154: 112623.
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., and Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*. 80: 51-60.
- Bhattacharyya, S. S., Paul, S., Dutta, S., Boujedaini, N., and Khuda-Bukhsh, A. R. (2010). Anti-oncogenic potentials of a plant coumarin (7-hydroxy-6-methoxy coumarin) against 7,12-dimethylbenz [a] anthracene-induced skin papilloma in mice: The possible role of several key signal proteins. *Chinese Journal Integrative Medicine*. 8(7): 645-654.
- Bhuyan, D. J., Alsherbiny, M. A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O. A., ..., and Papoutsis, K. (2019). The Odyssey of Bioactive Compounds in Avocado (*Persea americana*) and Their Health Benefits. *Antioxidants*. 8(10): 426.
- Campos, D., Teran-Hilares, F., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Pacheco-Avalos, A., and Padreschi, R. (2020). Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (*Persea americana*) throughout the harvest seasons. *International Journal of Food Science and Technology*. 55(5): 2208-2218.
- Campuzano-Granados, A. J. and Cruz-López, L. (2021). Comparative analysis of floral volatiles between the 'Hass' variety and Antillean race avocado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 27(1): 19-26.
- Canto, E. M., Tieman, D. M., Sargent, S. A., Klee, H. J., and Huber, D. J. (2013). Volatile profiles of ripening West Indian and Guatemalan-West Indian avocado cultivars as affected by aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 80: 37-46.
- Carvalho, C. P., Bernal, J., Velázquez, M. A., and Cartagena J. R. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*. 33(2): 220-227.
- Cascinu, S., Catalano, V., Cordella, L., Labianca, R., Giordani, P., Baldelli, A. M., ..., and Catalano, G. (2002). Neuroprotective effect of reduced glutathione on oxaliplatin-based chemotherapy in advanced colorectal cancer: A

randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of Clinical Oncology*. 20(16): 3478-3483.

Castro-López, C., Bautista-Hernández, I., González-Hernández, M. D., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R., Gutiérrez-Díez, A., ..., and Aguirre-Arzola, V. E. (2019). Polyphenolic profile and antioxidant activity of leaf purified hydroalcoholic extracts from seven Mexican *Persea americana* cultivars. *Molecules*. 24(1): 173.

Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., and Newell, J. P. (2021). Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management*. 278: 111482.

Craig, W. J. (1997). Phytochemicals: guardians of our health. *Issues in Vegetarian Diets*. 5(3): 1-8.

D' Ambrosio, S. M., Han, C., Pan, L., Kinghorn, A. D., and Ding, H., (2011). Aliphatic acetogenin constituents of avocado fruits inhibit human oral cancer cell proliferation by targeting the EGFR/RAS/RAF/MEK/ERK1/2 pathway. *Biochemical Biophysical Research Communications*. 409(3): 465-469.

Damián-Nava, A., Palemón-Alberto, F., Moreno-Juárez, J., Hernández-Castro, E., Damián-Díaz, P. E., Vargas-Álvarez, D., ..., and Reyes-García, G. (2017). Characterization of creole avocado fruits harvested from both central and northern regions of Guerrero, Mexico. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*. 4(10): 151-159.

Dávila-Aviña, J. E. J., González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Sepúlveda, D. R. y Olivás, G. I. (2011). Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 34(2): 133-143.

Ding, H., Han, C., Guo, D., Chin, Y. W., Ding, Y., Kinghorn, A. D., and D' Ambrosio, S. M. (2009). Selective induction of apoptosis of human oral cancer cell lines by avocado extracts via a ros-mediated mechanism. *Nutrition and Cancer*. 61(3): 348-356.

Dreher, M. L. and Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(7): 738-750.

Edwards, C. G., Walk, A. M., Thompson, S. V., Reeser, G. E., Burd, N. A., Holscher, H. D., and Khan, N. A. (2020). Effects of 12-week avocado consumption on cognitive function among adults with overweight and obesity. *International Journal of Psychophysiology*. 148: 13-24.

Espinosa-Alonso, L. G., Paredes-López, O., Valdez-Morales, M., and Oomah, B. D. (2017). Avocado oil characteristics of Mexican creole genotypes. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 119(10): 1600406.

Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J.,

and Segura-Carretero A. (2018). Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q-TOF. *Food Chemistry*. 245: 707-716.

Flores-Álvarez, L. J., Guzmán-Rodríguez, J. J., López-Gómez, R., Salgado-Garciglia, R., Ochoa-Zarzosa, A., and López-Meza, J. E. (2018). PaDef defensin from avocado (*Persea americana* var. *Drymifolia*) is cytotoxic to K562 chronic myeloid leukemia cells through extrinsic apoptosis. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 99: 10-18.

García-Rojas, M., Morgan, A., Gudenschwager, O., Zamudio, S., Campos-Vargas, R., González-Agüero, M., and Defilippi, B. G. (2016). Biosynthesis of fatty acids-derived volatiles in Hass avocado is modulated by ethylene and storage conditions during ripening. *Scientia Horticulturae*. 202: 91-98.

Guo, J., Yue, T., Yuan, Y., Sun, N., and Liu, P. (2020). Characterization of volatile and sensory profiles of apple juices to trace fruit origins and investigation of the relationship between the aroma properties and volatile constituents. *LWT - Food Science and Technology*. 124: 109203.

Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., ..., and Soto-Covasich, J. (2020). Pulp, Leaf, Peel and Seed of Avocado Fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*. 1-37.

Jiménez-Velázquez, P., Valle-Guadarrama, S., Alía-Tejacal, I., Salinas-Moreno, Y., García-Cruz, L., Pérez-López, A., and Guerra-Ramírez, D. (2020). Separation of bioactive compounds from epicarp of 'Hass' avocado fruit through aqueous two-phase systems. *Food and Bioprocess Technology*. 13: 238-250.

Kim, O. K., Murakami, A., Nakamura, Y., Takeda, N., Yoshizumi, H., and Ohigashi, H. (2000). Novel nitric oxide and superoxide generation inhibitors, persenone A and B, from avocado fruit. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48: 1557-1653.

Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., and Zambiasi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*. 257: 376-381.

Kulkarni, P., Paul, R., and Ganesh, N. (2010). Evaluation of Genotoxicity of Avocado (*Persea Americana*) Fruit and Leaf Extracts in Human Peripheral Lymphocytes. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*. 28(3): 172-187.

Lara-Márquez, M., Báez-Magaña, M., Raymundo-Ramos, C., Spagnuolo, P. A., Macías-Rodríguez, L., Salgado-Garciglia, R., ..., and López-Meza, J. E. (2019). Lipid-rich extract

- from Mexican avocado (*Persea americana* var. *Drymifolia*) induces apoptosis and modulates the inflammatory response in Caco-2 human colon cancer cells. *Journal of Functional Foods*. 64: 103658.
- Lu, Q. Y., Arteaga, J. R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V. L. W., and Heber, D. (2005). Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 16: 23-30.
- Mahendran, T., Brennan, J. G., and Hariharan, G. (2018). Aroma volatiles components of 'Fuerte' Avocado (*Persea americana* Mill.) stored under different modified atmospheric conditions. *Journal of Essential Oil Research*. 31(21): 1-9.
- Melgar, B., Días, I. M., Ciric, A., Sokovic, M., García-Castello, E. M., Rodríguez-López, A. D., ..., and Ferreira, I. C. R. F. (2018). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. *Industrial Crops & Products*. 111: 212-218.
- Mpai, S. and Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at 'ready-to-eat stage'. *Scientia Horticulturae*. 265: 109-159.
- Naveed, M., Hejazi, V., Abbas, M., Kamboh, A. A., Khan, G. J., Shumzaid, M., ..., XiaoHui, Z. (2018). Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. *Biomed Pharmacother*. 97: 67-74.
- Oelrichs, P. B., Ng, J. C., Seawright, A. A., Ward, A., Schäffeler, L., and MacLeod, J. K. (1995). Isolation and identification of a compound from avocado (*Persea Americana*) Leaves which causes necrosis of the acinar epithelium of the lactating mammary gland and myocardium. *Natural Toxins*. 3(5): 344-349.
- Ortega-Arellano, H. F., Jimenez-Del-Rio, M., and Velez-Pardo, C. (2019). Neuroprotective effects of methanolic extract of avocado *Persea americana* (var. *Colinred*) peel on paraquat-induced locomotor impairment, lipid peroxidation and shortage of life span in transgenic knockdown parkin drosophila melanogaster. *Neurochemical Research*. 44(8): 1986-1998.
- Ozolua, R. I., Anaka, O. N., Okpo, S. O., and Idogun, S. E. (2009). Acute and Sub-Acute toxicological assessment of the aqueous seed extract of *Persea Americana* Mill (Lauraceae) in Rats. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 6(4): 573-578.
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., ..., and Defilippi, B. G. (2016). Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*. 103: 32-35.
- Poll, L., Nielsen, G. S., Varming, C., and Petersen, M. A. (2006). Aroma changes from raw to processed products in fruits and vegetables. *Developments in Food Science*. 43: 239-244.
- Richard, D., Kefi, K., Barbe, U., Bausero, P., and Visioli, F. (2008). Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. *Pharmacological Research*. 57: 451-455.
- Rodríguez-Sánchez, D., Silva-Platas, C., Rojo, R. P., García, N., Cisneros-Zevallos, L., García-Rivas, G., and Hernández-Brenes, C. (2013). Activity-guided identification of acetogenins as novel lipophilic antioxidants present in avocado pulp (*Persea americana*). *Journal of Chromatography B*. 942: 37-45.
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(2): 277-289.
- Santana, I., Castelo-Branco, V. N., Guimarães, B. M., de-Oliveira-Silva, L., Peixoto, V. O. D. S., Cabral, L. M. C., ..., and Torres, A. G. (2019). Hass avocado (*Persea americana* Mill.) oil enriched in phenolic compounds and tocopherols by expeller-pressing the unpeeled microwave dried fruit. *Food Chemistry*. 286: 354-361.
- Tiwari, S., Kate, A., Mohapatra, D., Tripathi, M. K., Ray, H., Akuli, A., ..., and Modhera, B. (2020). Biomarkers for quality management of horticultural commodities during storage through e-sensing. *Trends in Food Science y Technology*. 106: 417-433.
- Torres-Gurrola, G., Montes-Hernández, S., and Espinosa-García, F. J. (2009). Patterns of variation and geographic distribution in foliar chemical phenotypes of *Persea americana* var. *Drymifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1): 19-30.
- Turner, B. L. and Miksicek, C. H. (1984). Economic plant species associated with prehistoric agriculture in the Maya lowlands. *Economic Botany*. 38(2): 179-193.
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., and González-Aguilar G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*. 44(5): 1231-1237.
- Younis, I., Hifnawy, M. S., El-Hawary, S. S., El Bishbishy, M. H., and Elateek, S. Y. (2020). Bioactive metabolites of hass and reed avocados targeting methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* enterotoxin like X via molecular modeling and cytotoxicity assessments. *Natural Product Research*. 1-5.



Uso de las tecnologías de la información y la comunicación como estrategia para reducir el desperdicio de frutas y verduras

The use of information and communication technologies as a strategy to reduce fruit and vegetable waste

Héctor Simón Muñoz-López¹, Rocío Margarita Uresti-Marín², Juan Francisco Castañón-Rodríguez^{2*}

RESUMEN

El desperdicio de frutas, verduras y otros alimentos es un problema mundial, que puede disminuir con la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en todos los escenarios de los sistemas alimentarios. El propósito de este trabajo fue identificar las TIC que se han propuesto e implementado en el comercio electrónico, en diferentes cadenas alimentarias, como estrategia para reducir el desperdicio de frutas y verduras. Entre las tecnologías revisadas se encuentran: internet de las cosas (IoT), sensores RFID, *crowdsourcing*, aplicaciones móviles (APP), plataformas web y tecnología de computación en la nube. Las herramientas tecnológicas arrojan información de valor para su análisis y aplicación, por las partes interesadas, para tomar las mejores decisiones y contribuir de mejor manera a la reducción del desperdicio de alimentos y dar respuesta a acciones oportunas, que favorezcan la seguridad alimentaria y nutricional y el cuidado al medio ambiente. Las TIC pueden orientar a los diferentes actores involucrados en los sistemas alimentarios sostenibles. También es factible implementarlas en el comercio electrónico en México, obteniendo beneficios económicos, sociales y medioambientales.

PALABRAS CLAVE: desperdicio de frutas y verduras, comercio electrónico, tecnologías de la información y la comunicación (TIC), herramientas tecnológicas, sistemas alimentarios sostenibles.

ABSTRACT

The waste of fruits, vegetables and other foods is a global problem, which can be reduced with the use of Information and Communication Technologies (ICTs) in all scenarios of food systems. The purpose of this work was to identify how some ICTs that have been proposed and implemented in electronic commerce intervene in different food chains where they have been applied as strategies to reduce the waste of fruits and vegetables. Features of some technologies are shown: Internet of Things (IoT), RFID sensors, *crowdsourcing*, mobile applications (APPs), web platforms and cloud computing technology. Technological tools provide valuable information for analysis and applications by stakeholders to make the best decisions and better contribute to reducing food waste and responding to timely actions that promote food and nutritional security and caring for the environment. ICTs can serve as guidelines for the different actors involved in sustainable food systems. They can also be implemented in electronic commerce in Mexico, in a way of obtaining economic, social and environmental benefits.

KEYWORDS: waste of fruits and vegetables, electronic commerce, information and communication technologies (ICTs), technological tools, sustainable food systems.

*Correspondencia: jfcastanon@docentes.uat.edu.mx / Fecha de recepción: 21 de enero de 2021 / Fecha de aceptación: 13 de mayo de 2021 / Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro de Excelencia, Gestión y Transferencia del Conocimiento, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano, Centro Universitario, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149.

INTRODUCCIÓN

El desperdicio de alimentos se define como el descarte o uso alternativo de alimentos que son seguros y nutritivos para el consumo humano, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization); y es un problema de afectación mundial. Se estima que un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano se pierden o se desperdician, en toda la cadena de suministro, desde la producción agrícola inicial (pérdida) hasta el consumo final en los hogares (desperdicio), lo que equivale a aproximadamente 1 300 millones de T/a (FAO, 2019).

En la Unión Europea se estiman pérdidas y desperdicios de 88 millones de T/a de comida (Peira y col., 2018); mientras que en Latinoamérica se pierden o desperdician 127 millones de T/a de alimentos (223 kg por habitante). En Estados Unidos de América la cifra ronda los 126 millones de T/a de alimentos, y se considera que los consumidores tiran a la basura más de 38 millones de T/a de alimentos, un problema que ha escalado a la par del hambre creciente en el continente (El Comercio, 2019). Los alimentos producidos que no son utilizados para el consumo humano son también un despilfarro de recursos (Göbel y col., 2015). Las cadenas de suministro están contribuyendo significativamente en las emisiones de carbono a gran escala (Singh y col., 2015).

En América Latina y el Caribe, el 6 % de las pérdidas mundiales de alimentos suceden cada año, la región pierde y/o desperdicia alrededor de 15 % de sus alimentos disponibles. Se destaca que los países con mayor cantidad de comida desperdiciada son Argentina, Brasil, México y Colombia, cuantificando alrededor de 348 000 T de alimentos al día en toda América Latina (FAO, 2019).

En México, un estudio del Banco Mundial (Agencia EFE, 2017), estimó que se desperdician 20.4 millones de T/a de alimentos, lo que representa un 34 % de su producción de comida, en

la que se incluyen productos de origen animal, como la carne de res, cerdo, camarón y leche, mientras que, entre los alimentos de origen vegetal sobresalen aguacate, tomate, papa y mango. En contraste a este hecho, hay familias que permanecen en pobreza extrema, con problemas económicos para alcanzar una adecuada alimentación. Se considera que, si no se perdieran o desecharán esos alimentos, podrían ayudar a atender a 7.4 millones de mexicanos que se encuentran en deficiencia alimentaria. El Banco Mundial estima que es necesario establecer estrategias que contribuyan a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 2030, que incluyen reducir la pobreza extrema. Por tanto, el problema del desperdicio de los diferentes grupos de alimentos, sobre todo el de frutas y verduras, continúa siendo un reto para garantizar su disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad, por lo que es necesario abordarlo desde diferentes enfoques y la utilización de diversas herramientas como son las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Las TIC son herramientas que pueden ayudar a reducir el desperdicio o pérdida de alimentos, ya que incluyen recursos y programas que permiten procesar, administrar y compartir información a través de diferentes soportes tecnológicos, como computadoras, teléfonos móviles, televisores, reproductores portátiles de audio y video e incluso consolas de videojuegos, por lo que contribuyen a ofrecer servicios en diversos ámbitos (Espacioteca, 2017: 1). Según Cabero (1998), las TIC involucran tres grandes entornos: informática, microelectrónica y telecomunicaciones; su gran ventaja es que lo hacen de forma interactiva e interconectadas, dando oportunidad a nuevas realidades comunicativas.

El objetivo del presente trabajo fue analizar el uso de diferentes tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el comercio electrónico de frutas y verduras y en el escenario de su cadena de suministro, donde han sido implementadas como una estrategia para reducir su desperdicio.

Causas del desperdicio de frutas y verduras

Los productos que viajan kilómetros hacia los mercados lo hacen usualmente a través de transporte sin refrigeración (Balaji y Arshinder, 2016; Porat y col., 2018). Aunado a lo anterior, los negocios, cuyo giro es la venta de frutas y verduras, por lo general no cuentan con espacios y equipos de almacenamiento refrigerado, lo que ocasiona una reducción del tiempo de vida de los productos (Balaji y Arshinder, 2016).

Diferentes fuentes coinciden que el almacenaje incorrecto en los negocios genera desperdicio de frutas y verduras (Cicatiello y col., 2016; Porat y col., 2018). Además, autores como Garrone y col. (2014); Balaji y Arshinder (2016); Cicatiello y col. (2016), concuerdan en sus investigaciones, que los empaques dañados son otra causa importante de esta problemática. Los estándares de calidad inadecuados son otro factor de desperdicio de frutas y verduras debido a una pobre percepción de calidad del consumidor, con relación a color, tamaño, forma y sabor (Cicatiello y col., 2016 y Porat y col., 2018). Aunado a ello, productos de buena calidad y aptos para consumo son descartados al momento de la elección de compra por tener detalles estéticos, como manchas y deformaciones (Cicatiello y col., 2016).

La fecha de caducidad también causa desperdicio (Garrone y col., 2014). Por su parte, el estudio de Bilska y col. (2018), en Polonia, reportó a las frutas y verduras dentro de los grupos de productos con mayor participación porcentual en la estructura de residuos, a través de una evaluación en base a su valor financiero, valor calórico y peso. Mientras tanto, Scholz y col. (2015) destacaron que, de 1 500 T de desperdicio durante 3 años, en supermercados, las frutas y verduras contribuyeron con un 85 % de dicha masa. A diferencia de otros autores, Balaji y Arshinder (2016) identificaron otros factores, como la gestión de la demanda, falta de capacitación en el manejo, apilado de productos, la gran cantidad de intermediarios y por supuesto la falta del uso de las TIC.

En la cadena de suministro de frutas y verduras existen diferentes actores (Figura 1), por lo que las causas por las que se pierden o desperdician se considera multifactorial. La eficiente producción, distribución y consumo de este tipo de alimentos depende de la adecuada participación de agricultores, transportistas, almacenistas, distribuidores, operadores de producción, comerciantes y consumidores, por mencionar algunos. Todos ellos involucrados en las distintas etapas del sistema productivo que permite llevar el alimento desde los campos agrícolas, las centrales de abasto e industrias, hasta los hogares y restaurantes. Se ha determinado que en estos dos últimos ocurre un desperdicio considerable, ya que el consumidor contribuye en gran medida a ello (Cicatiello y col., 2016 y Porat y col., 2018).

La sustentabilidad de esta cadena productiva requiere la cooperación y coordinación entre los diversos sectores involucrados, alineados a las necesidades de los consumidores. Tiene gran importancia una eficiente rapidez, flexibilidad, precisión y transparencia en el manejo del recurso, para evitar su deterioro.

Una pobre o inadecuada infraestructura y logística para el almacenamiento, transporte y distribución, combinada con habilidades insuficientes de los actores involucrados, en cuanto al manejo apropiado de los mismos, pueden provocar pérdidas económicas que, a su vez, contribuyen a la subsecuente reducción del valor de mercado del producto, reducción en la disponibilidad para satisfacer las necesidades de la población y aumento del costo en el mercado.

Optimizar la eficiencia en las diferentes etapas involucradas en el sistema alimentario, para que sea más sostenible, mediante el uso del comercio electrónico y las TIC favorecerá el manejo, comercialización y consumo adecuado, con la consecuente disminución de desperdicios.

Uso del comercio electrónico y las tecnologías para la comercialización de productos frescos
El comercio electrónico ha tenido un impacto



■ **Figura 1. Etapas, lugares y actores involucrados en el sistema alimentario sostenible de frutas y verduras.**
 Figure 1. Stages, places and actors involved in the sustainable food system of fruits and vegetables.

tangible en la forma en que se llevan a cabo los negocios y la estructura de los mercados. El desarrollo del comercio electrónico en el sector agronegocios mostró que Polonia se encuentra en una etapa temprana y al mismo tiempo en un proceso de cambio evolucionario

(Strzebicki, 2015). El estudio de Berg y Henriksen (2020), muestra que las compras de comestibles en línea es una práctica habilitada para múltiples recursos, generada por múltiples necesidades e ideologías en los hogares. Las razones para preferir las compras en línea incluyeron argumentos como, que era difícil realizar compras con niños pequeños, aparte de la dificultad para acarrear cosas pesadas, ir de compras era aburrido, sin sentido, y consumía mucho tiempo que puede ser aprovechado para realizar otro tipo de actividades que consideran más relevantes; mientras que comprar en línea permite llevar a cabo una selección y planificación más detallada de los alimentos que realmente se consumirán, de acuerdo con sus hábitos alimenticios, además de que resultaba ser más económico al no tener el impulso de comprar cosas que no se necesitaban y significaba menos actividades de desgaste físico durante el día.

Al utilizar los datos del escáner de comestibles, proporcionados por una cadena de supermercados que vende tanto en línea y de forma tradicional, se observó que la introducción del comercio electrónico conduce a un aumento en el comportamiento de compra masiva y almacenamiento por parte de los clientes, dado que los artículos a granel y con descuento se venden a un precio más bajo por unidad (Pozzi, 2013). Esto destaca una nueva dimensión, en la que comprar en línea puede ser beneficioso para los consumidores, siendo de vital importancia mantener en condiciones adecuadas de almacenamiento dichos productos, para evitar que se generen desperdicios que se verá reflejado en las cuestiones económicas. Adicionalmente, la reducción en el costo de almacenamiento, provocada por la introducción del comercio electrónico, genera ahorros significativos a las empresas.

Wen y col. (2018) presentaron un sistema de comercio electrónico inteligente, basado en el conocimiento para vender productos agrícolas, con la posibilidad de pronosticar ventas y análisis financieros. También provee soluciones factibles o acciones provenientes de resul-

tados de razonamiento basado en reglas. Además, cuenta con un base de datos que integra un sistema inteligente, una base de reglas y un modelo base para crear una herramienta que los administradores pueden usar para tratar problemas de decisiones vía internet. Adicionalmente, cuenta con un mapa electrónico, combinado con un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés: global positioning system) para realizar las entregas a los clientes.

Al abrir nuevos canales de ventas, como la venta en línea por medio del comercio electrónico, se requiere un aumento en campañas de comunicación de la identidad de la marca, los valores y cultura de la marca, con la intención de ganar conciencia en el mercado, término mejor conocido como campaña de marca, además comunicar los nuevos canales de ventas por medio de redes sociales y la web (Russo, 2016). Esto es importante, ya que Canavari y col. (2010) encontraron que, para lograr una adopción del comercio electrónico en las redes agroalimentarias se requiere principalmente de la generación de confianza de los compradores en las transacciones, lo que depende de diversos factores y de la forma de comunicarlas.

Una de las estrategias relacionadas con la reducción de los desperdicios de frutas y verduras, es el uso de plataformas tecnológicas, que agilicen el proceso de venta de las mismas, siendo el comercio electrónico una herramienta que permite concretar transacciones de venta y compra de productos o servicios por medio de internet, ya que el Internet se ha convertido en uno de los mayores canales para que los consumidores compren productos frescos (Gestiopolis, 2017). He y col. (2019) propusieron un modelo de preventa en línea de productos, para ayudar a reducir las cuotas de pérdidas de circulación, siendo este un problema significativo al que se enfrentan las tiendas físicas tradicionales al vender los productos frescos. El estudio identificó estrategias de precios en los mercados, como la de la reducción y penetración de precios para tiendas

en físico, Para tiendas en línea, se detectó la estrategia de precios contingentes y de adaptación de precios. Las estrategias de precios contribuyen al posicionamiento de los productos ya que ayudan a centrarse en la segmentación de los consumidores.

Además de plataformas web, también han surgido aplicaciones móviles (APP, por sus siglas en inglés: application or application program), con diferentes formatos de distribución alternativa de alimentos. Su finalidad tiene que ver con la disminución del desperdicio de alimentos y la generación de un impacto social positivo. En el estudio realizado por Michelini y col. (2017) se realizó un análisis de conglomerados jerárquico, basado en el intercambio de alimentos, agrupando la muestra de 52 casos en tres diferentes categorías: “compartir por dinero”, “compartir por caridad” y “compartir para la comunidad”. El agrupamiento de compartir por dinero es el más apegado a esta investigación, así que, en el estudio se identificaron diferentes plataformas relacionadas con la venta de productos en línea. Estas aplicaciones operan solamete en línea y son caracterizadas por ser con fines de lucro, además utilizan sistemas de geolocalización, lo que evidenció los efectos de las nuevas formas de compartir sobre la desigualdad social en la adquisición de alimentos y la disponibilidad de herramientas tecnológicas.

De acuerdo con el Centro Global de Mercado Electrónico, la utilidad del comercio electrónico es que permite llevar a cabo la transacción o intercambio de información entre las diferentes partes que interactúan, mediante el uso de las TIC, en lugar de hacerlo por intercambio o contacto físico directo (Sánchez-Torres y col., 2017). Este uso de las tecnologías como medio con fines comerciales, dentro de los negocios, permite la flexibilidad y eficiencia en sus operaciones, lo que reduce tiempos de entrega, espacios físicos y costos (Cultura colectiva, 2014). Por otro lado, la infraestructura adecuada de comercio electrónico ha evolucionado en las redes de suministro de alimentos. Diferentes tipos de plataformas de comercio

electrónico respaldan transacciones a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, y están especializadas en apoyar las relaciones comerciales existentes, en una etapa específica de la cadena agroalimentaria, particularmente adaptados a los requisitos de sus participantes (Cannavari y col., 2010).

Aunque hay estudios donde se ha mostrado el impacto del uso del comercio electrónico en la distribución y compra-venta de alimentos tales como el de Baourakis y col. (2002); Zeng y col. (2017); Cristobal-Fransi y col. (2020); Spruit y Almenar (2021), utilizando sistemas y modelos que permiten pronosticar ventas y realizar análisis financieros, aún es necesario que se genere esa concientización y confianza por parte de los actores involucrados en el sistema alimentario de las frutas y verduras, para poder lograr que se utilicen las plataformas digitales de comercio electrónico que respalden, por un lado, las transacciones en toda la cadena productiva y por otro lado, el impacto que tendría en la reducción de desperdicios de frutas y verduras, aprovechando las múltiples ventajas que conlleva la implementación de dichas estrategias de comercialización y el uso de TIC, cuyas características generales de estas tecnologías se detallarán en las siguientes secciones.

Uso de TIC en el manejo y reducción del desperdicio

Las TIC son definidas como diversas herramientas tecnológicas y recursos utilizados para transmitir, almacenar, crear, compartir o intercambiar información. Estas herramientas tecnológicas y recursos incluyen computadoras, el internet (*websites, blogs, email*), tecnologías de transmisión en vivo (radio, televisión y *webcasting*), tecnologías de grabación y transmisión (podcasting, reproductores de audio y video, y almacenamiento en dispositivos) y telefonía (fija o móvil, videoconferencia, satelital) de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (UNESCO, 2019). Por lo tanto,

a continuación se muestran los aspectos generales de algunas de las TIC que han sido evaluadas para su utilización en la aplicación de sistemas alimentarios y de esta manera contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional: internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés: Internet of Things), tecnología de radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés: radio frequency identification), *crowdsourcing*, aplicaciones móviles, páginas web y tecnología de computación en la nube (CCT, por sus siglas en inglés: cloud computing technology).

Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas conocido como IoT, se puede definir como una red de objetos físicos (cosas o things), tales como, vehículos, máquinas, electrodomésticos y otros objetos embebidos con electrónicos, que tienen sensores integrados, *software*, actuadores y otras tecnologías que podrían ser visibles. Esto permite la conectividad e intercambio de datos entre más de 7 000 millones de dispositivos cotidianos del IoT conectados actualmente, los cuales incluyen no solo objetos domésticos cotidianos, sino hasta sofisticadas herramientas industriales y sistemas a través de internet (Oracle México, 2019). Entre los usos más habituales del IoT está la fabricación inteligente, mantenimiento preventivo y predictivo, redes eléctricas inteligentes, ciudades inteligentes, logística conectada e inteligente y por supuesto las cadenas de suministro digitales inteligentes (Oracle México, 2019). Desde 2011, la mayoría de los estudios han sido desarrollados por universidades en China, donde la materia de las aplicaciones del tema de IoT fue en la cadena de suministro alimentario, rastreo de productos alimenticios, seguido por el monitoreo de la calidad y seguridad de alimentos (Bouzembrak y col., 2019). La mayoría de las publicaciones estuvieron relacionadas con comida, carnes, productos congelados y por supuesto frutas y verduras. En los estudios se usaron sensores para monitorear temperatura, humedad y ubicación (Bouzembrak y col., 2019).

El IoT permite que los objetos se detecten o controlen de manera remota a través de la in-

fraestructura de red existente, creando oportunidades para una integración más directa del mundo físico, en sistemas basados en computadoras, y resultando en eficiencia mejoradas, precisión y beneficio económico, además de una intervención humana reducida (Vallandingham y col., 2018). En los últimos años se han visto avances innovadores en sensores inalámbricos y tecnologías de procesamiento de datos, allanando el camino para una infraestructura ciber física de escala global del IoT. Esto incrementó sustancialmente la cantidad de datos generados por la implementación del IoT y sus avances posteriores, como estadísticas avanzadas y aprendizaje automático (machine learning), son denominados bajo el término de “Big Data” (McCarthy y col., 2018).

En la sociedad de la información de la Unión Europea, el uso del IoT en las cadenas de suministro de comida fue mencionado como una de las nuevas áreas promesa, con aplicaciones en agricultura de precisión, producción de comida, procesamiento, almacenaje, distribución, consumo, trazabilidad, visibilidad y desafíos de controlabilidad. Las nuevas tecnologías que son basadas en el IoT se esperan traigan seguridad, más eficiencia y una cadena de alimentación sostenible en el futuro (Bouzembrak y col., 2019). La sustentabilidad del sistema alimentario puede ser mejorada a través del potencial del IoT, perspectiva que puede permitir visualizar, monitorear, controlar, y así optimizar el proceso de la cadena alimentaria por los sistemas de tecnologías de información inteligentes, autónomos y autoadaptativos. Además, las tecnologías de Internet y las TIC contribuyen al desarrollo de nuevos conceptos en la cadena agroalimentaria en la que productores regionales y consumidores están conectados (El-Bilali y Allahyari, 2018). En este sentido, Wen y col. (2018) describen la implementación de sensores en botes de basura y en camiones recolectores de desperdicio en restaurantes, en una ciudad de China. Los camiones están equipados con una báscula y los botes cuentan con sensores para el registro y monitoreo de las cantidades de alimentos desperdiciados que son trasladados diariamente en los camio-

nes. Los camiones también cuentan con cámaras de video vigilancia y están equipados con controladores y dispositivos que permiten su geolocalización en tiempo real.

El IoT puede posibilitar el optimizar las cadenas de distribución, mejorar la trazabilidad y calidad de los alimentos, lo cual, al contribuir a ampliar la vida útil de los alimentos, como las frutas y verduras, tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad de este sistema alimentario, ya que al haber millones de dispositivos inteligentes conectados se revoluciona el modo de producir y comercializar alimentos, como el uso de etiquetas de códigos de barras que pudieran localizar los productos alimenticios en cada etapa de la cadena de suministro, lo cual reduciría los tiempos de almacenamiento y tránsito de los productos, además de la utilización de sensores inteligentes que ayudarán a mejorar las cosechas, a una mejor gestión de los recursos hídricos, informar a los consumidores acerca del origen de las frutas y verduras, fecha de cosecha o de producción y hasta la forma en la que se produjo. El uso del IoT facilitará la manipulación, transporte, almacenamiento y comercialización de frutas y verduras y que la información esté disponible para todos los actores involucrados en su cadena de suministro, de forma que pueda tener una mayor aplicación práctica.

Sensores de tecnología de radiofrecuencia (RFID)

La tecnología de radiofrecuencia es una forma de comunicación inalámbrica, donde se utilizan ondas de radio entre un lector y un emisor. Es un método de almacenamiento y recuperación de datos por medio de dispositivos, como tarjetas o *tags* RFID. Se emplea como sistema de identificación, seguimiento y recuperación de datos, sin necesidad de contacto visual, de manera similar a los códigos de barras. Las etiquetas que generan pueden ser usadas en las industrias para la localización de objetos y de esta manera llevar un buen control de inventarios (Universidad Internacional de Valencia, 2019).

La tecnología RFID se utiliza para diversas funciones, como el control de inventario, etiquetado dinámico de productos y ubicación (Tao y col., 2017). Dicha tecnología se aplica también en las cadenas de suministro de alimentos, ya que los chips tienen la capacidad de almacenar datos de los productos y de las condiciones en que son transportados, como la temperatura y la humedad relativa. Provee información en tiempo real, lo que permite a su vez la trazabilidad del producto en los diferentes escenarios de la cadena de suministro (Abad y col., 2009). Se considera una de las principales tecnologías en el campo de la identificación. Su tecnología se basa en la comunicación inalámbrica, particularmente a través de ondas de radio frecuencia, entre una etiqueta anexada a un objeto y un interrogador. Este sistema es más conveniente para identificación de productos, a comparación de otros sistemas, como los códigos de barras, porque no requieren contacto visual y pueden ser colocados dentro de cajas y contenedores, o inyectado dentro de animales y embebido dentro de cualquier objeto, como pasaportes (Bibi y col., 2017).

La tecnología RFID está relacionada actualmente con el concepto de trazabilidad que se refiere a la habilidad de localizar productos para su gestión, control y aspectos de seguridad. En la Unión Europea, la trazabilidad se define como la localización de cualquier producto, alimento, animales para producción de alimentos o sustancias, que serán usadas para consumo a través de todas las etapas de producción, procesamiento y distribución. Está estrictamente regulada e identifica desde su origen, hasta el destino final, a los productos alimenticios, debiendo ser correctamente etiquetados (Bibi y col., 2017).

Baig y col. (2019a) destacaron el uso de herramientas analíticas de medición y seguimiento de residuos. El rango de herramientas va desde escritos en papel, escalas, hojas de cálculo, aplicaciones, *software* sofisticado de seguimiento y análisis, y consultores contratados para el análisis. El seguimiento y medición de los re-

Residuos genera gran valor a través de toda la cadena de alimentos incluyendo las granjas, almacenamiento de comida, distribución y procesamiento, ventas al por menor y restaurantes. La RFID permite asignar de forma automática precio a productos lácteos, carnes, frutas y verduras recién cortados de acuerdo su fecha de expiración y al mismo tiempo promueve la venta de productos con fecha cercana de expiración reduciendo su precio en lugar de desecharlos (Porat y col., 2018). Este procedimiento es parte de la trazabilidad de los alimentos, desde la producción primaria hasta el lugar de consumo. La digitalización de la información que genera el uso de etiquetas RFID permite visualizar si ocurre un problema de interrupción de la cadena alimentaria, en tiempo real, lo que permite controlar la calidad y frescura de los alimentos y la automatización de procesos. Tales etiquetas también pueden avisar si los productos están próximos a caducar, para acelerar su venta mediante ofertas o si debieran ser reemplazados en anaqueles, debido a la expiración de su fecha de consumo preferente. También facilita el tener control sobre las condiciones de las cámaras de almacenamiento, como la humedad, temperatura o grado de maduración. Es factible programar las etiquetas para que emitan alertas cuando dichas variables superen los límites permitidos para cada fruta y verdura, contribuyendo a una gestión en la reducción notable de mermas, lo que impactaría en la reducción de la huella de los residuos de frutas y verduras, y a su vez el fomento de un futuro más prometedor y sostenible en el sistema alimentario.

Crowdsourcing

Esta técnica es una nueva herramienta que se genera, principalmente en internet, para obtener ideas, contenido, y contribuciones de un gran grupo de personas o público en general, especialmente de la comunidad en línea, en lugar de los empleados y proveedores tradicionales, sobre aspectos relacionados con la calidad, aceptación y comercialización de los productos (Soon y Saguy, 2017). El *crowdsourcing* está muy disperso en numerosas aplica-

ciones de comida (ejemplo: tecnología, proyectos de emprendimiento, financiación de nuevas empresas y desarrollo de productos innovadores). Destaca como ejemplo la empresa McDonald's, quienes crearon una campaña de *crowdsourcing* donde se convocaba a los consumidores a crear una línea de hamburguesas, específicamente nuevos sándwiches con los ingredientes que ellos creían convenientes y les podrían proporcionar un nombre a cada una de sus creaciones, que posteriormente se comercializaron en los restaurantes de Reino Unido por tiempo limitado (Rockcontent, 2019). Y en Estados Unidos, la empresa PepsiCo utilizó también una campaña de *crowdsourcing* para impulsar la innovación de productos y renovar el entusiasmo de sus consumidores con su marca de papas fritas Lay (Digital Initiative, 2018).

Futuros usos del *crowdsourcing* en la vida útil y rotación en el inventario de alimentos tienen que ver con la utilización de datos que arrojan los sensores de tiempo y temperatura durante la distribución de alimentos. Soon y Saguy (2017), revelaron que la utilización futura para monitorear los sensores de temperatura ofrece los siguientes beneficios: comunicación con el fabricante o base de datos pública que ofrece el conocimiento exacto de las condiciones de las cadenas de distribución calculando la calidad, e identificando las posibles condiciones de abuso. Reducción del desperdicio cambiando la terminología de etiquetado en los productos con relación a la fecha de caducidad; identificar y alertar a los consumidores finales de el no consumo de productos que han sufrido una pérdida de calidad en el proceso de distribución y expandir el sistema y su utilización para otros propósitos, permitiendo una comunicación de dos vías entre almacenes, tiendas y cadenas de vendedores y consumidores.

Debido a que el *crowdsourcing* facilita la interacción de personas conocedoras de un tema, se puede lograr un trabajo colaborativo en el cual todos los actores que participen en el sistema alimentario de las frutas y verduras,

hagan sus aportaciones, ideas y contribuciones, y de esta manera proponer una planeación estratégica, que permitan mejores soluciones en un menor tiempo, esfuerzo y optimizando los recursos. Se ha utilizado en la aplicación de encuestas para recibir propuestas de nuevos productos. También, se puede lograr que los participantes de una cadena alimentaria expongan sus problemáticas y restricciones, en cuanto a su producción, almacenamiento, distribución, procesamiento, comercialización, venta; así al recibir los comentarios, los usuarios puedan establecer un plan que permita hacer los ajustes necesarios para eficientizar el sistema alimentario de las frutas y verduras y tomar decisiones inteligentes por medio de ideas innovadoras utilizando dicha tecnología.

Aplicaciones móviles y plataformas web

Las aplicaciones móviles o APP emergieron en los noventa, pero ganaron mucha popularidad con el lanzamiento de la primera generación del iPhone de la empresa Apple, Inc. Actualmente las APP son usadas como métodos estratégicos para alcanzar y mantener clientes por diferentes ramas de negocios. Los dispositivos móviles son considerados como equipos portátiles y personales para sus usuarios, y que a la vez cuentan con conexión a internet. Las APP corren sobre estos dispositivos que también son conocidos como teléfonos inteligentes (*smartphones*) y pueden ser definidas como una aplicación de *software* que es ejecutada en una plataforma móvil (Jabangwe y col., 2018).

Existen varias empresas que han contribuido al diseño y programación de APP, utilizando diferentes sistemas operativos, por ejemplo: Google creó la plataforma Android, cuyas aplicaciones al ser aprobadas son enviadas a Play Store; en tanto que, Apple, Inc. desarrolló la plataforma iOS (antes iPhone OS), y las aplicaciones son validadas y publicadas en AppStore. Una vez que se publican los usuarios tienen la posibilidad de descargarlas e instalarlas en sus dispositivos móviles. La utilización de las APP dentro de la cadena de suministro y venta de alimentos, reduce los tiempos de exhibición de los productos en los negocios, mediante una

comercialización en línea y a su vez guarda información relativa a la venta del producto y sus características en servidores remotos (Nosrati y col., 2012).

Michelini y col. (2017) comentaron que una alternativa para evitar el desperdicio de alimentos está en la distribución a través de los bancos de alimentos, los supermercados sociales y el uso de aplicaciones digitales, esquemas que pueden reducir el problema y generar impactos sociales positivos. En este sentido, mediante un análisis de clúster jerárquico, basado en 52 plataformas digitales, catalogadas en 3 modelos, uno de ellos llamado “compartir por dinero”, se ubicaron algunas aplicaciones móviles, como MyFoody, plataforma italiana que permite a productores y distribuidores ofrecer a la venta en tiempo real productos cercanos a su fecha de vencimiento, que son ofertados con descuento, para prevenir que sean descartados o tirados. Leloca es otra aplicación que es operada en las áreas de Nueva York, enfocada a los restaurantes, donde ayuda a reducir las cantidades de desperdicio de productos frescos. La plataforma permite generar descuentos a los clientes del 30 % al 50 % y para ser obtenidos tienen que reclamarse durante los primeros 45 min (Baig y col., 2019b).

Too Good to Go es otra aplicación que permite a los restaurantes ofrecer comidas para llevar a precios reducidos. Esta aplicación, desde su lanzamiento en el año 2015 hasta mediados de 2018 ha servido para rescatar 4 millones de comidas por medio de sus usuarios (Baig y col., 2019b). OLIO, aplicación fundada por Tessa Cook y Saasha Celestial-One, en el año 2015, acorde su sitio web “es una aplicación gratuita que conecta a vecinos y negocios locales para que sus excedentes de comida puedan ser compartidos y no desperdiciados, pudiendo ser comida cercana a su fecha de vencimiento en tiendas locales, vegetales, pan de pastelerías o alimentos del refrigerador, al salir de viaje o cambiarse de domicilio” (Harvey y col., 2020). Muth y col. (2019), identificaron diferentes intervenciones tecnológicas de re-

cuperación de frutas y verduras. En la parte de ventas al por menor y restaurantes, mencionan el uso de aplicaciones para celulares que notifican a destinatarios sobre el exceso de comida disponible. La oferta de productos abarca donaciones de comida no vendida, productos con grados estéticos bajos o productos dañados, ofertas de productos preparados y excedentes de alimentos procesados con bajo precio a minoristas.

En general, las tecnologías de la información, como los teléfonos móviles, acortan las distancias entre los diferentes actores de la cadena alimentaria relacionados con la producción, procesamiento, transporte y comercialización de alimentos (El-Bilali y Allahyari, 2018). Algunas de las herramientas que se han utilizado para contribuir a reducir los desperdicios de alimentos son Tesco FareShare FoodCloud en el Reino Unido, que permite a los supermercados enviar alertas a diferentes organizaciones para el rescate de alimentos aún comestibles. Otras soluciones como Winnow y LeanPath son herramientas que proveen apoyo para medir y monitorear la cantidad de alimentos que no se aprovechan en cocinas (Porat y col., 2018). Las anteriores a pesar de que no son herramientas estrictamente apegadas a la parte de ventas, son buenas prácticas que pueden ser replicadas. Otras APP mencionadas por Ágora (2016) que están enfocadas en abordar la problemática asociada al despilfarro de alimentos, son ZeroMermas, Expire, FoodLoop, FlashFood, LoveFood Hate Waste (p. 1).

Foodtank (2015) menciona 23 aplicaciones que están disponibles para ayudar a que consumidores, productores, defensores y activistas puedan tener acceso a alimentos sanos, que contribuyan a llevar una vida más sostenible y saludable, y a reducir el que no se aprovechen de manera adecuada. Las aplicaciones relacionadas con la cadena de suministro de frutas y verduras son Locavore (HevvaCorp.), Buscar fruta (Neighborhood Fruit), Farmstand, Seasons (What Is It Production Ltd.), NRDC Eat Local, ¿Qué es fresco? (Simplicidad móvil) y

En Temporada (Light Year Software, LLC) por citar algunas.

El desperdicio de alimentos es un problema que afecta tanto a los sectores implicados directamente en el sistema alimentario, como a la población en general. Por ello, el interés de aprovechar las TIC, específicamente de las aplicaciones móviles, como las que se han mencionado anteriormente, como estrategias para la reducción del desperdicio de alimentos de manera exitosa. Estas aplicaciones se han usado en las etapas de comercialización y consumo, para gestionar de forma correcta el aprovechamiento de los alimentos (en su manipulación, preparación, compra) y a reducir mermas. También se usan para atender los excedentes de alimentos o productos con fecha de caducidad próxima o aquellos que, por ser considerados no estéticos, puedan ser llevados a comunidades necesitadas y así contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional. Por lo que, el reto latente, al menos en México, sería la adquisición de dispositivos móviles por ciertos actores principalmente en la producción primaria de las frutas y verduras y con la consecuente limitación de conectividad que contribuiría a no aprovechar dichas aplicaciones y sus consecuentes ventajas en la reducción de la problemática asociada con un uso y manejo inadecuado de estos alimentos.

Tecnologías de computación en la nube (cloud computing technology) (CCT)

Las tecnologías de computación basadas en la nube son utilizadas para integrar segmentos separados de una industria en particular, usando recursos mínimos. CCT permite hacer la información visible en todos los segmentos de una industria desplegando su modelo de entrega de servicios en formato de *software* como servicio, plataforma como servicio e infraestructura como servicio (Singh y col., 2015).

“La CCT es un tipo de arquitectura informática que se define como una tecnología que permite ofrecer servicios de computación a través de internet, totalmente en línea, en el que los usuarios ya no tienen la necesidad de instalar

ningún programa en la computadora, debido a que lo ejecutará directamente desde internet, desde un proveedor de servicios que le permitiría, entre otras cosas, optimizar, aligerar y ahorrar gran cantidad de espacio en su disco duro” (ECURED, 2019). Entre las características principales del modelo de computación en la nube, de acuerdo con Pedroso (2013), destacan el servicio a demanda, en el cual no hay necesidad de ningún tipo de interacción entre el proveedor del servicio y los usuarios; los recursos compartidos: donde el proveedor libera en forma dinámica los servicios físicos y virtuales dependiendo de la demanda de los consumidores, la independencia de la ubicación, los sistemas escalables, y el pago por uso.

Singh y col. (2015) proponen un sistema integrado mediante el uso de CCT, donde todas las partes involucradas en la cadena de suministro de carnes puedan minimizar y medir la emisión de carbono dentro de gastos razonables e infraestructura. El enfoque integrado de mapear toda la cadena de suministro de carne, por una simple nube mejorará la coordinación entre las partes involucradas. Esta propuesta utilizada en la cadena productiva de carnes, puede ser implementada también en el sistema alimentario de las frutas y verduras, pues es una opción viable para subsanar la contradicción existente entre el uso de la tecnología actual y el cuidado al medio ambiente, lo que hace más sostenible su utilización. Realizar el mapeo de todos los eslabones de la cadena alimentaria permitiría mayor rentabilidad en cada una de las etapas, mediante el aumento de la eficiencia operativa, ahorro en tiempo y dinero.

Análisis de la intervención de las TIC en la reducción de desperdicios de frutas y verduras

Las TIC son una herramienta que puede ser aplicada durante la cadena de suministro de alimentos y de esta manera aminorar desperdicios de frutas y verduras, lo cual favorecería positivamente en reducir la inseguridad alimentaria debido a su gran expansión y rápido crecimiento. El tiempo de vida de productos frescos, como frutas y verduras, es deter-

minante para su venta y consumo. Los consumidores al momento de la elección de compra del producto valoran que estén frescos, de buen color y de buena forma. El uso de tecnologías de vanguardia puede ser aprovechado para asegurar la calidad de los productos desde la cosecha hasta el consumidor final y a la vez evitar su inadecuada utilización.

En la Tabla 1, se muestran ejemplos de qué manera las TIC pueden contribuir a la reducción de desperdicios de alimentos dentro de las etapas del sistema alimentario sostenible: producción primaria, almacenamiento y distribución, procesamiento y comercialización y consumo. Se resaltan algunas contribuciones, como el uso de sensores, planteamiento de objetivos de trazabilidad, monitoreo, rastreo y geolocalización, que permiten lograr mayor eficiencia y aprovechamiento de los recursos durante todas las etapas, además de que ofrecen alternativas de consumo mediante la generación de alertas, descuentos y donaciones que contribuyen a la sostenibilidad de la cadena de suministro. Es importante considerar que el 54 % de las pérdidas de alimentos ocurre en la producción primaria (cosecha, postcosecha y procesamiento) y el 46 % del desperdicio ocurre en el procesamiento, distribución y consumo (Interempresas, 2019), lo cual puede revertirse conforme se vayan adaptando estas TIC en acciones preventivas. Destacan sus contribuciones en el monitoreo, trazabilidad, venta, compra, donaciones y control de alimentos, mediante el uso de tales tecnologías, cuya aplicación práctica varía de acuerdo al grado de crecimiento de los países, ya que, por ejemplo según lo que menciona Cienciamx (2018) “en países desarrollados de Europa, así como Estados Unidos, Japón, China o Australia, el mayor desperdicio de alimentos se da en la distribución y, particularmente en el consumidor, debido a que este último compra más de lo que puede comer; mientras que en naciones con ingresos bajos, la pérdida se presenta en todos los eslabones de la cadena, ante la falta de infraestructura, tecnologías obsoletas y carencia de recursos para invertir en la producción” (p. 1).

■ **Tabla 1. Contribuciones de las tecnologías de la información y la comunicación en las etapas de los sistemas alimentarios para la reducción de desperdicios de alimentos.**
 Table 1. Contributions of information and communication technologies in the stages of food systems for the reduction of food wastes.

Etapa del sistema alimentario	Contribución en el desperdicio de alimentos	Tecnologías de la información y la comunicación utilizadas
Producción primaria	Trazabilidad y calidad de los alimentos mediante dispositivos inteligentes.	IoT, RFID
	Etiquetado dinámico de productos.	RFID
	Provisión de recursos para la obtención de alimentos.	CCT
Almacenamiento y distribución	Rastreo de productos alimenticios.	IoT
	Geolocalización en tiempo real mediante el monitoreo de traslados.	
	Utilización de sensores para monitoreo de temperatura, humedad y ubicación.	IoT, RFID, <i>Crowdsourcing</i>
	Control de inventarios.	RFID
	Rescate de alimentos aún comestibles mediante alertas.	APP y plataformas web
Procesamiento y comercialización	Monitoreo de calidad y seguridad de los alimentos en las líneas de producción.	IoT
	Asignación de precios de forma automática.	RFID
	Desarrollo e innovación en nuevos productos alimenticios.	<i>Crowdsourcing</i>
	Información sobre las ventas de productos en tiempo real y ofrecimiento de ofertas.	APP y plataformas web
	Ofrecimiento de productos para llevar a precios reducidos.	
	Conexión de negocios locales para la comercialización de excedentes.	
	Mapeo de la emisión de carbono en el procesamiento de alimentos.	CCT
Consumo	Sensores en botes de basura y camiones recolectores en restaurantes.	IoT
	Gestión de mermas y alertas sobre el consumo de los alimentos, antes de su fecha de caducidad.	RFID
	Identificación y alertas a los consumidores finales para evitar el desperdicio.	<i>Crowdsourcing</i>

Continúa...

	Generar descuentos a los clientes para reducir el desperdicio de alimentos frescos.	APP y plataformas web
	Donaciones de alimentos con grados estéticos bajos.	
	Monitoreo de desperdicio en cocinas y restaurantes.	

México como país en vías de convertirse en un país avanzado, presenta en ocasiones, tecnologías obsoletas o estas TIC no tienen un alcance para todos los actores involucrados en la producción de alimentos. Aunado a que el impulso y desarrollo de las TIC se ha aplicado fundamentalmente en el sector frutícola, durante la etapa de postcosecha, en el diseño, planteamiento o en la realización de tecnologías y aplicaciones para riego, uso de sensores para el monitoreo de parámetros agronómicos, agricultura de precisión, además de la trazabilidad y gestión de rutas más sostenibles y de logística en el transporte y distribución (Interempresas, 2020).

A nivel mundial, se han propuesto ciertas iniciativas enfocadas en acabar con el desperdicio de alimentos destinados al aprovechamiento humano (FAO, 2019). En México, las asociaciones de Bancos de Alimentos de México (BAMX), Alimentos para Todos y Banco de Alimentos Carita, tratan de erradicar el hambre y la desnutrición, a través de la recaudación de alimentos y la Cruzada Nacional contra el Hambre (Cienciamx, 2018). El objetivo principal es buscar estrategias que ayuden a minimizar las pérdidas postcosecha y de alimentos durante su almacenamiento, transporte, distribución y comercialización; se han propuesto proyectos enfocados en optimizar la cadena alimentaria de frutas, desde la recolección al punto de venta, mediante la digitalización y aplicación de TIC, con el fin de mantener la calidad inicial y reducir las pérdidas, tales como el Proyecto TICS4FRUIT: “Diseño de TICS para optimizar cadena postcosecha y distribución de fruta”, en el cual se analizan fuentes de datos externas como internas; el análisis de datos con tecnologías Big

Data, desarrollo de etiquetas inteligentes y diferentes APP y la definición y diseño de procesos logísticos (Interempresas, 2020). Tomra Food trabaja en colaboración con agricultores, procesadores y comercios ofreciendo soluciones de clasificación basada en sensores, que determinan los estándares de calidad, lo que facilita la venta de frutas y verduras como productos de menor calidad, pero aún aptos para su consumo (Interempresas, 2019).

Una de las tecnologías identificadas es el uso de sensores RFID o tecnología de radiofrecuencia que permite el monitoreo de los productos durante su traslado por la cadena de suministro. Los sensores tienen la capacidad de almacenar datos sensibles de los productos como la humedad, temperatura y ubicación en la transportación, que a su vez pueden ser enviados hacia centros de monitoreo. En consecuencia, los sensores generadores de datos forman parte del IoT, tecnología que según Bouzembrak y col. (2019) es una de las nuevas áreas promesa en el sector alimentario, con aplicación en la agricultura de precisión, producción de comida, procesamiento, almacenaje, distribución, consumo, trazabilidad, visibilidad y desafíos de controlabilidad. La información generada en las diferentes tecnologías mencionadas puede servir de base para la operación de otras herramientas como el *crowdsourcing*, que según Soon y Saguy (2017) permite la participación de diferentes agentes (almacenes, tiendas, consumidores) con la finalidad de dar respuesta a problemáticas mediante soluciones definidas de manera conjunta.

En lo que respecta a aplicaciones móviles y plataformas web, tales como MyFoody, LeLoca, Too Good to go y Olio, ayudan a reducir el

desperdicio de alimentos y al mismo tiempo generan beneficios para sus usuarios. Sus funciones principales van desde la venta con descuento de productos con fecha próxima de caducidad, reservado de mesas en restaurantes, para el consumo de platillos con descuento y conectar personas que compartan alimentos de buena calidad a otras personas con necesidades alimentarias. Por último, está la CCT, que ofrece sus servicios en internet (nube) y que pueden ser utilizados de apoyo en actividades de producción, procesamiento y ventas.

Es importante la implementación de tecnologías en las diferentes etapas de la cadena de suministro para lograr el cumplimiento de los objetivos incluidos en la agenda 2030, sobre el desarrollo sostenible aprobado por la Organización de las Naciones Unidas de acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015). Actualmente, el índice de inseguridad alimentaria en el mundo es de 17.2 % de la población. Se estima que 1 300 millones de personas han experimentado inseguridad alimentaria en niveles moderados. Sin embargo, la cifra asciende a 26.4 % de la población mundial, esto es alrededor de 2 000 millones de personas, al considerar inseguridad alimentaria en niveles moderados y graves.

En México, de acuerdo con Aguirre y col. (2017), el 70 % de los hogares cuentan con algún grado de inseguridad alimentaria, de los cuales el 42.6 % presentan inseguridad alimentaria leve, 17.7 % moderada y 10.5 % severa. Mundo-Rosas y col. (2018), señalan que 7 de cada 10 hogares en México presentan inseguridad alimentaria, que se ve reflejada en problemas de nutrición, tales como la baja talla en preescolares, diabetes, hipertensión, sobrepeso y obesidad en mujeres en edad reproductiva y la mala calidad de la dieta. Estos problemas de salud pública podrían verse aminorados mediante el aprovechamiento, disponibilidad y manejo adecuado de los alimentos.

La disminución de residuos, principalmente durante la comercialización y consumo, puede

contribuir a la reducción de contaminantes, que dejan una enorme huella de carbono, equivalente a 3 300 millones de T de dióxido de carbono y la generación de 193 millones de T de gases de efecto invernadero, asociados a los 715 millones de T de frutas y verduras que se desperdician anualmente a nivel mundial (Ganar-ganar, 2019); además de la huella hídrica, ya que el agua que se utiliza para producir alimentos que terminan en la basura es de 40 000 millones de m³, equivalente a 2.4 años de consumo de agua de todos los mexicanos.

Se requiere un mejor control en el aprovechamiento de los alimentos y de la suma de acciones por parte de la ciencia, tecnología, gobierno e iniciativas sociales, así como los sectores y actores involucrados en la producción de alimentos, para apoyar en reducir o eliminar el número de personas vulnerables que viven con diferentes grados de inseguridad alimentaria o que viven en situación de hambre (Forbes, 2020).

Es evidente que el uso de las TIC representa una alternativa viable emergente para que, durante toda la cadena productiva, se reduzcan de manera drástica las pérdidas y desperdicios de alimentos, y de esta manera contribuir a la gran lucha contra el hambre y los problemas actuales de malnutrición. Estas acciones ayudarían a la población a que tenga la oportunidad de consumir productos más baratos y en buen estado, a canalizar apoyos alimentarios a poblaciones vulnerables y aumentar la disponibilidad y asequibilidad de alimentos nutritivos que constituyen una dieta saludable. Además, de que su utilización promueve sistemas alimentarios colaborativos y eficientes, para la sensibilización e innovación social, que se vean reflejados en la promoción de mejoras en la forma en que se producen, procesan, distribuyen, compran y consumen los alimentos, y los múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales.

CONCLUSIONES

La utilización de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) mostradas en el

presente trabajo pueden contribuir a la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, específicamente de las frutas y verduras, cuya comercialización está limitada por su corta vida útil y los múltiples actores involucrados en todo el suministro de estos. La operatividad, implementación y eficiencia del uso de las TIC, dentro del sistema alimentario de frutas y verduras podría tener impacto en la seguridad alimentaria y la nutrición de la población, de la cual el 70.8 % padecen algún grado de inseguridad alimentaria. También impactarían fa-

vorablemente en el medio ambiente, al reducir los contaminantes, que dejan una enorme huella de carbono y la generación de toneladas de gases de efecto invernadero, además del inadecuado aprovechamiento de agua que es utilizada en producir alimentos. Los datos digitalizados en cada etapa puedan ser procesados en conjunto para tener un mejor control en el aprovechamiento de los alimentos. En México, es factible implementar las TIC en el comercio electrónico, para obtener beneficios económicos, sociales y medioambientales.

REFERENCIAS

- Abad, E., Palacio, F., Nuin, M., De-Zarate, A. G., Juarros, A., Gómez, J. M., and Marco, S. (2009). RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. *Journal of Food Engineering*, 93(4): 394-399.
- Agencia EFE (2017). Banco Mundial: México despilfarró el 24% de su producción alimentaria. [En línea]. Disponible en: [fe.com/efe/america/mexico/banco-mundial-mexico-despilfarró-el-34-de-su-producción-alimentaria/500005453461427#:~:text=El%20estudio%2C%20presentado%20este%20jueves,generación%20de%20bióxido%20de%20carbono](https://www.efecom.com/america/mexico/banco-mundial-mexico-despilfarró-el-34-de-su-producción-alimentaria/500005453461427#:~:text=El%20estudio%2C%20presentado%20este%20jueves,generación%20de%20bióxido%20de%20carbono). Fecha de consulta: 15 de enero de 2021.
- Ágora (2016). Apps que salvan la comida del desperdicio. [En línea]. Disponible en: <https://www.agorarsc.org/apps-que-salvan-la-comida-del-desperdicio/>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2021.
- Aguirre, H. B., García, J. F. T., Vázquez, M. C. H., Alvarado, A. M. y Romero, H. Z. (2017). Panorama general y programas de protección de seguridad alimentaria en México. *Revista Médica Electrónica*, 39: 741-749.
- Baig, M. B., Al-Zahrani, K. H., Schneider, F., Straquadine, G. S., and Mourad, M. (2019b). Food waste posing a serious threat to sustainability in the Kingdom of Saudi Arabia – A systematic review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7): 1743-1752.
- Baig, M. B., Gorski, I., and Neff, R. A. (2019a). Understanding and addressing waste of food in the Kingdom of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7): 1633-1648.
- Balaji, M. and Arshinder, K. (2016). Modeling the causes of food wastage in Indian perishable food supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 114: 153-167.
- Baourakis, G., Kourgiantakis, M., and Migdalas, A. (2002). The impact of e-commerce on agro-food marketing: The case of agricultural cooperatives, firms and consumers in Crete. *British Food Journal*, 104(8): 580-590.
- Berg, J. and Henriksson, M. (2020). In search of the ‘good life’: Understanding online grocery shopping and everyday mobility as social practices. *Journal of Transport Geography*, 83: 102633.
- Bibi, F., Guillaume, C., Gontard, N., and Sorli, B. (2017). A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 62: 91-103.
- Bilska, B., Piecek, M., Bilska, B., Piecek, M., and Kolożyn-Krajewska, D. (2018). A multifaceted evaluation of food waste in a Polish Supermarket—Case Study. *Sustainability*, 10(9): 3175.
- Bouzembrak, Y., Klüche, M., Gavai, A., and Marvin, H. J. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 94: 54-64.
- Cabero, A. J. (1998). Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación: aportaciones a la enseñanza. En J. Cabero (Ed.), *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación* (pp. 15-38). Madrid: Síntesis.
- Canavari, M., Fritz, M., Hofstede, G. J., Matopoulos, A., and Vlachopoulou, M. (2010). The role of trust in the transition from traditional to electronic B2B relationships in agri-food chains. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2): 321-327.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>. Fecha de consulta: 28 de noviembre de 2020.
- Cicatiello, C., Franco, S., Pancino, B., and Blasi, E. (2016). The value of food waste: An exploratory study on retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30: 96-104.

Cienciamx (2018). La lucha por abatir el desperdicio de alimentos en México. [En línea]. Disponible en: <http://www.cienciamx.com/index.php/reportajes-especiales/22910-desperdicio-alimentos-iniciativas-mexico>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2021.

Cristobal-Fransi, E., Montegut-Salla, Y., Ferrer-Rosell, B., and Daries, N. (2020). Rural comparatives in the digital age: An analysis of the Internet presence and degree of maturity of agri-food cooperatives's-commerce. *Journal of Rural Studies*. 74: 55-66.

Cultura colectiva (2014). La historia del E-commerce. [En línea]. Disponible en: <https://culturacolectiva.com/tecnologia/la-historia-del-e-commerce#:~:text=De%20acuerdo%20al%20Centro%20Global,por%20intercambio%20o%20contacto%20f%C3%ADsico>. Fecha de consulta: 4 de diciembre de 2020.

Digital Initiative (2018). Crowdsourcing your next chip flavor: Lay's "Do us a flavor" campaign. [En línea]. Disponible en: <https://digital.hbs.edu/platform-digit/submission/crowdsourcing-your-next-chip-flavor-lays-do-us-a-flavor-campaign/>. Fecha de consulta: 5 de enero de 2021.

ECURED (2019). Tecnología de nube, Cuba. [En línea]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Tecnolog%C3%ADa_de_nube. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019.

El-Bilali, H. and Allahyari, M. S. (2018). Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication Technologies. *Information Processing in Agriculture*. 5(4): 456-464.

El Comercio (2019). América bota millones de toneladas de alimentos mientras crece el hambre. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/america-desperdicio-toneladas-alimentos-fao.html>. Fecha de consulta: 26 de enero de 2021.

Espacioteca (2017). Las TIC ¿Qué son y para qué sirven? [En línea]. Disponible en: <https://espacioteca.com/2017/03/26/las-tic-que-son-y-para-que-sirven/>. Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2019.

FAO, Food and Agriculture Organization (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Pérdida y desperdicio de alimentos. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019.

Foodtank (2015). 23 aplicaciones móviles que cambian el sistema alimentario. [En línea]. Disponible en: <https://foodtank.com/news/2015/01/twenty-three-mobile-apps-changing-the-food-system/>. Fecha de consulta: 20 de abril de 2021.

Forbes (2020). Cada mexicano desperdicia 158 kilos de comida al año. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/cada-mexicano-desperdicia-158-kilos-de-comida-al-ano/>. Fecha de consulta: 24 de marzo de 2021.

Ganar-ganar (2019). México: Con esto podríamos alimentar a 260 millones. [En línea]. Disponible en: <https://ganar-ganar.mx/2019/06/07/mexico-con-esto-podriamos-alimentar-a-260-millones/>. Fecha de consulta: 24 de marzo de 2020.

Garrone, P., Melacini, M., and Perego, A. (2014). Opening the black box of food waste reduction. *Food Policy*. 46: 129-139.

Gestiopolis (2017). Comercio electrónico. Ideas fundamentales. [En línea]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/comercio-electronico-ideas-fundamentales/>. Fecha de consulta: 19 de julio de 2021.

Göbel, C., Langen, N., Blumenthal, A., Teitscheid, P., and Ritter, G. (2015). Cutting food (waste through cooperation along the food supply chain. *Sustainability*. 7(2): 1429-1445.

Harvey, J., Smith, A., Goulding, J., and Illodo, I. B. (2020). Food sharing, redistribution, and waste reduction via mobile applications: A social network analysis. *Industrial Marketing Management*. 88: 437-448.

He, B., Gan, X., and Yuan, K. (2019). Entry of online presale of fresh produce: a competitive analysis. *European Journal of Operational Research*. 272(1): 339-351.

Interempresas (2019). Las nuevas tecnologías ayudan a los supermercados a reducir el desperdicio de alimentos. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/248282-Las-nuevas-tecnologias-ayudan-a-los-supermercados-a-reducir-el-desperdicio-de-alimentos.html>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2021.

Interempresas (2020). Proyecto TICS4FRUIT: 'Diseño de TICS para optimizar la cadena postcosecha y distribución de fruta. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/306710-Proyecto-TICS4FRUIT-Diseno-TICS-para-optimizar-cadena-postcosecha-distribucion-fruta.html>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Jabangwe, R., Edison, H., and Duc, A. N. (2018). Software engineering process models for mobile app development: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*. 145: 98-111.

McCarthy, U., Uysal, I., Badia-Melis, R., Mercier, S., O'Donnell, C., and Ktenioudiaki, A. (2018). Global food security – Issues, challenges and technological solutions. *Trends in Food Science & Technology*. 77: 11-20.

Michellini, L., Principato, L., and Iasevoli, G. (2017). Understanding food sharing models to tackle sustainability challenges. *Ecological Economics*. 145: 205-217.

Mundo-Rosas, V., Vizuet-Vega, N. I., Martínez-Domínguez, J., Morales-Ruán, M., Pérez-Escamilla, R. y Shamah-Levy, T. (2018). Evolución de la inseguridad alimentaria en los hogares mexicanos: 2012-2016. *Salud Pública de México*. 60: 309-318.

Muth, M., Birney, C., Cuéllar, A., Finn, S. M., Freeman, M., Galloway, J., ..., and Zoubek, S. (2019). A systems approach to

assessing environmental and economic effects of food loss and waste interventions in the United States. *Science of the Total Environment*. 685:1240-1254.

Nosrati, M., Karimi, R., and Hasanvand, H. A. (2012). Mobile computing: principles, devices and operating systems. *World Applied Programming*. 2(7): 399-408.

Oracle México (2019). RFID: ¿Qué es Internet of Things (IoT)?, México. [En línea]. Disponible en: [https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=El%20Internet%20of%20Things%20\(IoT,sistemas%20a%20trav%C3%A9s%20de%20Internet](https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=El%20Internet%20of%20Things%20(IoT,sistemas%20a%20trav%C3%A9s%20de%20Internet). Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019.

Pedroso, R. N. (2013). Nuevo paradigma en la tecnología: computación en la nube. *Serie Científica de la Universidad de Ciencias Informáticas*. 5(5): 62-69.

Peira, G., Bollani, L., Giachino, C., and Bonadonna, A. (2018). The management of unsold food in outdoor market areas: food operators' behaviour and attitudes. *Sustainability*. 10(4): 1180.

Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., and Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*. 139: 135-149.

Pozzi, A. (2013). E-commerce as a stockpiling technology: Implications for consumer savings. *International Journal of Industrial Organization*. 31(6): 677-689.

Rockcontent (2019). Crowdsourcing: qué es y cómo se encaja en el Marketing Digital. [En línea]. Disponible en: <https://rockcontent.com/es/blog/crowdsourcing/>. Fecha de consulta: 28 de enero de 2021.

Russo, E. (2016). Short channels: a brand strategy for the Piana del Sele. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 8: 494-498.

Sánchez-Torres, J. A., Arroyo-Cañada, F. J., Varon-Sandoval, A., and Sánchez-Alzate, J. A. (2017). Differences between e-commerce buyers and non-buyers in Colombia: The moderating effect of educational level and socioeconomic status on electronic purchase intention. *DYNA*, 84(202): 175-189.

Scholz, K., Eriksson, M., and Strid, I. (2015). Carbon footprint of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*. 94: 56-65.

Singh, A., Mishra, N., Ali, S. I., Shukla, N., and Shankar, R. (2015). Cloud computing technology: Reducing carbon footprint in beef supply chain. *International Journal of Production Economics*. 164: 462-471.

Soon, J. M. and Saguy, I. S. (2017). Crowdsourcing: A new conceptual view for food safety and quality. *Trends in Food Science & Technology*. 66: 63-72.

Spruit, D. and Almenar, E. (2021). First market study in e-commerce food packaging: Resources, performance, and

trends. *Food Packaging and Shelf Life*. 29:100698.

Strzębicki, D. (2015). The development of electronic commerce in agribusiness – The polish example. *Procedia Economics and Finance*. 23: 1314-1320.

Tao, F., Fan, T., Lai, K. K., and Li, L. (2017). Impact of RFID technology on inventory control policy. *Journal of the Operational Research Society*. 68(2): 207-220.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2019). Information and communication technologies (ICT). [En línea]. Disponible en: <http://uis.unesco.org/en/glossary-term/information-and-communication-technologies-ict>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019.

Universidad Internacional de Valencia (2019). RFID: que es y cómo funciona, España. [En línea]. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/rfid-que-es/>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019.

Vallandingham, L. R., Yu, Q., Sharma, N., Strandhagen, J. W., and Strandhagen, J. O. (2018). Grocery retail supply chain planning and control: Impact of consumer trends and enabling technologies. *IFAC-PapersOnLine*. 51(11): 612-617.

Wen, Z., Hu, S., De-Clercq, D., Beck, M. B., Zhang, H., Zhang, H., ..., and Liu, J. (2018). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*. 73: 26-38.

Zeng, Y., Jia, F., Wan, L., and Guo, H. (2017). E-commerce in agri-food sector: a systematic literature review. *International Food and Agribusiness Management Review*. 20(4): 439-459.