



"Patio familiar de la comunidad de Paso Panal, Paso de Ovejas"



Imágenes de: Patricia Cruz Bautista
"Especies ornamentales en el patio familiar, El Hatito, Paso de Ovejas"

Riqueza vegetal en patios familiares del trópico mexicano: hallazgos desde la teoría de polos de desarrollo

Species richness in residential yards of the Mexican tropics: findings from development pole theory

Patricia Cruz-Bautista¹, Juan Pablo Martínez-Dávila², Tania Gómez-Hernández¹, Lorena Casanova-Pérez^{3*}

RESUMEN

La riqueza de especies existentes en el patio familiar es el resultado de la coincidencia de procesos sociales, económicos, culturales y ambientales, que suceden más allá de sus límites físicos. Una teoría aún vigente para comprender estos factores externos es la teoría de polos de desarrollo. El objetivo de la presente investigación fue conocer la riqueza de especies vegetales comestibles *versus* ornamentales en patios familiares de 13 comunidades de Paso de Ovejas, Veracruz y la influencia que tiene en ello el polo de desarrollo más cercano (cabecera municipal). Se aplicó una encuesta consistente en 443 cuestionarios, a través de un muestreo no probabilístico de tipo accidental. En el análisis de los datos se usó estadística descriptiva e inferencial (componentes principales) y los índices de familiaridad (IF), valor de uso (IVU) y consenso del informante (ICF). Los resultados obtenidos sugieren que la riqueza de especies ornamentales *versus* comestibles está relacionada con la lejanía o cercanía al polo de desarrollo. La influencia de este polo afecta la dinámica socioeconómica familiar, cuyos miembros, si bien evidencian un alto grado de familiaridad con las especies existentes en sus patios familiares, también expresan la generación de condiciones de posibilidad para que parte de ellas (especies comestibles) puedan ser progresivamente abandonadas en su uso y manejo, como sucede en una comunidad de la ruta 3. Se concluye que, en la determinación de la riqueza de especies del patio familiar interviene el polo de desarrollo, como un factor exógeno, el cual trastoca la dinámica familiar en las comunidades que lo circundan. Dicha información se considera relevante para los tomadores de decisiones en el diseño de estrategias de fortalecimiento de este agroecosistema tradicional.

PALABRAS CLAVE: agroecosistema tradicional, estructura, función, polo de desarrollo, factor exógeno.

ABSTRACT

The richness of plant species in residential yards is the result of the coincidence of social, economic, cultural and environmental processes that occur beyond their physical boundaries. A still relevant theory to understand these external factors is the Theory of Poles of Development. The objective of this research was to know the richness of edible versus ornamental plant species in residential yards of 13 communities in Paso de Ovejas, Veracruz, and the influence that the development pole (municipal head) has on it. 443 questionnaires were administered through a non-probabilistic accidental type sampling procedure. Data analysis involved descriptive and inferential statistics (main components), and the application of indexes of Familiarity (IF), Use Value (IVU) and Informant Consensus (ICF). The results obtained suggest that the richness of ornamental versus edible species is influenced by the distance or proximity to the development pole. The influence of this development pole will affect family socioeconomic dynamics, whose members show a high degree of familiarity with the species existing in their family yards, but also express that the generation of conditions of possibility in such a way that part of edible species can be progressively abandoned in their use and management, as happens in a community on route 3. It is concluded that the determination of the species richness of residential yards is influenced by the development pole as an exogenous factor, which disrupts family dynamics in the surrounding communities. Such information is considered relevant for decision makers in the design of strategies to strengthen this traditional agroecosystem.

KEYWORDS: traditional agroecosystem, structure, function, development pole, exogenous factor.

*Correspondencia: lorena.casanova@uthh.edu.mx/ Fecha de recepción: 8 de agosto de 2020/ Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2020/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Agronómica-Zootecnia, Tecamachalco, Puebla, México. ²Colegio de Postgraduados, Programa Agroecosistemas Tropicales, Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. ³Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Programa Educativo Agrobiotecnología, carretera Huejutla-Chalahuiyapa s/n, col. Tepoxteco, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México, C. P. 43000.

INTRODUCCIÓN

La estructura y función del patio familiar como agroecosistema tradicional es históricamente el resultado de la convergencia de procesos sociales, económicos, culturales y ambientales (Cano, 2015). El patio familiar provee alimento a las familias rurales de escasos recursos en periodos de contingencias económicas y ambientales (Whitney y col., 2017), y también conserva recursos fitogenéticos usados para propósitos diversos (medicinal, religioso, espacio de esparcimiento) (Panyadee y col., 2019). De este modo, el patio familiar participa en la conservación de la biodiversidad y agrobiodiversidad (De-Souza y col., 2017).

El patio familiar ha contribuido a la calidad de vida, tanto de las familias rurales como de las comunidades, al propiciar estrechos vínculos entre sus habitantes y fortalecer la confianza social (Casanova-Pérez y col., 2019), lo que ocasiona procesos de arraigo e identidad en cada región (González y col., 2019). En una primera etapa, esta relevancia hizo que investigadores enfocaran sus esfuerzos al estudio de los factores endógenos que inciden en su estructura y función, lo que generó conocimiento valioso al respecto (Pulido-Salas y col., 2017).

Actualmente es urgente abordar también aquellos factores exógenos que definen al patio familiar (Cano, 2015). Aportaciones nuevas en este sentido son las dirigidas a explicar el rol que tiene el patio familiar en la vida de los inmigrantes (Mazumdar y Mazumdar, 2012), su efecto en la política, la economía y la seguridad alimentaria (Whitney y col., 2017; Panyadee y col., 2018).

Uno de los factores exógenos que incide en la conformación de los patios familiares es su distancia a los centros urbanos más cercanos. Este planteamiento está basado en la teoría de los polos de desarrollo expuesta por Perroux, cuyo fin es explicar cómo sucede la estructuración del espacio geográfico (Correa, 2000; Pérez, 2016), al cual subyace cierto acomodo espacial donde ocurren diferentes procesos económicos que afectarán la toma de decisio-

nes de quienes lo habitan y, que, en el caso particular de este estudio, inciden en la riqueza de especies en los patios familiares allí existentes (Dobrescua y Dobre, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación entre la riqueza de especies vegetales presentes en los patios familiares de 13 comunidades circundantes a la cabecera municipal de Paso de Ovejas, Veracruz, México y la influencia de este como el polo de desarrollo más cercano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque teórico

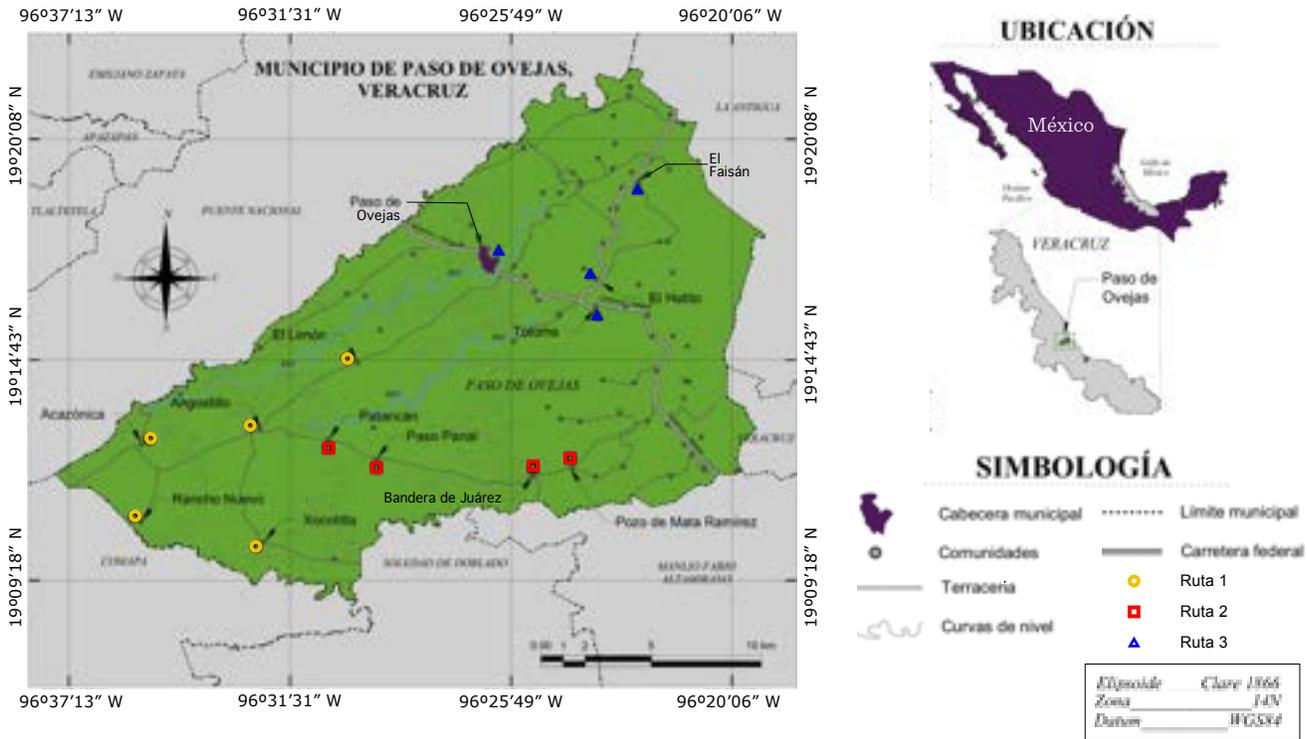
Un enfoque teórico utilizado para el diseño metodológico y el análisis de los resultados obtenidos en esta investigación se basó en la teoría de polos de desarrollo, cuyo principal planteamiento es que el desarrollo no se presenta simultáneamente en todas partes y al mismo tiempo, se difunde por diversos canales y tiene efectos finales diversos para la economía en su conjunto (Pietak, 2011). En consecuencia, se considera que el efecto de la cercanía o lejanía de una localidad rural, respecto al polo de desarrollo, influirá en la toma de decisiones de los productores en el manejo de sus agroecosistemas, principalmente aquellos de recursos bajos (enfoque agroecológico).

Área de estudio

El área de estudio estuvo conformada por 13 comunidades de Paso de Ovejas, Veracruz, México, situado en el Sotavento a 19°18'26" N, 96°27'16" W. Este municipio está ubicado a una altitud promedio de 40 msnm y limita con los siguientes municipios: al norte con Puente Nacional y La Antigua; al este con La Antigua, Veracruz y Manlio Fabio Altamirano; al sur con Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Comapa; al oeste con Comapa y Puente Nacional (INEGI, 2020) (Figura 1).

Trabajo de campo

Se definieron tres rutas de trabajo, para lo cual se consideraron las condiciones de las vías de acceso y la distancia a la cabecera municipal,



Fuente: Modificado a partir de INEGI (2020), Paso de Ovejas, Veracruz, México.

■ **Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.**

Figure 1. Geographic location of the municipality of Paso de Ovejas, Veracruz.

identificada como un polo de desarrollo (Tabla 1). En cada ruta se utilizó el muestreo no probabilístico de tipo accidental o consecutivo (Otzen y Manterola, 2017). Se encuestaron 35 personas en cada una de las comunidades ubicadas a lo largo de cada ruta, con excepción de Patancán y Paso Panal, situadas sobre la ruta de trabajo 2, donde únicamente fueron encuestadas 30 y 28 personas, respectivamente. Se hicieron en total 443 encuestas. Lo anterior requirió el diseño de un cuestionario aplicado a través de entrevistas “cara a cara” que constó de 5 secciones: información del entrevistado, ubicación del patio familiar dentro de la comunidad, identificación y cuantificación de especies vegetales existentes en los patios familiares (particularmente las utilizadas como alimento y las de ornato), una sección de preguntas abiertas sobre cambios en la dinámica del patio familiar y los factores detonantes que afectaron las decisiones sobre su manejo; y una guía de observación del arreglo espacial del patio familiar. La encuesta se realizó durante enero y febrero de 2015.

Otro instrumento metodológico usado fue el diario de campo, donde se registró información sobre la relación de las características del entorno del patio familiar, interacciones entre los miembros de la familia y su participación en el manejo del huerto y percepción de la importancia del mismo en su modo de vida. Fue también relevante la revisión documental, de estudios similares realizados dentro y fuera del país, la cual se efectuó en motores de búsqueda como *Elsevier*, *Jstor* y *Science Direct*.

La identificación botánica de las especies implicó la colecta de ejemplares (un individuo por especie y cinco duplicados), para lo cual se estableció un código de colecta, llenado de etiqueta de datos, prensado y secado de ejemplares y el manejo de guías botánicas. Adicionalmente, se llevó un registro fotográfico. El 85 % de las especies encontradas fueron reconocidas con su nombre científico a través de la revisión de estudios previos en el centro de Veracruz (Nash y Moreno, 1984; Gómez-Pom-

■ **Tabla 1. Rutas de trabajo en el área de estudio y criterios de selección.**

Table 1. Working routes in the study area and selection criteria.

Ruta	Comunidades	Criterio de decisión	Encuesta
1	Acazónica, Xocotitla, Rancho Nuevo, Angostillo y El Limón	Gran parte de la vía de acceso está pavimentada, otra parte es de terracería, poco tránsito de vehículos particulares, sólo una corrida de transporte público	Aplicación de 35 cuestionarios en cada comunidad (175 en total, todas fueron mujeres)
2	Patancán, Paso Panal, Pozo de Mata Ramírez y Bandera de Juárez	La carretera es secundaria, parcialmente pavimentada (del Pozo de Mata Ramírez a Bandera de Juárez). Poco transporte de Patancán a Paso Panal, hasta llegar al Pozo	Aplicación de 35 cuestionarios en 2 comunidades; en Patancán y Paso Panal se aplicaron 30 y 28, respectivamente (128 en total, 127 mujeres y 1 hombre)
3	El Faisán, El Hatito, Tolome y Paso de Ovejas	Hay acceso a vehículos de transporte público, la carretera es federal	Aplicación de 35 cuestionarios por comunidad (140 en total, todas las participantes fueron mujeres)

pa y col., 2010; Mendoza-García y col., 2011; Gámez-Montiel y col., 2017). El otro 15 % de las especies fue identificado (género y especie) por un experto del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Con base en la información anterior se obtuvo el índice de familiaridad (IF), índice de valor de uso (IVU) y el índice de consenso del informante (ICF), para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas planteadas por Jaramillo y col. (2014); Kayani y col. (2014) y Sher y col. (2019):

IF: FC/N

Dónde:

FC = Frecuencia con que se menciona la especie.

N = Número de entrevistados.

IVU = $\sum U_i/n$

Dónde:

U_i = Número total de registros/especies.

N = número de entrevistados.

ICF = $nur-nt/nur-1$

Dónde:

nur = número total de informes de la categoría (ruta de trabajo).

nt = número de especies utilizados en cada categoría (ruta de trabajo).

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados a través de estadística descriptiva; la herramienta *line plots* para analizar la riqueza de especies y la técnica de componentes principales, que tiene como propósito reducir el número de variables presentes en un conjunto de datos que intervienen en el fenómeno, lo que facilita conocer la relación entre elementos de una población y la influencia de las variables (Oliveros, 2014). Lo anterior requirió el uso del *Statistica* versión 7 (Statsoft, Inc. 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del agroecosistema patio familiar

Los patios familiares en el área de estudio se caracterizan por tener una superficie y riqueza de especies distintas. Los datos de la Tabla 2 muestran la diferencia en tamaño de los patios familiares según la localidad. La razón de la diferencia en superficie debe buscarse en la cantidad de hectáreas dotadas a cada ejido

■ Tabla 2. Características de los patios familiares en cada ruta de trabajo evaluada.
Table 2. Characteristics of residential yards in each working route evaluated.

Ruta	Comunidad	Superficie Promedio (M ²)	Distancia al polo de desarrollo (km)	Ocupación del terreno	Integrantes de la Familia	Toma de decisiones/ edad promedio (años)	Calidad de la ruta de acceso
1	Rancho Nuevo	38.5	20.8	Casa, cultivos, animales	4	Ama de casa (42)	Camino parcialmente pavimentado
	Acazónica	76.7	20.1	Casa, cultivos, animales	3	Ama de casa (50)	Camino parcialmente pavimentado
	Xocotitla	216.3	18.9	Casa, cultivos, animales	3	Ama de casa (47)	Camino de terracería
	Angostillo	101.4	13.6	Casa, cultivos, animales	3	Ama de casa (50)	Camino pavimentado
	El Limón	500	7.6	Casa, cultivos, animales	3	Ama de casa (47)	Camino pavimentado
2	Patancán	478.3	29.7	Casa, cultivos, animales	3	Ama de casa (50)	Camino de terracería
	Paso Panal	659.1	27.3	Casa, cultivos, animales	4	Ama de casa (45)	Camino de terracería
	Bandera de Juárez	687.9	19.5	Casa, cultivos, animales	4	Ama de casa (49)	Camino parcialmente pavimentado
	Pozo de Mata Ramírez	727.5	17.7	Casa, cultivos, animales	4	Ama de casa (47)	Camino pavimentado
3	El Faisán	412.9	11.8	Casa, plantas de ornato, galeras para coche, área de fiestas	4	Ama de casa (46)	Camino pavimentado
	Tolome	772.5	5.7	Casa, plantas de ornato, galeras para coche, área de fiestas, vivero	4	Ama de casa (54)	Camino pavimentado
	El Hatito	507.5	5.9	Casa, plantas de ornato, galeras para coche, área de fiestas	4	Ama de casa (49)	Camino pavimentado
	Paso de Ovejas	70.5	PD	Casa, cultivos, galeras para coche, área de fiestas	3	Ama de casa (52)	Camino pavimentado

y que se encuentra señalada en documentos en el Registro Agrario Nacional (RAN, 2018). Cabe señalar que cada una de las comunidades que forman las tres rutas de trabajo son a la vez los núcleos de asentamiento de los ejidos según su decreto de origen.

Se encontró que las mujeres adultas, de 42 a 54 años, son quienes se encargan fundamentalmente del manejo del patio familiar. Ellas comentaron sobre el poco interés de los más jóvenes en involucrarse en dicho manejo. En este sentido, es importante promover en las nuevas generaciones la conservación del conocimiento, tanto de las especies que conforman el patio familiar como de su uso y manejo (Pulido-Salas y col., 2017).

Especies predominantes en los patios familiares y distancia al polo de desarrollo

Se identificaron 33 especies en total. Los resultados indican que de los patios familiares del área de estudio, los de Paso Panal y Patancán registraron el mayor promedio de especies con fines alimenticios (52.3 ± 50.6 y

46.1 ± 51.4 , respectivamente), seguidos de Bandera de Juárez (41.4 ± 52.6) y Pozo de Mata Ramírez (35.5 ± 48.9). En contraste, El Faisán fue la comunidad cuyos patios familiares tuvieron un promedio menor (7.8 ± 12.0) en comparación con las demás comunidades que conforman las tres rutas. En los patios familiares ubicados en la cabecera municipal (polo de desarrollo) se encontró el número menor de especies comestibles (Tabla 3). En cuanto a las especies ornamentales, los patios familiares en Tolome (36.1 ± 45.3) se distinguen porque personas de esta comunidad tienen viveros y se dedican a la venta de plantas de ornato.

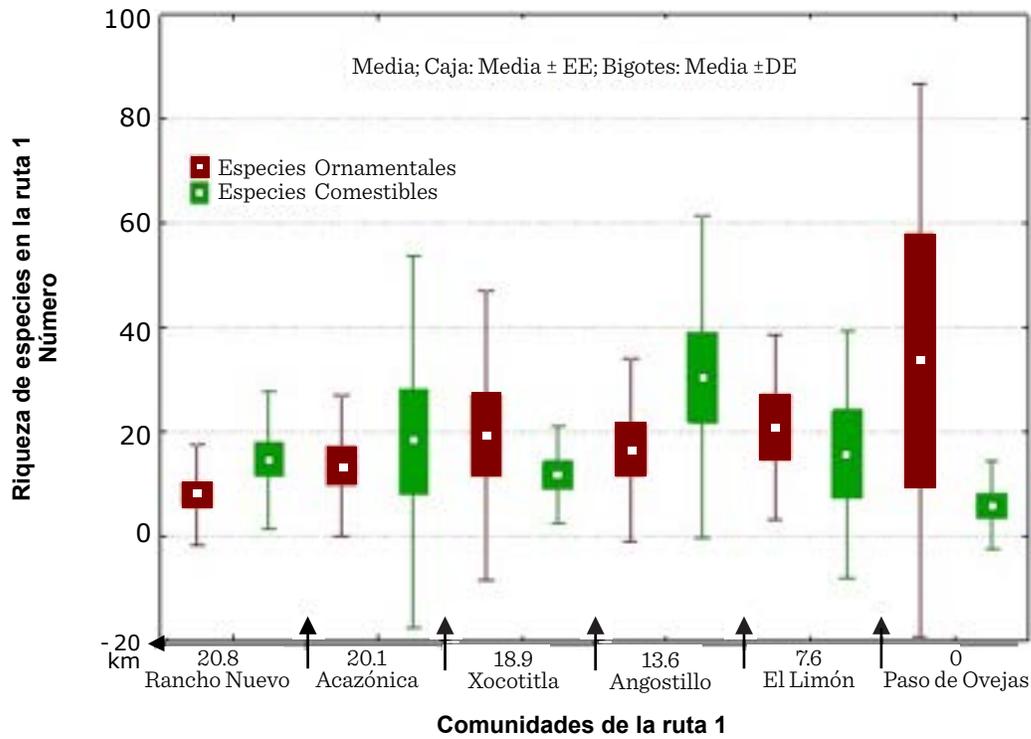
La relación entre el número de especies comestibles *versus* ornamentales parece estar influenciada por la distancia y el estado de las vías de comunicación que conducen a este polo de desarrollo (Tabla 3; Figuras 2, 3 y 4). En las comunidades que conforman la ruta 3, cercana a la cabecera y con mejores vías de comunicación se observan más especies ornamentales que comestibles. En la ruta 2, aleja-

■ **Tabla 3. Riqueza de especies comestibles y ornamentales en las 13 comunidades del municipio de Paso de Ovejas.**

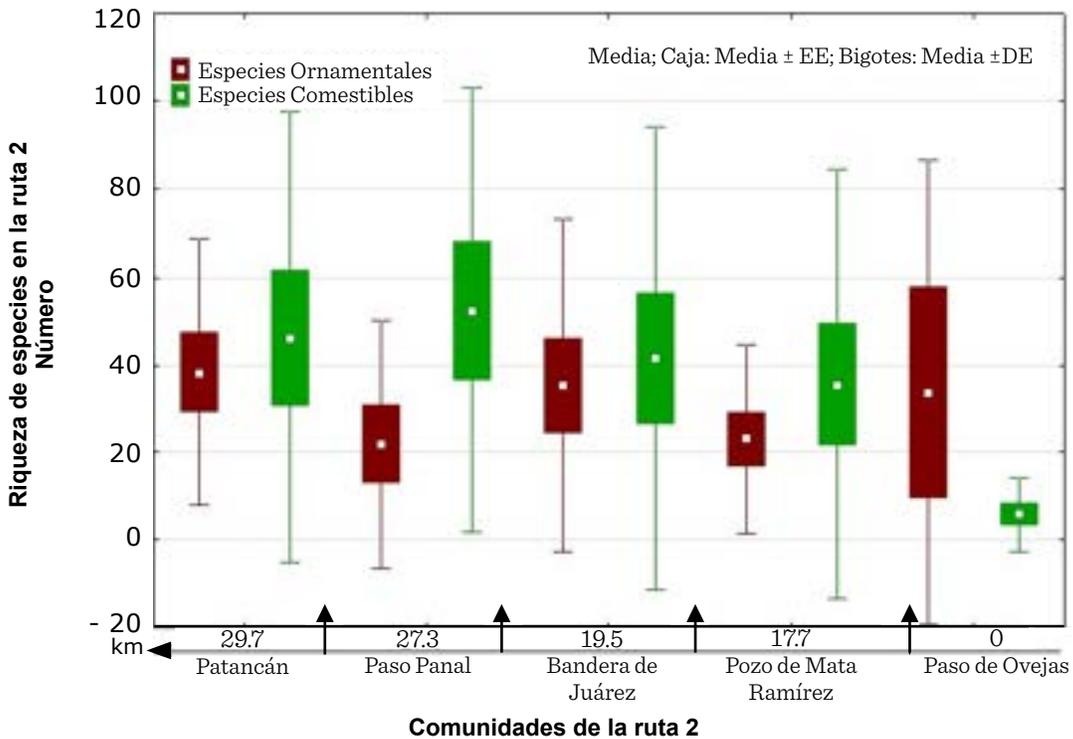
Table 3. Richness of edible and ornamental species in the 13 communities of the municipality of Paso de Ovejas.

Ruta	Localidad	Ruta	Distancia PD (km)	Ornamentales Media ± DE	Comestibles Media ± DE	msnm
1	Rancho Nuevo	1	20.8	8.5±10.6	15.5±13.8	300
	Acazónica	1	20.1	13.4 ±13.4	18.11±35.6	300
	Xocotitla	1	18.9	19.3±27.6	11.71±9.4	300
	Angostillo	1	13.6	16.5±17.4	30.4±30.9	200
	El Limón	1	7.6	22.4±15.1	15.8±19.1	100
2	Patancán	2	29.7	38.2±30.4	46.1±51.4	200
	Paso Panal	2	27.3	21.8±28.3	52.3±50.6	200
	Bandera de Juárez	2	19.5	35.3±38.0	41.4±52.6	200
	El Pozo de Mata Ramírez	2	17.7	22.9±21.6	35.5±48.9	200
3	El Faisán	3	11.8	16.5±12.2	7.8±12.03	100
	El Hatito	3	5.9	21.3±15.8	9.6±10.7	100
	Tolome	3	5.7	36.1±45.3	8.8±16.7	100
	Paso de Ovejas	PD	0	33.6±53.0	5.8±8.4	100

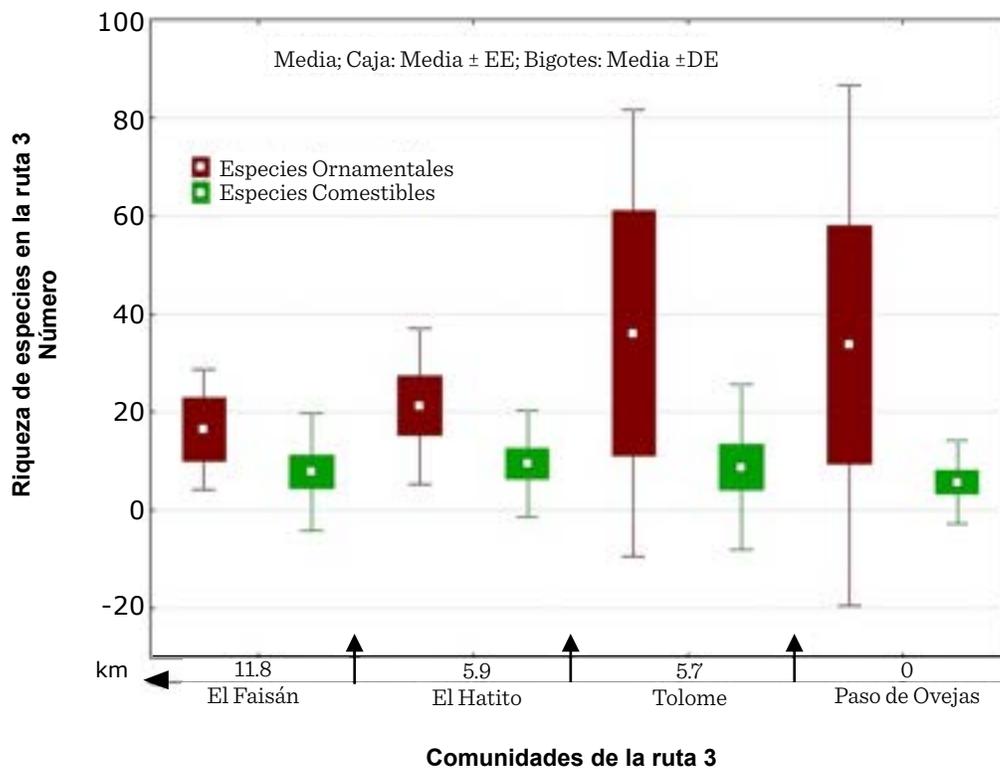
PD = Polo de Desarrollo; DE = Desviación Estándar.



■ Figura 2. Riqueza de especies comestibles *versus* ornamentales encontradas a lo largo de la ruta 1. Figure 2. Richness of edible and ornamental species found across the route 1.



■ Figura 3. Riqueza de especies comestibles *versus* ornamentales encontradas a lo largo de la ruta 2. Figure 3. Richness of edible and ornamental species found across the route 2.



■ **Figura 4.** Riqueza de especies comestibles *versus* ornamentales encontradas a lo largo de la ruta 3.
 Figure 4. Richness of edible and ornamental species found across the route 3.

da de la carretera y con vías de comunicación secundarias, se producen más especies comestibles.

La cercanía relativa del polo de desarrollo a las comunidades que conforman la ruta 1, también está relacionada con la existencia de carretera pavimentada y transporte público, por lo que en horarios específicos, según los entrevistados, los integrantes de la familia pueden ir a Paso de Ovejas a hacer sus compras o realizar actividades, como parte de su migración pendular o permanente para la obtención de ingresos no agrícolas.

Es de notar que en la ruta 1 las comunidades más cercanas al polo de desarrollo, en general, presentan un número mayor de especies ornamentales (Figura 2). El patrón de la ruta 1 también se repite en la ruta 3, donde se identifican dos zonas bien definidas (Figura 4), mientras más cercano al polo de desarrollo más abundancia de especies ornamentales. Estos patrones contrastan con la ruta 2, donde

se aprecia que en los patios familiares de las comunidades que la integran, es mayor el número de especies comestibles que en todas las rutas (Figura 3), siendo en general, las más alejadas al polo de desarrollo.

Cabe destacar que, de las tres rutas, la vía de acceso a la ruta 2 es la que está en condiciones más desfavorables, lo cual reduce el acceso de la población a la cabecera municipal (polo de desarrollo), por lo que este factor podría incidir en la decisión del controlador del agroecosistema en cuanto a qué especies cultivar en su patio familiar (Tabla 2).

Particularmente en la ruta 3, se debe considerar que se tiene la vía de acceso al polo de desarrollo en mejores condiciones, en comparación con las otras rutas. En cuanto a El Faisán y El Hatito, de acuerdo con los datos de los entrevistados, la preponderancia de especies ornamentales en los patios familiares comenzó a ser más evidente después de la inundación en 2010, provocada por

el Huracán “Karl” (Marinero y García, 2015), un fenómeno meteorológico que ocasionó la destrucción parcial de los patios familiares y la incorporación de más especies ornamentales como parte de su reconstrucción ulterior.

La mayoría de las familias en las comunidades que integran la ruta 3 prefiere las especies de ornato (Figura 4), argumentando que le dan un mejor aspecto a la casa-habitación, mientras que solo mantienen algunas especies comestibles, como son la yerbabuena (*Mentha spicata* L.) y el acuyo (*Piper auritum* Kunth), debido a que para ellos son fáciles de cuidar y no ocupan mucho espacio. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Mendoza-García y col. (2011), quienes encontraron que en El Faisán (ruta 3), el 70 % de las especies de los patios familiares eran especies ornamentales. En contraste, en los patios familiares de Angostillo (ruta 1), reportaron que este tipo de especies solo era del 10 %, contrario a lo encontrado en este estudio, en donde se observa mayor presencia de plantas de ornamento (Figura 2).

Lo anterior permite inferir que a una distancia mayor entre una comunidad y el polo de desarrollo, sumado a condiciones críticas de las vías de acceso y la existencia escasa de medios de transporte, las familias tenderán a preferir el cultivo de especies comestibles en sus patios familiares, lo cual les ahorrará tiempo y gastos de transporte para su obtención. En contraste, la cercanía de una comunidad al polo de desarrollo (cabecera municipal) facilitará la adquisición de alimentos, lo cual influirá en la preferencia de sembrar especies ornamentales.

Las comunidades que integran la ruta 3 son consideradas con un grado de marginación medio de acuerdo al Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2018), que se explica en parte por los ingresos de integrantes de la familia que realizan actividades extra finca, lo que les permite, según la información brindada por los entrevistados, adquirir en mayor medida sus alimentos en los mercados municipales. Por esta razón, las especies predominantes en su patio familiar tie-

nen un propósito estético, hecho que no ocurre con personas de escasos recursos y que viven en comunidades alejadas del polo de desarrollo, quienes tienen que adaptarse cultivando especies comestibles para su autoconsumo, como en el caso de la ruta 2, donde la distancia entre las comunidades y el polo de desarrollo está en un rango que va de los 17.7 km a 29.7 km (Tabla 2).

Los hallazgos coinciden con Salazar y Magaña (2016), quienes argumentan que los patrones de cultivos son influenciados por la cercanía a centros urbanos (Matijasevic y Ruíz, 2013). En este mismo sentido, Rayol y col. (2019) sugieren la importancia de considerar el ingreso de la familia como indicador de la riqueza de especies vegetales en los patios familiares de la Amazonia Central; es decir, se trata de una variable que indirectamente se relaciona con la cercanía o lejanía de las comunidades con el polo de desarrollo, donde las actividades económicas proveen empleos no agrícolas, oferta laboral que sirve como motor a la migración pendular que sucede diariamente en el área de estudio.

Prueba de componentes principales

La complejidad del agroecosistema patio familiar y, por ende, las múltiples interacciones entre sus componentes y el entorno requieren de análisis particulares. Para ello se recurrió a la prueba estadística denominada componentes principales. Los resultados conducen a que las variables explicativas distancia, riqueza de especies ornamentales y comestibles son las más significativas para explicar la riqueza de especies en los patios familiares de las comunidades que integran cada una de las rutas de trabajo analizadas (Tabla 4).

En la ruta 1, es el componente 1 el que explica mejor las variables, indicando que existe una correlación negativa entre la distancia al polo de desarrollo y la riqueza de especies ornamentales en los patios familiares de Rancho Nuevo, Acazónica, Xocotitla, Angostillo y El Limón. En otras palabras, cuando la distancia entre una comunidad y el polo de de-

■ **Tabla 4. Correlación entre variables y componentes principales.**

Table 4. Correlation between variables and main components.

Rutas	Variable	Componente 1	Componente 2
1	Distancia	- 0.663 188	0.203 652
	Comestibles	- 0.383 171	- 0.918 986
	Ornamentales	0.642 932	- 0.337 625
2	Distancia	- 0.659 562	0.586 065
	Comestibles	0.528 864	0.784 391
	Ornamentales	0.794 091	- 0.035 626
3	Distancia	0.472 727	0.759 063
	Comestibles	- 0.530 744	0.711 696
	Ornamentales	- 0.839 375	- 0.022 515

sarrollo es menor, la abundancia de especies ornamentales en los patios familiares aumenta.

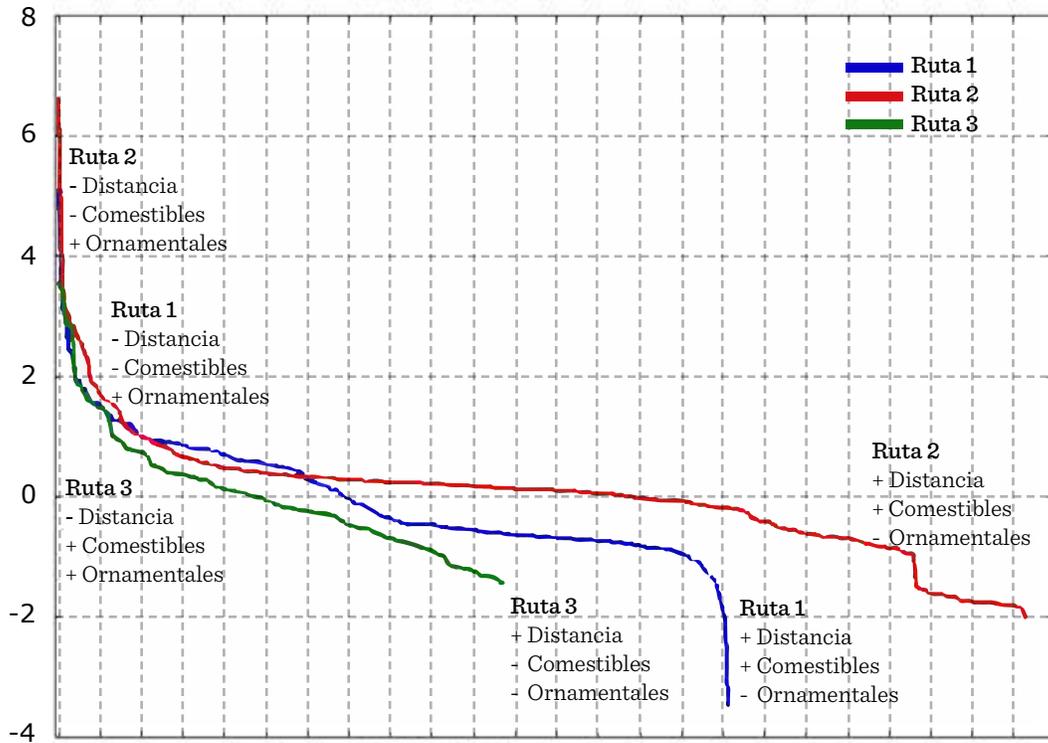
En particular, en la ruta 2 se observa que es el componente 2 el que explica mejor las variables, ya que existe una correlación positiva alta entre distancia y riqueza de especies comestibles en los patios familiares. Es decir, cuando aumenta la distancia entre el polo de desarrollo, respecto a donde se ubican estos patios familiares, aumenta la riqueza de especies comestibles en los mismos. Por último, es necesario mencionar que el comportamiento de la ruta 3 como se indica en la Figura 5, tiene un comportamiento atípico, ya que señala que, en general siempre existieron más plantas ornamentales que comestibles, pero a mayor distancia hay menos plantas ornamentales y las plantas comestibles no siguen un patrón definido. Aunque la ruta 3 es la más cercana al polo de desarrollo y actualmente cuenta con vías de comunicación en buen estado y hay acceso a abundante agua, la razón de esta situación podría ser explicada por los efectos del huracán Karl en el 2010, fenómeno meteorológico que destruyó tanto casas habitación como a los patios familiares de las co-

munidades al presentarse lluvia y viento intenso que destruyeron la infraestructura, particularmente en esta área, pero también provocaron caída de árboles y arbustos, y la inundación de comunidades como sucedió con El Faisán.

La influencia del polo de desarrollo ha provocado cambios en la riqueza de especies en los patios familiares de las comunidades en las diferentes rutas estudiadas. En las comunidades más cercanas, las familias han preferido gradualmente la presencia de más especies ornamentales, reduciendo el número de especies comestibles. Es decir, esta cercanía permite a las familias la diversificación del ingreso por actividades extra agrícolas (jornaleo) o no agrícolas (trabajo en la construcción, o como cargadores, entre otros), y entonces, la obtención de alimentos del patio familiar pasa a una condición menos importante dentro de la dinámica familiar. El polo de desarrollo tiene la capacidad de inducir el crecimiento (Pérez, 2016); sin embargo, hay una pérdida de conocimiento del uso y manejo de estas especies. En este proceso de análisis, la prueba estadística de componentes principales contribuye a la identificación de variables explicativas dentro de un conjunto de variables iniciales (Olivares, 2014), como se puede observar en la Figura 5.

Principales especies comestibles y ornamentales en los patios familiares

La presencia de diferentes especies comestibles y ornamentales en los patios familiares, en un área en particular, expresa la satisfacción de necesidades de alimento y estéticas de una sociedad local (Panyadee y col., 2018; Rayol y col., 2019). En las tres rutas de trabajo las especies presentes en el patio familiar reflejan la elección que han hecho los integrantes de la familia. En ese sentido, la Tabla 5 permite visualizar las especies comestibles identificadas en estas localidades, siendo las más comunes la yerbabuena (*Mentha spicata* L.), el acuyo (*Piper auritum* Kunth) y el orégano (*Origanum vulgare* L.), especies aromáticas que también tienen un uso medicinal. En cuanto a las especies ornamentales, pre-



■ Figura 5. Riqueza de especies comestibles *versus* ornamentales encontradas en las tres rutas de trabajo.

Figure 5. Richness of edible and ornamental species found in the three working routes.

dominaron la rosa (*Rosa x damascena* Mill.), la ixora (*Ixora coccinea* L.), la limonaria o flor de mayo (*Marraya paniculata* (L.) Jack), el tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) y la banderilla (*Salvia splendens* Sellow ex Roem. & Schult.). Algo particular fue lo encontrado en Tolome, una comunidad muy cercana al polo de desarrollo, donde algunos entrevistados si bien identificaron especies comestibles como hierba mora (*Solanum lycopersicum* L.) y yerbabuena, mencionaron que no son utilizadas para este fin, por lo que ya no forman parte de su dieta, particularmente entre las nuevas generaciones.

Samnegard y col. (2015) reportaron que una de las características importantes del patio familiar es su riqueza de especies, la cual es definida por factores económicos, sociales y ambientales. En este caso, los resultados obtenidos en esta investigación permiten plantear que la presente característica, en los pa-

tios familiares en el área de estudio y los fines que le subyacen, están relacionados con la cercanía o la lejanía al polo de desarrollo.

Índices IF, IVU e ICF

Los índices IF, IVU e ICF fueron aplicados a las especies encontradas por comunidad, con base en cada ruta de trabajo (Tabla 6). Los datos muestran que, a excepción de El Hatito, en todas las demás comunidades que integran las rutas de trabajo 1, 2 y 3, existe un grado alto de familiaridad (IF) con las especies usadas, tanto con fines alimenticios como ornamentales. En la mayoría de las comunidades estudiadas el IF es mayor en las especies comestibles que en las ornamentales, a excepción de Bandera de Juárez, El Faiján y Tolome, lo cual podría atribuirse a la cercanía de los dos últimos municipios con la cabecera municipal (Paso de Ovejas), que funge como polo de desarrollo. Por otro lado, en cuanto al comparativo del IF de las espe-

■ **Tabla 5. Principales especies ornamentales y comestibles encontradas en el área de estudio.**
 Table 5. Main ornamental and edible species found in the study area.

Familia	Género	Especie	Autor	Función económica	Nombre común
Apocynaceae	<i>Allamanda</i>	<i>cathartica</i>	L.	ornamental	copa de oro
Apocynaceae	<i>Catharantus</i>	<i>roseus</i>	(L.) G. Don	ornamental	ninfa
Rubiaceae	<i>Gardenia</i>	<i>jasminoides</i>	J. Ellis	ornamental	gardenia
Rubiaceae	<i>Ixora</i>	<i>coccinea</i>	L.	ornamental	ixora
Acanthaceae	<i>Ruellia</i>	<i>lactea</i>	Cav.	ornamental	vitulia
Lamiaceae	<i>Mentha</i>	<i>spicata</i>	L.	alimento	yerbabuena
Lamiaceae	<i>Origanum</i>	<i>vulgare</i>	L.	alimento	orégano
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>splendens</i>	Sellow ex Roem. & Schult.	ornamental	banderilla
Lamiaceae	<i>Persea</i>	<i>americana</i>	Mill.	alimento	aguacate
Annonaceae	<i>Annona</i>	<i>muricata</i>	L.	alimento	anona
Euphorbiaceae	<i>Cridoscolus</i>	<i>chayamansa</i>	McVaugh	alimento	chaya
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>pulcherrima</i>	Willd. ex Klotzsch	ornamental	noche buena
Euphorbiaceae	<i>Ricinus</i>	<i>communis</i>	L.	ornamental	higuerilla
Malpighiaceae	<i>Byrsonima</i>	<i>crassifolia</i>	(L.) Kunth	alimento	nanche
Passifloraceae	<i>Passiflora</i>	<i>edulis</i>	Sims	alimento	maracuyá
Malvaceae	<i>Hibiscus</i>	<i>rosa-sinensis</i>	L.	ornamental	tulipán
Lythraceae	<i>Lagerstroemia</i>	<i>indica</i>	L.	ornamental	astronómica
Lythraceae	<i>Punica</i>	<i>granatum</i>	L.	alimento	granada
Myrtaceae	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i>	L.	alimento	guayaba
Piperaceae	<i>Piper</i>	<i>auritum</i>	Kunth	alimento	acuyo
Poaceae	<i>Saccharum</i>	<i>officinarum</i>	L.	alimento	caña
Rosaceae	<i>Rosa</i>	<i>x damascena</i>	Mill.	ornamental	rosa
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i>	L.	alimento	mango
Anacardiaceae	<i>Spondias</i>	<i>mombin</i>	L.	alimento	ciruelo
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>reticulata</i>	Blanco	alimento	mandarina
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>x aurantifolia</i>	(Christm.) Swingle	alimento	limón
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>x aurantium</i>	L.	alimento	naranja
Rutaceae	<i>Murraya</i>	<i>paniculata</i>	(L.) Jack	ornamental	limonaria, flor de mayo
Crassulaceae	<i>Bryophyllum</i>	<i>pinnatum</i>	(Lam.) Oken.	ornamental	tronador, siempreviva
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>batatas</i>	(L.) Lam.	alimento	camote
Solanaceae	<i>Capsicum</i>	<i>annuum</i>	L.	alimento	chile
Solanaceae	<i>Solanum</i>	<i>lycopersicum</i>	L.	alimento	hierba mora
Musaceae	<i>Musa</i>	<i>x paradisiaca</i>	L.	alimento	plátano

Fuente: Modificado a partir de la revisión de estudios botánicos previos en el centro de Veracruz y la identificación de especies por un experto del Colegio de Postgraduados (Chablé-Pascual y col., 2015; Whitney y col., 2018).

■ Tabla 6. Valores de los índices IF, IVU y ICF con base en los patios familiares de las comunidades de las rutas de trabajo 1, 2 y 3.

Table 6. Values of the FI, UVI and ICF indices based on the residential yards of the communities of working routes 1, 2 and 3.

Ruta	Comunidad	IF		IVU		ICF	
		Comestibles	Ornamentales	Comestibles	Ornamentales	Comestibles	Ornamentales
1	Acazónica	0.94	0.85	0.64	0.40	0.38	0.62
	Xocotitla	0.99	0.80	0.62	0.43	0.39	0.59
	Rancho Nuevo	0.97	0.88	0.62	0.40	0.39	0.63
	Angostillo	1	0.88	0.60	0.39	0.41	0.63
	El Limón	1	0.94	0.60	0.36	0.41	0.63
2	Patancán	1	0.86	0.70	0.46	0.31	0.56
	Paso Panal	0.96	0.92	0.78	0.46	0.23	0.56
	Pozo de Mata Ramírez	0.94	0.94	0.64	0.36	0.38	0.66
	Bandera de Juárez	0.25	0.94	0.60	0.36	0.41	0.66
3	El Faisán	0.82	0.97	0.72	0.35	0.29	0.67
	El Hatito	0.88	0.33	0.68	0.36	0.33	0.66
	Tolome	0.94	1	0.64	0.34	0.38	0.68
	Paso de Ovejas	0.82	1	0.72	0.34	0.29	0.68

cies comestibles presentes en los patios familiares de las 13 comunidades analizadas, las de Angostillo, El Limón y Patancán registraron un índice ligeramente mayor en las especies comestibles. En el caso de Patancán, el resultado podría asociarse a su lejanía de la cabecera municipal (Tabla 3). Caso contrario sucede con Tolome, donde el índice de las especies ornamentales es mayor al de las comestibles, hecho atribuible a su cercanía con el polo de desarrollo (Tabla 6).

En cuanto al análisis del IVU, los hallazgos muestran que los entrevistados, en todas las comunidades que conforman el área de estudio, otorgan un valor mayor a las especies comestibles (0.60 a 0.78), hecho que indica su priorización sobre el uso estético que brindan las plantas ornamentales (0.34 a 0.46). En contraste, los resultados arrojados por el ICF

indican que este índice es mayor para las especies ornamentales (0.56 a 0.68) en todas las comunidades. Esta aparente contradicción entre el IVU de una especie *versus* el ICF puede ser explicada a través de lo mencionado anteriormente por los entrevistados, en cuanto a que sí reconocen las plantas como comestibles; sin embargo, estas especies están dejando de ser consumidas progresivamente por las generaciones más jóvenes y, por ende, estarían siendo excluidas del conjunto de especies vegetales que integra el patio familiar. Este proceso sería consecuencia, según los participantes en el estudio, de que los jóvenes están realizando principalmente una migración pendular a la cabecera municipal (polo de desarrollo más cercano) y a otras ciudades importantes del país, por razones de estudio o empleo, adquiriendo otros hábitos de consumo alimenticio.

Es importante señalar que tanto los resultados obtenidos a través de los índices anteriores, como los derivados del análisis de componentes principales, sugieren que la riqueza de especies ornamentales o comestibles depende en parte de la lejanía o cercanía al polo de desarrollo, que en el caso del área de estudio corresponde a la cabecera municipal de Paso de Ovejas, Veracruz.

CONCLUSIONES

La cercanía o lejanía a los polos de desarrollo (centros urbanos) es un factor exógeno que incide en la riqueza de especies en los patios familiares de las comunidades circundantes. La atracción hacia estos polos, como generadores de fuentes de empleo y obtención de ingresos, producto de la migración pendular o permanente, afecta la dinámica socioeconómica familiar, y en consecuencia, la

relación entre el número de especies ornamentales *versus* especies comestibles en los patios familiares; asimismo, crea condiciones de posibilidad para que parte de ellas (especies comestibles) puedan ser abandonadas de manera gradual. Los resultados desde esta perspectiva de análisis deben considerarse y eventualmente incorporarse a cualquier estrategia por parte de los tomadores de decisiones para el fortalecimiento de los patios familiares, particularmente los esfuerzos encaminados a lograr la seguridad alimentaria y nutricional de la población.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Dr. Bruce Campbell, experto del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por su ayuda en la identificación botánica de especies. Su trabajo fue valioso para este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Cano, E. (2015). Huertos familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista Pueblos y Fronteras*. 10(20): 70-91.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J., López-Ortiz S. y Rosales-Martínez, V. (2019). Mercantilización del maíz en un contexto político y de cambio climático en el trópico subhúmedo mexicano. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 16(83).
- Chablé-Pascual, R. D., Palma-López, J., Vázquez-Navarrete, C. J., Ruíz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R. y Ascencio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*. 2(4): 23-39.
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2018). Informe de pobreza y evaluación 2018. Paso de Ovejas, Veracruz, México. 2 Pp. [En línea]. Disponible en: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza-2018.aspx> Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020.
- Correa, E. (2000). La teoría general de Perroux, en *Comercio Exterior*. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/41/9/RCE.pdf>. Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2019.
- De-Souza, B. N., Braga, A. J., Struik, P. C., Stomph, T., and Clement, C. R. (2017). The role of fertile anthropogenic soils in the conservation of native and exotic agrobiodiversity in Amazonian homegardens. *Agroforestry Systems*. 93(2): 471-482.
- Dobrescu, D. E. and Dobre, E. M. (2014). Theories regarding the role of the growth poles in the economic integration. *Procedia Economics and Finance*. 8(14): 262-267.
- Gámez-Montiel O., Villavicencio-Gutiérrez, E., Serrato-Cruz, M. A., Mejía-Muñoz, J. M., Treviño-de-Castro, M. G., Martínez-González, H. L., ... y Ríos-Santos, E. (2017). *Conservación y aprovechamiento sostenible de especies ornamentales nativas de México*. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Universidad Autónoma Chapingo. México: 152 Pp.
- Gómez-Pompa, A., Kromer, T. y Castro-Cortés, R. (2010). *Atlas de la flora de Veracruz. Un patrimonio natural en peligro* (Primera edición). México: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. 42 Pp.
- González, G. A., González, M. V. S. y Castellanos, J. A. S. (2019). El huerto familiar y la cultura un espacio destinado a las plantas medicinales en Xochipala, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(1): 215-227.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. [En línea]. Disponible

en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=30>. Fecha de consulta: 23 de enero de 2020.

Jaramillo, M. A., Castro, M., Ruíz-Zapata, T., Lastres, M., Torrecilla, P., Lapp, M., ..., y Muñoz, D. (2014). Estudio etnobotánico de plantas medicinales en la comunidad campesina de Pelelojo, Municipio Urdaneta, Estado Aragua, Venezuela. *Ernstia*. 24(1): 85-110.

Kayani, S, Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Khan, M. P. Z., Ashraf, M. A., ..., and Yaseen, G. (2014). Ethnobotanical uses of medicinal plants for respiratory disorders among the inhabitants of Gallies-Abbottabad Northern Pakistan. *Journal of Ethnopharmacology*. 156: 47-60.

Marinero, H. A. y García M. J. O. (2015). El huracán Karl: concepciones sobre su origen en una comunidad de Veracruz. *Ciencia Ergo Sum*. 22(1): 19-29.

Matijasevic, A. M. T. y Ruiz, S. A. (2013). La construcción social de lo rural. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*. (5): 24-41.

Mazumdar, S. and Mazumdar, S. (2012). Immigrant home gardens: Places of religion, culture, ecology, and family. *Landscape and Urban Planning*. (105): 258-265.

Mendoza-García, R., Pérez-Vázquez, A., García-Albarado, J. C., García-Pérez, E. y López-Collado, J. (2011). Uso y manejo de plantas ornamentales y medicinales en espacios urbanos, suburbanos y rurales de la zona centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(3): 525-538.

Nash, L. D. y Moreno, P. N. (1984). Verbenaceae, en *Flora de Veracruz*. [En línea]. Disponible en: http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOWER/41-nash_I.pdf. Fecha de consulta: 23 de enero de 2020.

Olivares, B. (2014). Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*. 14(4): 364-374.

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*. 35(1): 227-232.

Panyadee, P., Balsley, H., Wangpakapattanawong, P., and Inta, A. (2018). Karen Homegardens: characteristics, functions, and species diversity. *Economic Botany*. (72): 1-19.

Panyadee, P., Balsley, H., Wangpakapattanawong, P., and Angkhana, I. (2019). Medicinal plants in homegardens of four ethnic groups in Thailand. *Journal of Ethnopharmacology*. (239): 1-14.

Pérez, A. G. (2016). Polos de desarrollo, acumulación originaria y expansión capitalista. Un estudio comparativo del estado argentino, brasileño y español. *Theomai*. (34): 88-103.

Pietak, L. (2011). Los polos de crecimiento-característica. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*. 3(1): 25-34.

Pulido-Salas, M. T., Ordóñez, D. y Calix, H. (2017). Flora, usos y algunas causales de cambio en quince huertos familiares en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México. *Península*. 12(1): 119-145.

RAN, Registro Agrario Nacional (2018). Carpetas agrarias. Xalapa, Veracruz, México. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/ran>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2018.

Rayol, B. P., Do-Vale, I., and Miranda, I. S. (2019). Tree and palm diversity in homegardens in the Central Amazon. *Agroforestry Systems*. 93(2): 515-529.

Salazar, B. L. L. y Magaña M. M. A. (2016). Aportación de la milpa y traspatio a la autosuficiencia alimentaria en comunidades mayas de Yucatán. *Estudios Sociales*. 24(47): 182-203.

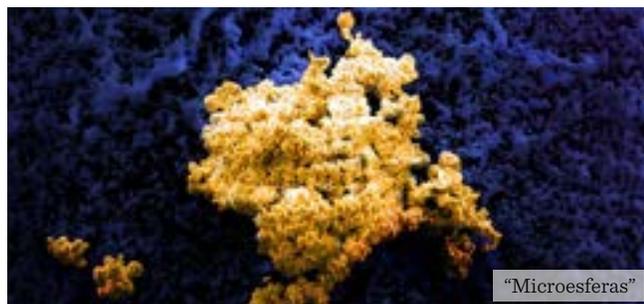
Samnegard, U., Hambäck, P. A., Eardley, C., Nemomissa, S., and Hylander, K. (2015). Turnover in bee species composition and functional trait distribution between seasons in a tropical agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (211): 185-194.

Sher, W., Hammad, A. J., and Rainer, W. B. (2019). Quantitative ethnomedicinal study of indigenous medicinal plants used for digestive disorders of Laspur Valley, Chitral, Northern Pakistan. *Ethnobotany Research Applications*. 18(32): 1-18.

StatSoft, Inc. (2006). Software de cómputo. Statistica (Versión 7). Tulsa, OK, Estados Unidos: Dell StatSoft.

Whitney, C. W., Luedelin, E., Tabuti, J. R. S., Nyamukuru, A., Hensel, O., Gebauer, J., and Kehlenbeck, K. (2018). Crop diversity in homegardens of southwest Uganda and its importance for rural livelihoods. *Agriculture and Human Values*. 35(2): 399-424.

Whitney, C. W., Tabuti, J. R. S., Hensel, O., Ching-Hua, Y., Gebauer, J., and Luedeling, E. (2017). Homegardens and the future of food and nutrition security in southwest Uganda. *Agricultural Systems*. 154: 133-144.



Microcápsulas y microesferas: una visión a la caracterización integral y aplicación para la liberación de medicamentos biotecnológicos

Microcapsules and microspheres: A vision to integral characterization and applications for biotechnological drugs delivery

Elvia Zárate-Hernández, Rosa Alejandra Hernández-Esquivel, José Trinidad Pérez-Urizar*

RESUMEN

Los microacarreadores basados en microcápsulas y microesferas han sido ampliamente estudiados y ensayados para controlar la liberación de medicamentos biotecnológicos (MB), disminuyendo la dosificación o modificando la vía de administración. Los métodos para la obtención de microacarreadores, son complejos y variados, por lo que es necesario determinar los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema. El objetivo de este trabajo fue establecer las principales características que deben ser evaluadas en los microacarreadores para garantizar que la actividad biológica de los medicamentos biotecnológicos permanezca intacta a través del proceso de microencapsulación y, por lo tanto, que la seguridad del MB (desarrollo de reacciones inmunes) se mantenga inalterada. Las características a evaluar de un microacarreador deben describir las propiedades del material, tamaño y forma del sistema, carga de la partícula, funcionalidad, eficiencia de la microencapsulación y la cinética de liberación. Mientras que la integridad de los MB puede ser evaluada a partir de parámetros críticos de calidad: estructura y función biológica del MB, pureza del producto, presencia de agregados de alto peso molecular, estructura de orden superior y ensayos de actividad biológica. La caracterización de los microacarreadores debe enfocarse en la seguridad del biopolímero y proteínas ensayadas.

PALABRAS CLAVE: medicamento biotecnológico, microesferas, estabilidad proteica.

ABSTRACT

Microcarriers based on microcapsules and microspheres have been widely studied and tested to control the release of biotechnological drugs (BD), diminishing the dosage or modifying the route of administration. The methods for obtaining microcarriers are complex and varied, so it is necessary to determine the minimum characteristics with which the system must comply. The aim of this work was to establish the main characteristics that should be evaluated in the microcarriers in order to guarantee that the biological activity of biotechnological drugs remains intact through the microencapsulation process, and therefore the safety of the BD (development of immune reactions) remains unaltered. The characteristics of a microcarrier to be evaluated must describe the properties of the material, the size and shape of the system, the particle load, functionalization, the microencapsulation efficiency, and the kinetics of liberation. Whereas the integrity of BD can be evaluated by critical quality parameter such as: structure and biological function of the BD, product purity, presence of high molecular weight aggregations, higher order structure and biological activity tests. The characterization of the microcarriers must focus on the safety of the biopolymer and proteins tested.

KEYWORDS: biotechnology drug, microspheres, protein stability.

*Correspondencia: jpurizar@uasl.mx/ Fecha de recepción: 9 de octubre de 2020/ Fecha de aceptación: 12 de enero de 2021/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Farmacología, Avenida Dr. Manuel Nava núm. 6, Zona Universitaria, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, C. P. 78210.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años se han aprobado diversos medicamentos biotecnológicos (MB) para diferentes padecimientos, tales como diabetes, artritis o cáncer, por mencionar algunos (Schellekens, 2009; Bhawani y col., 2018). Con más de 8 500 productos en desarrollo, esta industria fue valuada en \$ 174.7 billones de dólares en 2019, y para 2020 se proyectaba un crecimiento de \$ 248.7 billones de dólares (Agyei y col., 2017; Jiang y col., 2017; Informa, 2019).

En su mayoría, los MB se caracterizan por baja biodisponibilidad oral (menor al 2 %), tiempo de vida media corto en fluidos biológicos (aproximadamente de 30 min) y una escasa absorción gastrointestinal. Estas características limitan la vía de administración y la confinan a la intravenosa, subcutánea e intramuscular (Bruno y col., 2013; Pawar y col., 2014; Pachioni-Vasconcelos y col., 2016).

Para mantener las concentraciones terapéuticas, los MB deben ser administrados varias veces al día, esquema que compromete el éxito terapéutico a largo plazo (Pawar y col., 2014; Pachioni-Vasconcelos y col., 2016). Para hacer frente a este problema, el uso de microacarreadores ha favorecido los sistemas de administración de fármacos, células y proteínas, disminuyendo los efectos colaterales asociados a los tratamientos y garantizando el éxito farmacológico (Pawar y col., 2014; Shah y Schwendeman, 2014). Los sistemas micrométricos están representados por polímeros, lípidos, metales y materiales inorgánicos (Tabla 1), los cuales pueden estar en el rango micro y nanométrico (Bilati y col., 2005; Bruno y col., 2013; Wang y col., 2013).

Cada sistema tiene peculiaridades únicas, sin embargo, los sistemas micrométricos ofrecen las siguientes ventajas: (i) protección al biofármaco de una rápida degradación y aclara-

■ **Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas poliméricos.**

Table 1. Advantages and disadvantages of polymeric systems.

Sistema		Ventaja	Desventaja
Sistema polimérico			
	Micro-nano partículas	Alta estabilidad Alta capacidad de carga Propiedades flexibles Adaptable a diferentes vías de administración	Formación de agregados dependiendo de la metodología La aplicación es en proteínas y enzimas
	Micelas	Propiedades flexibles Liberación controlada Incorporación de sustancias poco solubles	Requieren estabilizantes a baja concentraciones Proceso costoso para la síntesis de polímeros
	Dendrimeros	Procesos fácilmente escalables	Baja biocompatibilidad
	Hidrogeles	Liberación controlada Biocompatibilidad alta	Baja resistencia a la tracción
Metales inorgánicos			
Oro Carbono Silicio 	Oro Carbono Silicio	Medianamente biocompatible Superficie multipotencial Manufactura sencilla Propiedades flexibles	No biodegradable Toxicidad Requiere funcionalidad

Fuente: modificado a partir de Bracho-Sanchez y col. (2016).

miento después de su administración, así como de efectos ambientales de pH, luz, temperatura y humedad; (ii) el efecto terapéutico puede prolongarse, a diferencia de la forma tradicional de administración y (iii) el perfil de liberación puede controlarse, dependiendo del diseño de la microesfera o microcápsula Figura 1 (Wang y col., 2013; Pachioni-Vasconcelos y col., 2016; Hu y col., 2017).

El objetivo de este trabajo fue destacar las principales características que deben ser evaluadas en el desarrollo de microacarreadores, enfatizando la seguridad de los medicamentos biotecnológicos, tras el proceso de microencapsulación, para el desarrollo de nuevas formas de administración.

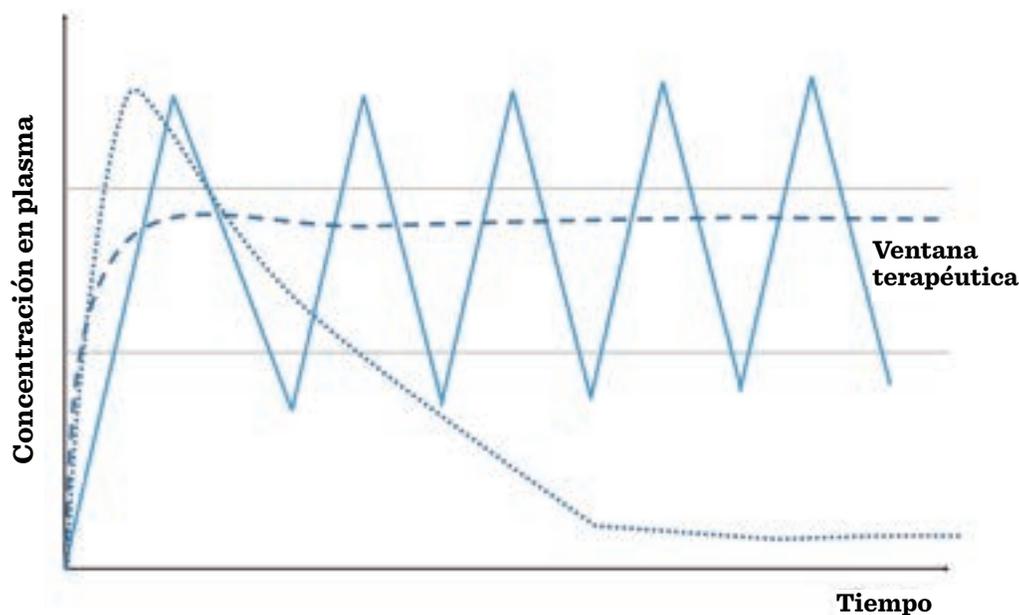
Métodos de preparación de microcápsulas y microesferas a partir de biopolímeros

Las micropartículas tienen un diámetro medio de 1 μm a 1 000 μm y pueden dividirse en microcápsulas o microesferas. El término “mi-

crocápsula” hace referencia a un cuerpo esférico que recubre al principio activo, mientras que el término “microesfera” se refiere a una matriz homogénea, donde la sustancia activa está inmersa en el cuerpo de la esfera. Los métodos de obtención de microesferas y microcápsulas se categorizan en tres tipos (Tabla 2): métodos químicos, fisicoquímicos y físico-mecánicos (Coelho y col., 2010; Jyothi y col., 2010; Singh y col., 2010; Wong y col., 2018). El material empleado debe ser biocompatible, de baja toxicidad y biodegradable en fluidos biológicos (Bracho-Sanchez y col., 2016). En este sentido, los polímeros hidrofílicos, como el alginato o quitosano, ofrecen una ventaja determinante al ser inmunotolerables y solubles en agua (McClements, 2018).

Caracterización integral de microcápsulas y microesferas

La caracterización integral de microesferas y micropartículas se resume en la Tabla 3 y está basada en la determinación de lo siguiente:



Fuente: modificado a partir de Wang y col. (2013).

■ **Figura 1.** Representación esquemática de la liberación de biofármaco en fluidos biológicos de forma tradicional (línea sólida), en comparación con la liberación de biofármaco en dosis repetidas (línea punteada) y a partir de un sistema en microesferas (línea segmentada).

Figure 1. Schematic representation of the release of biopharmaceutical into biological fluids in a traditional way (solid line), compared to the release of biopharma in repeated doses (dotted line) and from a system in microspheres (dotted line).

■ Tabla 2. Métodos para la obtención de microcápsulas y microesferas.
Table 2. Methods for obtaining microcapsules and microspheres obtention.

Método	Polímero empleado	Material encapsulado	Factores de proceso	Tamaño (µm)	Aplicación	Referencias
Métodos químicos						
Emulsión	Poli(etilenglicol) Eextrinas Quitosano Alginato Liposomas	Súper óxido dismutasa bovina Albumina Sérica bovina Metformina Insulina Cúrcuma	Interfase agua-aceite Agitación Reacción de entrecruzamiento	0.5 a 1 000	Liberación de fármacos	Morita y col. (2000); Yuan y col. (2009); Perry y McClements (2020); Zheng y McClements (2020)
Policondensación interfacial	-	Albumina sérica bovina Pigmentos	Interfase de la emulsión	0.5 a 1 000	Industria alimenticia Industria farmacéutica	Ozkan y col. (2019)
Métodos fisicoquímicos						
Coacervación	Goma tragacanto Gelatina Goma arábiga	Beta-caroteno	Aglomeración	5 a 1 000	Liberación de fármacos	Ozkan y col. (2019)
Evaporación con solvente	Ácido poli(láctico- co-glicólico)	Glucosa oxidasa	Aglomeración	0.5 a 1 000	Liberación de fármacos	Li y col. (2000); Ozkan y col. (2019)
Precipitación	Goma gelana	Proteínas	Características químicas de los materiales	5 a 1 000	Liberación de fármacos	Coelho y col. (2019)
Métodos físico-mecánicos						
Secado por aspersión	Alginato Quitosano Inulina Maltodextrina	Insulina Jugo de arándano	Temperatura	1 a 500	Industria alimenticia Industria farmacéutica	Yuan y col. (2009); Bowey y col. (2013)
Liofilización	Celulosa Maltodextrinas Quitosano	Albumina sérica bovina Té verde Toxoide tetánico	Sonicación	20 a 500	Industria farmacéutica Industria alimenticia	Sánchez y col. (1999); Costantino y col. (2000)
Encapsulación electrostática	Alginato Pectina	Extracto de cocoa	Capacitancia	20 a 500	Industria alimenticia	Ozkan y col. (2019)

■ **Tabla 3. Principales técnicas de caracterización de microesferas y microcápsulas.**
 Table 3. Main techniques for characterization of microspheres and microcapsules.

Parámetro	Método	Aplicación	Referencia
Material (matriz)	NMR	Resonancia magnética nuclear	Microesferas Chen y Zeng (2017)
	FTIR	Espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier	Microesferas Chen y Zeng (2017)
	IR	Infrarrojo	Microesferas Ribeiro y col. (2005)
Forma y tamaño de partícula	TEM	Microscopía electrónica de transmisión	Albúmina Interferón Lisozima Nanopartículas Zhou y col. (2008); Nigen y col. (2010); Bronze-Uhle y col. (2017)
	SEM	Microscopía electrónica de barrido	Hormona de crecimiento Interferón Eritropoyetina Zhou y col. (2008); Jagtap y col. (2012); Kang y col. (2014); Ghasemi y col. (2019)
	AFEM	Microscopía de fuerza atómica	Lisozima Nigen y col. (2010)
Tamaño	DLS	Radio hidrodinámico	Insulina Filgrastim Bowey y col. (2013); Kiafar y col. (2016)
	SPR	Análisis de superficie de plasmones	Albúmina sérica humana Bhakta y col. (2015)
Porosidad	MIP	Potenciometría de intrusión con mercurio o helio	Lisozima Reinhold y Schwendeman (2013)
Propiedades térmicas	DSC	Calorimetría diferencial de barrido	Albúmina sérica bovina Eritropoyetina Kang y Singh (2003); Jagtap y col. (2012)
	TGA	Análisis termogravimétrico	Eritropoyetina Abdelhakim y col. (2019); Nguyen y col. (2020)
Eficacia de la encapsulación/ Cinética de liberación	HPLC	Cromatografía de líquidos	Filgrastim Insulina Kiafar y col. (2016); Agrawal y col. (2017)

i) propiedades del material, ii) tamaño de partícula, morfología, forma o estructura del cristal, iii) propiedades de superficie, como carga, funcionalidad, iv) eficiencia de la microencapsulación, v) cinética de liberación, vi) estabilidad del MB (Gill y col., 2010).

La forma de las partículas puede ser observada a partir de diversas microscopias, cuyo alcance depende de las necesidades y limitaciones propias de la metodología. Las microscopias

más empleadas son microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés: Scanning Electron Microscopy), microscopía electrónica de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés: Transmission Electron Microscopy), microscopía de fuerza atómica (AFEM, por sus siglas en inglés: Atomic Force Electroluminescence Microscopy), entre otras (Rokstad y col., 2014; Chogale y col., 2016). El radio hidrodinámico determina la vía por la cual podrá ser administrada la formulación, por lo

que la técnica de dispersión dinámica de luz (DLS, por sus siglas en inglés: Dynamic Light Scattering) es comúnmente usada para este fin; la principal desventaja de este método es la interferencia que implican moléculas de grandes dimensiones, las cuales pueden sedimentar o formar agregados, comprometiendo la fiabilidad de los resultados (Andhariya y Burgess, 2016).

Las propiedades físicas de las microcápsulas y microesferas dependen de las propiedades térmicas de una sustancia y se analizan por calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés: Differential Scanning Calorimetry) o termogravimetría (TGA, por sus siglas en inglés: Thermogravimetric Analysis), lo que permite determinar la temperatura y el flujo de calor asociado a las transiciones térmicas, como la temperatura de fusión o transición vítrea, así como pérdida de masa (Schick, 2009; Gill y col., 2010).

Las propiedades de superficie determinan el grado de biotolerabilidad de estas moléculas en el organismo receptor. Las metodologías empleadas son la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS, por sus siglas en inglés: X-Ray Photoelectron Spectrometry), espectrometría de masas de iones secundarios de tiempo de vuelo (ToF-SIMS, por sus siglas en inglés: Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry) y espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier acoplado a reflectancia total atenuada (ATR-FTIR, por sus siglas en inglés: Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy).

La eficacia de atrapamiento puede evaluarse como i) la capacidad de encapsulación (CE), expresada en la relación de principio activo entre cantidad total de otros componentes de las micropartículas, o ii) la eficiencia de encapsulación (EE), que se define en términos de porcentaje o fracción del principio activo presente en el sistema y la cantidad del principio activo inicial (Paul y col., 2012; Kim y col., 2014). La eficacia de microencapsulación puede verse afectada por la concentración y peso mole-

cular del biopolímero, el método de preparación, la solubilidad del fármaco y del polímero, las interacciones fármaco-polímero y la tasa de evaporación del solvente (Jyothi y col., 2010; Bale y col., 2016).

Evaluar la cinética de liberación de los microcarreadores determina la cantidad de medicamento disponible y el tiempo que tarda en hacerlo (Kim y col., 2014; Zhao y col., 2016). Los modelos de cinéticas se ajustan a: i) difusión, donde el mecanismo obedece a la velocidad con la que el líquido traspasa la membrana de polímero y la velocidad con la que el MB migra de la microesfera (Singh y col., 2010); ii) disolución, que depende del grado de solubilidad del polímero y del biofármaco en fluidos biológicos (Bittner y col., 1998; Singh y col., 2010), iii) erosión, proceso complejo que implica la hinchazón, difusión y disolución del sistema (Mohammed y col., 2017).

La caracterización integral de estos sistemas permite brindar seguridad y certeza a las formulaciones desarrolladas, al asegurar la biocompatibilidad con los tejidos. La biocompatibilidad es la habilidad que tiene el material de no inducir, directa o indirectamente, respuestas inflamatorias (Rokstad y col., 2014). Diversos estudios relacionan las propiedades fisicoquímicas, como peso del polímero, tamaño, forma, carga del sistema y vías de degradación, con el desarrollo de respuestas inmunes (Andorko y col., 2017). Por ejemplo, el tamaño de partícula es capaz de influenciar la distribución biológica y limita la vía de administración. Micropartículas diseñadas para liberación oral, con un diámetro medio de 11 μm , pueden localizarse en el intestino (placas de Peyer), mientras que las micropartículas de 5 μm son trasladadas del intestino de rata al bazo por el sistema linfático (Benne y col., 2016; Savage y col., 2019; Alqahtani y col., 2020). La forma de la partícula influye en esta internalización, ya que el proceso depende de la interacción del sistema con células fagocíticas (células dendríticas); partículas esféricas favorecen este proceso, mientras que formas cilíndricas pueden decrecer la eficacia de la vía de trans-

porte, partículas con otras formas favorecen la presentación de antígenos (Savage y col., 2019). Durante el metabolismo, las partículas son degradadas y esto favorece la liberación del principio activo, sin embargo, los productos de degradación pueden tener propiedades químicas diferentes al material inicial, por lo que pueden interactuar de manera distinta con células del sistema inmune y los tejidos; estas interacciones no siempre son benéficas; los productos de degradación de materiales, como los poliésteres, pueden ser empleados como adyuvantes en la fabricación de vacunas (Andorko y col., 2017). El desarrollo de efectos no deseados se puede evaluar mediante ensayos *in vitro*, que precisan la interacción entre las micropartículas o nanopartículas con diferentes sistemas celulares. Los ensayos *in vitro* detallan posibles modificaciones en el crecimiento, reproducción y morfología celular (Li y col., 2015). En la Tabla 4 se exponen algunas de las principales pruebas *in vitro* para evaluar la citotoxicidad o viabilidad celular por parte de los materiales empleados para la fabricación de sistemas en escala nano o micro-métrica.

Caracterización integral de estabilidad de biofármacos como proteínas terapéuticas

Los medicamentos biotecnológicos dependen

de su estructura para ejercer actividad biológica (eficacia), por lo que el sistema y método de microencapsulación deben asegurar la integridad del MB (Paul y col., 2012). La pérdida de esta estructura (calidad) podría llevar a la formación de productos de degradación que potencialmente minimizan el efecto terapéutico y modifican las propiedades farmacocinéticas y farmacodinámicas de los MB, lo que conllevaría la presencia de diferentes efectos adversos y respuestas inmunes no deseadas (seguridad) (Butreddy y col., 2020; Schuster y col., 2020).

La integridad de una proteína farmacéutica puede ser estudiada en términos de estabilidad física y química. La degradación química incluye procesos de desamidación, isomerización, hidrólisis y oxidación, mientras que la degradación física es evidenciada por la formación de agregados que llevará invariablemente a un decaimiento en la actividad biológica (Kim y col., 2014).

La estabilidad se determina en parámetros críticos de calidad (Tabla 5), los cuales dependen de los atributos relacionados con la estructura y función biológica del MB. Los principales parámetros son, i) pureza del producto, ii) presencia de agregados de alto peso

■ **Tabla 4. Principales ensayos *in vitro* para evaluar biocompatibilidad y citotoxicidad.**

Table 4. Main *in vitro* trials to evaluate biocompatibility and cytotoxicity.

Método	Ensayo	Material	Bibliografía
Apoptosis	Anexina V	Alginato	Sáenz-del-Burgo-Martínez y col. (2018)
Hemolisis/necrosis	Ensayo LDH Ensayo MTT	Dextrano	Ribeiro y col. (2013) Khalkhali y col. (2015);
Peroxidación de lípidos (Especies reactivas de oxígeno)	TBA	Nanocápsulas	Charão y col. (2019)
Citocompatibilidad	Viabilidad celular TBA Viabilidad celular (LDH)	Alginato Nanopartículas	Berger y col. (2017); Calasans-Maia y col. (2019)

MTT = bromuro de 3-(4, 5- dimetiltiliazol-2-ilo)-2, 5-difeniltetrazol; TBA = ácido tiobarbitúrico; LDH = lactato deshidrogenasa.

■ **Tabla 5. Principales técnicas de caracterización de proteínas.**

Table 5. Main techniques for proteins characterization.

Parámetro	Atributo	Método de control y/o caracterización
Estructura primaria	Peso de la cadena ligera y pesada Masa intacta Secuencia de aminoácidos	LC-ESI-MS LC-ESI-MS Mapeo peptídico Secuenciación
Estructura de orden superior	Estructura secundaria y terciaria	Dicroísmo circular Intercambio de hidrógeno/deuterio Cristalografía
Otras modificaciones	Oxidación Deamidación	RP-HPLC Mapeo peptídico Cromatografía de intercambio aniónico Cromatografía de intercambio iónico MP
Heterogeneidad de tamaño	Agregación Fragmentación	Cromatografía de exclusión por tamaño Ultracentrifugación Microscopía Electroforesis capilar SDS-PAGE RP-HPLC
Actividad biológica	Unión blanco terapéutico a receptor Bioactividad	Trasposomas ELISA Ensayos en modelos animales

LC-ESI-MS = cromatografía de líquidos acoplado a espectrometría de masas de ionización por electrospray; SDS-PAGE = electroforesis en una sola dimensión; RP-HPLC = cromatografía de líquidos de alta resolución en fase reversa.

Fuente: modificado a partir de Sekhon y Saluja (2011).

molecular, iii) la estructura de orden superior; iv) análisis de isoformas, v) ensayos de actividad biológica (Kim y col., 2014).

La determinación de agregados, partículas o fragmentos es un atributo crítico de calidad, el cual se relaciona directamente con la eficacia y seguridad de las proteínas terapéuticas (Wagh y col., 2018). La cromatografía de exclusión por tamaño (SEC-HPLC, por sus siglas en inglés: Size Exclusion Chromatography) y la electroforesis capilar (CE, por sus siglas en inglés: Capillary Electrophoresis) son las técnicas empleadas para analizar las variantes de peso (Kirchhoff y col., 2017; Wagh y col., 2018).

Las variantes de carga pueden ser seguidas mediante cromatografía aniónica (IEX, por sus siglas en inglés: Ionic Exchange Chromatography) o Electroforesis Capilar (EC); las diferencias en este parámetro afectan directamente los perfiles farmacocinéticos y farmacodinámicos (Zhao y col., 2016; Kirchhoff y col., 2017). La estructura de orden superior (secundaria y terciaria) puede ser determinada por cristalografía, dicroísmo circular (DC) o calorimetría diferencial de barrido (DCS).

Por otra parte, los modelos *in vitro* permiten describir el comportamiento del biofármaco liberado, mientras que los modelos *in vivo* de-

tallan su biodisponibilidad en fluidos biológicos (Andhariya y Burgess, 2016), en tanto que los modelos animales deben asegurar: i) la evaluación a largo plazo en las formulaciones y ii) la medición de anticuerpos neutralizantes (Andhariya y Burgess, 2016).

La pérdida de estabilidad involucra respuestas celulares complejas, que dan como resultado la formación de citocinas pro-inflamatorias, reacciones de hipersensibilidad (reacciones alérgicas y anafilaxia) hasta la formación de anticuerpos neutralizantes (anticuerpos que inhiben la actividad biológica deseada del MB), además de la presencia de síntomas como dolor, anemia y fiebre, que darán como resultado modificaciones en las propiedades farmacocinéticas del MB (mayor aclaramiento renal y menor eficacia terapéutica) (Schellekens, 2002; Laptoš y Omersel, 2018).

Aplicaciones

Algunos microacarreadores empleados para la liberación de medicamentos biotecnológicos se resumen en la Tabla 6.

La insulina recombinante es el tratamiento de elección para combatir la diabetes mellitus, padecimiento que afecta a más de 439 millones de adultos en el mundo. En el trabajo publicado por Bowey y col. (2013) se caracterizaron las micropartículas de alginato e insulina obtenidas por la técnica de secado por aspersión. El resultado fueron micropartículas con un diámetro medio de $2.1 \pm 0.3 \mu\text{m}$, de forma esférica y una eficiencia de carga del $38.2 \pm 9.5 \%$. Se determinó por microscopia confocal la presencia de una distribución matricial de insulina en las micropartículas. El bioensayo *in vitro*, para la determinación de la potencia biológica, consistió en medir la fosforilación in-

■ **Tabla 6. Ejemplos de microformulaciones.**

Table 6. Examples of microformulations.

Familia de biofármacos	Proteína encapsulada	Matriz	Bibliografía
Enzimas	Heparina Lisozima Glucógeno fosforilasa Fasudil Alteplasa	Dextranos PSA Microesferas porosas de Ca_2CO_3	Li y col. (2000); Nguyen y O'Rear (2017); Correa-Paz y col. (2019); Han y col. (2020); Mietzner y col. (2020)
Hormonas	Insulina Somatropina Albúmina Filgrastim Eritropoyetina Interferón Factor de crecimiento de fibroblastos Factor de coagulación	Alginato PLA PLGA Ácido hialurónico Parafina Liposomas PLGA PLA PLGA Gelatina Alginato	Bittner y col. (1998); Katti y Krishnamurt (1999); Diwan y Park (2003); Hahn y col. (2004); Yang y col. (2010); Bowey y col. (2013); Kiafar y col. (2016); Kim y Kim (2016); Gravastrand y col. (2017); Lan y col. (2017); Zhang y col. (2018); Wang y col. (2019)
Anticuerpos	Anti TNF- α Antimesotelina Anti p46 Trastuzumab	PLGA Silicio poroso Metacrilato	Macura y col. (2013); Marquette y col. (2014); Horák y col. (2017); Nifontova y col. (2019)

tracelular de la proteína quinasa B (PKB, por su siglas en inglés: Protein Kinase B) en la línea celular L6 de mioblasto (rata), donde la insulina liberada de las partículas presentó un 88 ± 15 % de actividad, demostrando que el secado por aspersión no impacta de forma significativa la estructura de la proteína.

Mientras que en el trabajo de Zhang y col. (2018) se diseñaron microesferas de finas capas de polivinil-sulfato y ácido poliláctico cargadas con insulina. El tamaño de las microesferas fue de 5.25 ± 0.15 μm , con una eficiencia de carga del 33.7 ± 0.19 % y una liberación de 111.33 ± 1.15 mg/g de insulina. El ensayo de eficacia preclínica *in vivo* consistió en probar el control glicémico de la formulación, en un modelo animal de diabetes tipo II, mediante la inducción del estado hiperglicémico en ratas hembra Sprague Dawley con la administración intraperitoneal de estreptozotocina (55 mg/kg). Se formaron seis grupos experimentales (n = 10) que recibieron tratamiento como se describe a continuación: grupo control (solución salina vía oral), grupo control negativo (200 U/kg insulina vía oral), grupo control positivo (5 U/kg insulina subcutánea) y tres grupos experimentales (100 U/kg, 200 U/kg y 300 U/kg, todos vía oral). Se logró demostrar que los tratamientos ejercieron un control glucémico dependiente de la dosis, lo cual sugiere un método prometedor para la obtención de microesferas cargadas con MB (Zhang y col., 2018). Estos trabajos evidencian que la insulina presente en ambos sistemas se encuentra activa, a pesar de haberse obtenido por metodologías diferentes.

La osteoclastosis mandibular, asociada a medicamentos como los bisfosfonatos, genera problemas en pacientes medicados que requieren extracciones dentales, con la finalidad de disminuir los efectos colaterales de este tratamiento. Erten-Taysi y col. (2019) demostraron la exitosa fabricación de microesferas de quitosano cargadas con hormona paratiroidea humana por el método de gelación. Las microesferas cargadas tienen un tamaño promedio de 0.61 μm , con un valor de potencial z de (+) 18.5 mV. Se compararon varias formulaciones,

pero las partículas con la proporción 3:1 de quitosano y hormona evidenciaron la eficacia de encapsulación más alta, con un 72.9 ± 4.84 % de hormona, porcentaje que decreció dramáticamente al modificar la relación. El estudio *in vivo* consistió en la observación del proceso necrótico. Después de la extracción de tres molares superiores en ratas hembra Sprague-Dawley de 6 semanas, las cuales fueron aleatorizadas en 4 grupos (n = 12), como se describe a continuación: grupo control (la curación de los animales se permite sin la administración de tratamientos), grupo control negativo (se colocan 30 μL de formulación con microcápsulas vacías en la región subperiosteal) y 2 grupos experimentales. El grupo experimental 1 recibió hormona paratiroidea contenida en un hidrogel (0.05 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ por 3 d), mientras que el grupo experimental 2 fue tratado con una sola administración de microesferas (0.233 $\mu\text{g}/\text{L}$ de hidrogel). En los días 10 y 21 después de la extracción dental, 6 animales de cada grupo fueron sacrificados para el análisis histomorfométrico. En ambos casos se observó un proceso necrótico, inferior en aquellos animales que recibieron una sola dosis de microesferas, a diferencia de aquellos que recibieron dosis repetidas de hormona paratiroidea (Erten-Taysi y col., 2019).

La hormona de crecimiento representa una alternativa de tratamiento para infantes con trastornos del crecimiento, falla renal o síndrome de Turner. Los problemas asociadas a las limitaciones de la proteína la confinan a la administración intramuscular (IM), dando como resultado inflamación en el sitio de administración y un pobre apego al tratamiento. En el trabajo presentado por Kang y col. (2014) se desarrollaron microesferas de dextranos con PLGA cargadas con hormona de crecimiento por el método de doble emulsión. La caracterización de estas microesferas evidenció partículas con un diámetro medio de 40 μm a 100 μm . Mientras que la caracterización de la integridad de la proteína se realizó mediante cromatografía de exclusión por tamaño, para evaluar la presencia de fragmentos, y microscopía de difracción circular, para determinar la estruc-

tura de orden superior. La formulación de dextrano con PLGA y somatropina no desnaturalizó de forma significativa al MB, al no decaer la presencia del monómero que conforma la proteína. La estructura de orden superior se determinó por comparación de la microscopia DC de una solución de proteína fresca y proteína contenida en el sistema de micropartículas. Los resultados no sugieren diferencia significativa en este parámetro, por lo que se asume que la proteína tendrá efecto biológico.

El ensayo de liberación *in vivo* consistió en la determinación de los niveles de hormona de crecimiento en plasma, en ratas hembra Sprague Dawley que fueron aleatorizadas en 3 grupos (n = 5) que se detallan a continuación: grupo control (recibe hormona de crecimiento, 5 mg/kg vía subcutánea), grupo experimental 1 (microesferas de dextrano con PLGA, 5 mg/kg vía subcutánea) y grupo experimental 2 (microesferas sin la presencia de dextranos, 5 mg/kg vía subcutánea). Los días 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15 y 28 se tomó una muestra de sangre para la cuantificación de hormona de crecimiento, mediante un kit de ELISA (por sus siglas en inglés: Enzyme-Linked Immunosorbent Assay). Las curvas de concentración de hormona de crecimiento sérica *versus* el tiempo permitieron visualizar un aumento de concentración media después de la dosis. Los resultados evidenciaron una mayor concentración de hormona de crecimiento en suero y un perfil de liberación lento, hasta por 40 d en las microesferas de dextrano con PLGA, en comparación con las microesferas sin la presencia de dextrano, lo que sugiere un sistema altamente efectivo para la liberación controlada de hormona de crecimiento.

El modelo *in vivo* de eficacia consistió en evaluar la ganancia de peso en ratas macho Sprague Dawley hipofisectomizados de 6 semanas y tratados con un agente inmunosupresor (tacrolimus 50 g vía sc). Los animales de estudio fueron aleatorizados en 4 grupos (n = 5) para recibir tratamiento, de esta manera: grupo control negativo (solución salina), grupo con-

trol positivo (solución de hormona de crecimiento, 6 mg/kg por 30 d) y dos grupos experimentales: grupo experimental 1 (6 mg/kg de microesferas sin dextranos vía subcutánea) y grupo experimental 2 (6 mg/kg de microesferas con dextranos vía subcutánea). La ganancia de peso se determinó cada 24 h por 40 d. Los resultados obtenidos con el modelo de eficacia abordado fueron consistentes con el modelo *in vitro*; el modelo *in vivo* confirmó un aumento de peso, superior del día 6 hasta el día 40 en aquellos animales tratados con microesferas de dextrano y PLGA, en comparación con el grupo control. Los resultados demostraron el desarrollo de una formulación de liberación controlada estable y con evidencia de actividad biológica (eficacia) de la hormona de crecimiento.

La microencapsulación o formación de microesferas de proteínas farmacéuticas, empleando biopolímeros para modificar la vía de administración, el régimen de dosificación o controlar la liberación de medicamentos biotecnológicos, se han estudiado arduamente, con la finalidad de caracterizar los procesos de fabricación de manera integral para asegurar que los MB no pierdan su estructura y por ende presenten menor actividad biológica y mayor inmunogenicidad, por lo que este trabajo describe las principales técnicas de caracterización de microesferas y proteínas farmacéuticas, para asegurar la viabilidad de estos sistemas de encapsulación.

CONCLUSIONES

El éxito de los microacarreadores como sistemas de liberación de medicamentos biotecnológicos está basado en la integridad de las proteínas farmacéuticas, a través del proceso de microencapsulación. Las nuevas estrategias para el desarrollo de microacarreadores se sustentan en la exploración y explotación de biopolímeros altamente biotolerables, de baja inmunogenicidad y fácil degradación en fluidos biológicos, así como en la optimización de los parámetros en cada método, para obtener sistemas con altos porcentajes de carga y de rendimiento, evitando la desnaturalización

de las proteínas farmacéuticas. Las vías de degradación de biopolímeros y la falta de estabilidad de las proteínas podrían conducir al fracaso terapéutico y al desarrollo de reacciones inmunes no deseadas, como procesos inflama-

torios y la aparición de anticuerpos neutralizantes. La caracterización integral de los microacarreadores debe ser gradual y enfocada en la seguridad tanto del biopolímero empleado como de las proteínas ensayadas.

REFERENCIAS

- Abdelhakim, H. E., Coupe, A., Tuleu, C., Edirisinghe, M., and Craig, D. Q. M. (2019). Electrospinning optimization of eudragit E PO with and without chlorpheniramine maleate using a design of experiment approach. *Molecular Pharmaceutics*. 16(6): 2557-2568.
- Agrawal, G. R., Wakte, P., and Shelke, S. (2017). Formulation, physicochemical characterization and *in vitro* evaluation of human insulin-loaded microspheres as potential oral carrier. *Progress in Biomaterials*. 6(3): 125-136.
- Agyei, D., Ahmed, I., Akram, Z., Iqbal, H. M., and Danquah, M. K. (2017). Protein and peptide biopharmaceuticals: An overview. *Protein and Peptide Letters*. 24(2): 94-101.
- Alqahtani, M. S., Syed, R., and Alshehri, M. (2020). Size-dependent phagocytic uptake and immunogenicity of gliadin nanoparticles. *Polymers*. 12(11): 2576.
- Andhariya, J. V. and Burgess, D. J. (2016). Recent advances in testing of microsphere drug delivery systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 13(4): 593-608.
- Andorko, J. I., Pineault, K. G., and Jewell, C. M. (2017). Impact of molecular weight on the intrinsic immunogenic activity of poly (beta amino esters). *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*. 105(4): 1219-1229.
- Bale, S., Khurana, A., Reddy, A. S., Singh, M., and Godugu, C. (2016). Overview on therapeutic applications of microparticulate drug delivery systems. *Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems*. 33(4): 309-361.
- Benne, N., van-Duijn, J., Kuiper, J., Jiskoot, W., and Slütter, B. (2016). Orchestrating immune responses: How size, shape and rigidity affect the immunogenicity of particulate vaccines. *Journal of Controlled Release*. 234: 124-134.
- Berger, E., Breznan, D., Stals, S., Jasinghe, V. J., Gonçalves, D., Girard, D., ..., and Lavigne, C. (2017). Cytotoxicity assessment, inflammatory properties, and cellular uptake of Neutraplex lipid-based nanoparticles in THP-1 monocyte-derived macrophages. *Nanobiomedicine*. 4: 1-14.
- Bhakta, S., Seraji, M. S., Suib, S. L., and Rusling, J. F. (2015). Antibody-like biorecognition sites for proteins from surface imprinting on nanoparticles. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 7(51): 28197-28206.
- Bhawani, S. A., Husaini, A., Ahmad, F. B., and Asaruddin, M. R. (2018). Polymer based protein therapeutics. *Current Protein and Peptide Science*. 19(10): 972-982.
- Bilati, U., Allemann, E., and Doelker, E. (2005). Strategic approaches for overcoming peptide and protein instability within biodegradable nano- and microparticles. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 59(3): 375-388.
- Bittner, B., Morlock, M., Koll, H., Winter, G., and Kissel, T. (1998). Recombinant human erythropoietin (rhEPO) loaded poly (lactide-co-glycolide) microspheres: influence of the encapsulation technique and polymer purity on microsphere characteristics. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 45(3): 295-305.
- Bowey, K., Swift, B. E., Flynn, L. E., and Neufeld, R. J. (2013). Characterization of biologically active insulin-loaded alginate microparticles prepared by spray drying. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 39(3): 457-465.
- Bracho-Sanchez, E., Xia, C. Q., Clare-Salzler, M. J., and Keselowsky, B. G. (2016). Micro and nano material carriers for immunomodulation. *American Journal of Transplantation*. 16(12): 3362-3370.
- Bronze-Uhle, E. S., Costa, B. C., Ximenes, V. F., and Lisboa-Filho, P. N. (2017). Synthetic nanoparticles of bovine serum albumin with entrapped salicylic acid. *Nanotechnology Science and Applications*. 10: 11-21.
- Bruno, B. J., Miller, G. D., and Lim, C. S. (2013). Basics and recent advances in peptide and protein drug delivery. *Therapeutic Delivery*. 4(11): 1443-1467.
- Butreddy, A., Janga, K. Y., Ajjarapu, S., Sarabu, S.,

- and Dudhipala, N. (2020). Instability of therapeutic proteins - An overview of stresses, stabilization mechanisms and analytical techniques involved in lyophilized proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*. 167: 309-325.
- Calasans-Maia, M. D., Barboza-Junior, C., Soriano-Souza, C. A., Alves, A., Uzeda, M., Martinez-Zelaya, and Rossi, A. M. (2019). Microspheres of alginate encapsulated minocycline-loaded nanocrystalline carbonated hydroxyapatite: therapeutic potential and effects on bone regeneration. *International Journal of Nanomedicine*. 14: 4559-4571.
- Charão, M. F., Goethel, G., Brucker, N., Paese, K., Eifler-Lima, V. L., Pohlmann, A. R., and Garcia, S. C. (2019). Melatonin-loaded lipid-core nanocapsules protect against lipid peroxidation caused by paraquat through increased SOD expression in *Caenorhabditis elegans*. *BMC Pharmacology & Toxicology*. 20(1): 1-7.
- Chen, K. Y. and Zeng, S. Y. (2017). Preparation and characterization of quaternized chitosan coated alginate microspheres for blue dextran delivery. *Polymers*. 9(6): 210.
- Chogale, M. M., Ghodake, V. N., and Patravale, V. B. (2016). Performance parameters and characterizations of nanocrystals: A brief review. *Pharmaceutics*. 8(3).
- Coelho, J., Eusebio, D., Gomes, D., Frias, F., Passarinha, L. A., and Sousa, A. (2019). Biosynthesis and isolation of gellan polysaccharide to formulate microspheres for protein capture. *Carbohydrate Polymers*. 220: 236-246.
- Coelho, J. F., Ferreira, P. C., Alves, P., Cordeiro, R., Fonseca, A. C., Gois, J. R., and Gil, M. H. (2010). Drug delivery systems: Advanced technologies potentially applicable in personalized treatments. *EPMA Journal*. 1(1): 164-209.
- Correa-Paz, C., Navarro-Poupard, M. F., Polo, E., Rodríguez-Pérez, M., Taboada, P., Iglesias-Rey, R., and Pelaz, B. (2019). *In vivo* ultrasound-activated delivery of recombinant tissue plasminogen activator from the cavity of sub-micrometric capsules. *Journal of Controlled Release*. 308: 162-171.
- Costantino, H. R., Firouzabadian, L., Hogeland, K., Wu, C., Beganski, C., Carrasquillo, K., and Tracy, M. A. (2000). Protein spray-freeze drying. Effect of atomization conditions on particle size and stability. *Pharmaceutical Research*. 17(11): 1374-1383.
- Diwan, M. and Park, T. G. (2003). Stabilization of recombinant interferon-alpha by pegylation for encapsulation in PLGA microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*. 252(1-2): 111-122.
- Erten-Taysi, A., Cevher, E., Sessevmez, M., Olgac, V., Mert-Taysi, N., and Atalay, B. (2019). The efficacy of sustained-release chitosan microspheres containing recombinant human parathyroid hormone on MRONJ. *Brazilian Oral Research*. 33: e086.
- Ghasemi, R., Abdollahi, M., Emamgholi-Zadeh, E., Khodabakhshi, K., Badeli, A., Bagheri, H., and Hosseinkhani, S. (2019). mPEG-PLA and PLA-PEG-PLA nanoparticles as new carriers for delivery of recombinant human Growth Hormone (rhGH). *Scientific Reports*. 8(1): 9854.
- Gill, P., Moghadam, T. T., and Ranjbar, B. (2010). Differential scanning calorimetry techniques: applications in biology and nanoscience. *Journal Biomolecular Techniques*. 21(4): 167-193.
- Gravastrand, C., Hamad, S., Fure, H., Steinkjer, B., Ryan, L., Oberholzer, J., and Rokstad, A. M. (2017). Alginate microbeads are coagulation compatible, while alginate microcapsules activate coagulation secondary to complement or directly through FXII. *Acta Biomaterialia*. 58: 158-167.
- Hahn, S. K., Kim, S. J., Kim, M. J., and Kim, D. H. (2004). Characterization and *in vivo* study of sustained-release formulation of human growth hormone using sodium hyaluronate. *Pharmaceutical Research*. 21(8): 1374-1381.
- Han, P., Zhou, X., and You, C. (2020). Efficient multi-enzymes immobilized on porous microspheres for producing inositol from starch. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 8: 380.
- Horák, D., Hlídková, H., Kit, Y., Antonyuk, V., Myronovsky, S., and Stoika, R. (2017). Magnetic poly (2-hydroxyethyl methacrylate) microspheres for affinity purification of monospecific anti-p46 kDa/Myo1C antibodies for early diagnosis of multiple sclerosis patients. *Bioscience Reports*. 37(2).
- Hu, M., Guo, J., Yu, Y., Cao, L., and Xu, Y. (2017). Research advances of microencapsulation and its prospects in the petroleum industry. *Materials*. 10(4): 369.
- Informa (2019). Pharmaprojects Pharma R&D Annual Review 2019. [En línea]. Disponible en: <https://pharmaintelligence.informa.com/~media/informa-shop-window/pharma/2019/files/whitepapers/pharma-rd-review-2019-whitepaper.pdf>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2020.
- Jagtap, Y. M., Bhujbal, R. K., Ranade, A. N., and

- Ranpise, N. S. (2012). Effect of various polymers concentrations on physicochemical properties of floating microspheres. *Indian Journal Pharmaceutical Sciences*. 74(6): 512-520.
- Jiang, M., Severson, K. A., Love, J. C., Madden, H., Swann, P., Zang, L., and Braatz, R. D. (2017). Opportunities and challenges of real-time release testing in biopharmaceutical manufacturing. *Biotechnology and Bioengineering*. 114(11): 2445-2456.
- Jyothi, N. V., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., and Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*. 27(3): 187-197.
- Kang, F. and Singh, J. (2003). Conformational stability of a model protein (bovine serum albumin) during primary emulsification process of PLGA microspheres synthesis. *International Journal of Pharmaceutics*. 260(1): 149-156.
- Kang, J., Wu, F., Cai, Y., Xu, M., He, M., and Yuan, W. (2014). Development of Recombinant Human Growth Hormone (rhGH) sustained-release microspheres by a low temperature aqueous phase/aqueous phase emulsion method. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 62: 141-147.
- Katti, D. and Krishnamurti, N. (1999). Preparation of albumin microspheres by an improved process. *Journal of Microencapsulation*. 16(2): 231-242.
- Khalkhali, M., Sadighian, S., Rostamizadeh, K., Khoeini, F., Naghibi, M., Bayat, N., ..., and Hamidi, M. (2015). Synthesis and characterization of dextran coated magnetite nanoparticles for diagnostics and therapy. *BioImpacts: BI*. 5(3): 141-150.
- Kiafar, F., Siahi-Shadbad, M. R., and Valizadeh, H. (2016). Filgrastim (G-CSF) loaded liposomes: mathematical modeling and optimization of encapsulation efficiency and particle size. *Bioimpacts*. 6(4): 195-201.
- Kim, N. A., Lim, D. G., Lim, J. Y., Kim, K. H., and Jeong, S. H. (2014). Comprehensive evaluation of etanercept stability in various concentrations with biophysical assessment. *International Journal of Pharmaceutics*. 460(1-2): 108-118.
- Kim, S. J. and Kim, C. W. (2016). Development and Characterization of Sodium Hyaluronate Micro-particle-Based Sustained Release Formulation of Recombinant Human Growth Hormone Prepared by Spray-Drying. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 105(2): 613-622.
- Kirchhoff, C. F., Wang, X. M., Conlon, H. D., Anderson, S., Ryan, A. M., and Bose, A. (2017). Biosimilars: key regulatory considerations and similarity assessment tools. *Biotechnology and Bioengineering*. 114(12): 2696-2705.
- Lan, L., Tian, F. R., ZhuGe, D. L., ZhuGe, Q. C., Shen, B. X., Jin, B. H., ..., and Xu, H. L. (2017). Implantable porous gelatin microspheres sustained release of bFGF and improved its neuroprotective effect on rats after spinal cord injury. *Plos One*. 12(3): e0173814.
- Laptoš, T. and Omersel, J. (2018). The importance of handling high-value biologicals: Physico-chemical instability and immunogenicity of monoclonal antibodies. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 15(4): 3161-3168.
- Li, X., Zhang, Y., Yan, R., Jia, W., Yuan, M., Deng, X., and Huang, Z. (2000). Influence of process parameters on the protein stability encapsulated in poly-DL-lactidepoly (ethylene glycol) microspheres. *Journal of Controlled Release*. 68(1): 41-52.
- Li, W., Zhou, J., and Xu, Y. (2015). Study of the *in vitro* cytotoxicity testing of medical devices. *Bio-medical Reports*. 3(5): 617-620.
- Macura, S. L., Steinbacher, J. L., MacPherson, M. B., Lathrop, M. J., Sayan, M., Hillegass, J. M., ..., and Mossman, B. T. (2013). Microspheres targeted with a mesothelin antibody and loaded with doxorubicin reduce tumor volume of human mesotheliomas in xenografts. *BMC Cancer*. 13(1): 400.
- Marquette, S., Peerboom, C., Yates, A., Denis, L., Langer, I., Amighi, K., and Goole, J. (2014). Stability study of full-length antibody (anti-TNF alpha) loaded PLGA microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*. 470(1-2): 41-50.
- McClements, D. J. (2018). Encapsulation, protection, and delivery of bioactive proteins and peptides using nanoparticle and microparticle systems: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 253: 1-22.
- Mietzner, R., Kade, C., Froemel, F., Pauly, D., Stamer, W. D., Ohlmann, A., and Breunig, M. (2020). Fasudil Loaded PLGA microspheres as potential intravitreal depot formulation for glaucoma therapy. *Pharmaceutics*. 12(8): 706.
- Mohammed, M. A., Syeda, J. T. M., Wasan, K. M., and Wasan, E. K. (2017). An overview of chitosan nanoparticles and its application in non-parenteral drug delivery. *Pharmaceutics*. 9(4).

- Morita, T., Sakamura, Y., Horikiri, Y., Suzuki, T., and Yoshino, H. (2000). Protein encapsulation into biodegradable microspheres by a novel S/O/W emulsion method using poly (ethylene glycol) as a protein micronization adjuvant. *Journal of Controlled Release*. 69(3): 435-444.
- Nguyen, C. T., Kim, C. R., Le, T. H., Koo, K. I., and Hwang, C. H. (2020). Magnetically guided targeted delivery of erythropoietin using magnetic nanoparticles: Proof of concept. *Medicine*. 99(19): e19972.
- Nguyen, H. X. and O'Rear, E. A. (2017). Modified dextran, heparin-based triggered release microspheres for cardiovascular delivery of therapeutic drugs using protamine as a stimulus. *Journal of Microencapsulation*. 34(3): 299-307.
- Nifontova, G., Ramos-Gomes, F., Baryshnikova, M., Alves, F., Nabiev, I., and Sukhanova, A. (2019). Cancer cell targeting with functionalized quantum dot-encoded polyelectrolyte microcapsules. *Frontiers in Chemistry*. 7: 34.
- Nigen, M., Gaillard, C., Croguennec, T., Madec, M. N., and Bouhallab, S. (2010). Dynamic and supramolecular organisation of alpha-lactalbumin/lysozyme microspheres: A microscopic study. *Biophysical Chemistry*. 146(1): 30-35.
- Ozkan, G., Franco, P., De-Marco, I., Xiao, J., and Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*. 272: 494-506.
- Paul, M., Vieillard, V., Jaccoulet, E., and Astier, A. (2012). Long-term stability of diluted solutions of the monoclonal antibody rituximab. *International Journal of Pharmaceutics*. 436(1-2): 282-290.
- Pachioni-Vasconcelos, J., Lopes, A. M., Apolinario, A. C., Valenzuela-Oses, J. K., Costa, J. S., Nascimento, L., ..., and Rangel-Yagui, C. de O. (2016). Nanostructures for protein drug delivery. *Biomaterials Science*. 4(2): 205218.
- Pawar, V. K., Meher, J. G., Singh, Y., Chaurasia, M., Surendar-Reddy, B., and Chourasia, M. K. (2014). Targeting of gastrointestinal tract for amended delivery of protein/peptide therapeutics: strategies and industrial perspectives. *Journal of Controlled Release*. 196: 168-183.
- Perry, S. L. and McClements, D. J. (2020). Recent advances in encapsulation, protection, and oral delivery of bioactive proteins and peptides using colloidal systems. *Molecules* 25(5): 1161.
- Reinhold, S. E. and Schwendeman, S. P. (2013). Effect of polymer porosity on aqueous selfhealing encapsulation of proteins in PLGA microspheres. *Macromolecular Bioscience*. 13(12): 1700-1710.
- Ribeiro, A. J., Silva, C., Ferreira, D., and Veiga, F. (2005). Chitosan-reinforced alginate microspheres obtained through the emulsification/internal gelation technique. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 25(1): 31-40.
- Ribeiro, M. P., Morgado, P. I., Miguel, S. P., Coutinho, P., and Correia, I. J. (2013). Dextran-based hydrogel containing chitosan microparticles loaded with growth factors to be used in wound healing. *Materials Science and Engineering: C*. 33(5): 2958-2966.
- Rokstad, A. M., Lacik, I., de-Vos, P., and Strand, B. L. (2014). Advances in biocompatibility and physicochemical characterization of microspheres for cell encapsulation. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 67: 111-130.
- Sáenz-del-Burgo-Martínez, L., Ciriza-Astrain, J., Espona-Noguera, A., Xavier, I., Cabruja-Casas, E., Orive-Arroyo, G., ..., and Alvarez, M. (2018). 3D Printed porous polyamide macrocapsule combined with alginate microcapsules for safer cell-based therapies. *Scientific Reports*. 8(1): 8512.
- Sánchez, A., Villamayor, B., Guo, Y., McIver, J., and Alonso, M. J. (1999). Formulation strategies for the stabilization of tetanus toxoid in poly (lactide-co-glycolide) microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*. 185(2): 255-266.
- Savage, D. T., Hilt, J. Z., and Dziubla, T. D. (2019). *In vitro* methods for assessing nanoparticle toxicity. *Methods in Molecular Biology*. 1894: 1-29.
- Schellekens, H. (2002). Bioequivalence and the immunogenicity of biopharmaceuticals. *Nature Reviews Drug Discovery*. 1(6): 457-462.
- Schellekens, H. (2009). Biosimilar therapeutics-what do we need to consider? *NDT Plus*. 2(1): i27-i36.
- Schick, C. (2009). Differential scanning calorimetry (DSC) of semicrystalline polymers. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 395(6): 1589-1611.
- Schuster, J., Koulov, A., Mahler, H. C., Detampel, P., Huwyler, J., Singh, S., and Mathaes, R. (2020). *In vivo* stability of therapeutic proteins. *Pharmaceutical Research*. 37(2): 23.
- Sekhon, B. S. and Saluja, V. (2011). Biosimilars: an overview. *Biosimilars*. 1: 1-11.

Shah, R. B. and Schwendeman, S. P. (2014). A biomimetic approach to active selfmicroencapsulation of proteins in PLGA. *Journal of Controlled Release*. 196: 60-70.

Singh, M. N., Hemant, K. S., Ram, M., and Shivakumar, H. G. (2010). Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery. *Research in Pharmaceutical Sciences*. 5(2): 65-77.

Wagh, A., Song, H., Zeng, M., Tao, L., and Das, T. K. (2018). Challenges and new frontiers in analytical characterization of antibody-drug conjugates. *MAbs*. 10(2): 222-243.

Wang, L., Liu, Y., Zhang, W., Chen, X., Yang, T., and Ma, G. (2013). Microspheres and microcapsules for protein delivery: strategies of drug activity retention. *Current Pharmaceutical Design*. 19(35): 6340-6352.

Wang, X., Qi, F., Xing, H., Zhang, X., Lu, C., Zheng, J., and Ren, X. (2019). Uniform-sized insulin-loaded PLGA microspheres for improved early-stage peri-implant bone regeneration. *Drug Delivery*. 26(1): 1178-1190.

Wong, C. Y., Al-Salami, H., and Dass, C. R. (2018). Microparticles, microcapsules and microspheres: A review of recent developments and prospects for oral delivery of insulin. *International Journal of Pharmaceutics*. 537(1-2): 223-244.

Yang, F., Song, F. L., Pan, Y. F., Wang, Z. Y., Yang, Y. Q., Zhao, Y. M., ..., and Zhang, Y. M. (2010). Preparation and characteristics of interferon-alpha poly(lactic-co-glycolic acid) microspheres. *Journal of Microencapsulation*. 27(2): 133-141.

Yuan, W., Wu, F., Guo, M., and Jin, T. (2009). Development of protein delivery microsphere system by a novel S/O/O/W multi-emulsion. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 36(2-3): 212-218.

Zhang, H., Wang, W., Li, H., Peng, Y., and Zhang, Z. (2018). Microspheres for the oral delivery of insulin: preparation, evaluation and hypoglycaemic effect in streptozotocin-induced diabetic rats. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 44(1): 109-115.

Zhao, Y. Y., Wang, N., Liu, W. H., Tao, W. J., Liu, L. L., and Shen, Z. D. (2016). Charge variants of an avastin biosimilar isolation, characterization, *in vitro* properties and pharmacokinetics in rat. *Plos One*. 11(3): e0151874.

Zheng, B. and McClements, D. J. (2020). Formulation of more efficacious curcumin delivery systems using colloid science: enhanced solubility, sta-

bility, and bioavailability. *Molecules*. 25(12): 2791.

Zhou, S., Sun, J., Sun, L., Dai, Y., Liu, L., Li, X., ..., and Zhang, Z. (2008). Preparation and characterization of interferon-loaded magnetic biodegradable microspheres. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B*. 87(1): 189-196.



Riqueza de aves en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa en San Luis Potosí, México

Birds richness of Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve in San Luis Potosi, Mexico

Francisco Javier Sahagún-Sánchez^{1*}, Marco Antonio Espinoza-Guzmán², Francisco Martín Huerta-Martínez³

RESUMEN

El conocimiento de la biodiversidad en un área natural protegida es fundamental para el desarrollo de acciones para su manejo y conservación. El objetivo del presente trabajo fue determinar los patrones de riqueza, categorías de endemismo, así como el estatus de conservación y vulnerabilidad de las aves en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, ubicada en el noreste del estado de San Luis Potosí, México. Se incluye la información generada por el programa de monitoreo comunitario de aves y otros esfuerzos de muestreo realizados en el área. Se desarrolló trabajo de campo con base en el método de censado de conteo por puntos, los cuales fueron establecidos a lo largo de transectos en el área de estudio. Se registraron 279 especies de aves pertenecientes a 23 órdenes y 54 familias, correspondiendo el mayor porcentaje a las especies residentes permanentes (64.16 %). Del total de especies reportadas, 37 se encuentran bajo alguna categoría de riesgo y 25 presentan alguna categoría de endemismo. El 54.12 % de las especies tienen afinidad neotropical, 26.88 % neártica y 19 % neártica/neotropical. Por otro lado, alrededor del 22.22 % de las aves registradas tienen un nivel de sensibilidad al disturbio de medio a alto, que puede incrementarse debido a los cambios en los hábitats generados por las actividades humanas en la zona de influencia de la reserva. Los monitores comunitarios aliados al programa contribuyeron significativamente en las actividades de campo y la difusión de las acciones orientadas al conocimiento de las aves en la reserva. Los datos obtenidos permiten actualizar la información en el programa de manejo del área natural protegida de la reserva, lo que favorecerá la conservación de las aves en la zona.

PALABRAS CLAVE: área natural protegida, conservación, inventario, aliados comunitarios.

ABSTRACT

Knowledge about biodiversity in a natural protected area is essential for the development of actions for its management and conservation. The objective of this work was to determine the richness patterns, endemism categories, as well as the conservation and vulnerability status of birds in the Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, located in the northeastern region of the state of San Luis Potosí, Mexico. The information generated by the community bird monitoring program and other sampling efforts in the area was included. Fieldwork was carried out based on the census method of counting by points established along transects in the study area. A total of 279 bird species belonging to 23 orders and 54 families were registered, of which the highest percentage are permanent resident species (64.16 %). Of the species recorded, 37 are under some risk category, and 25 species have some endemism category. 54.12 % of the species have a Neotropical affinity, 26.88 % a Nearctic one, and 19 % a Nearctic/Neotropical one. On the other hand, around 22.22 % of the registered birds have a medium to high sensitivity to disturbance, which may increase due to changes in habitats generated by human activities in the reserve's area of influence. The community allies linked to the monitoring program contributed significantly to the field activities and the dissemination of the actions aimed at bird awareness in the reserve. The obtained data allow the updating of information in the management program of the natural protected area, which will favor the birds' conservation in the zone.

KEYWORDS: natural protected area, conservation, inventory, community allies.

*Correspondencia: francisco.sahagun@cucea.udg.mx/ Fecha de recepción: 31 de julio de 2020/ Fecha de aceptación: 26 de octubre de 2020/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Departamento de Políticas Públicas, Anillo Periférico Norte núm. 799, Núcleo Universitario Los Belenes, Zapopan, Jalisco, México, C. P. 45100. ²Universidad Veracruzana, Facultad de Biología, Xalapa de Enriquez, Veracruz, México. ³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Ecología, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la información disponible sobre la biodiversidad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) ha permitido mejorar la toma de decisiones sobre las acciones de conservación y manejo que se desarrollarán a corto y mediano plazo (Ortiz-Pulido y col., 2010; Larios-Lozano y col., 2017), ya que contar con información actualizada sobre las especies y el estado de los ecosistemas facilita la identificación de amenazas relacionadas con las actividades humanas y/o las posibles áreas de oportunidad, para realizar proyectos de aprovechamiento sostenible, que puedan impulsar el desarrollo local y comunitario (Martínez-Morales y col., 2013).

Las ANP desempeñan un papel clave para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad, así como para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. En los programas de manejo de las ANP, las tareas relacionadas con los inventarios y el monitoreo de la diversidad biológica constituyen aspectos fundamentales para alcanzar los objetivos de la conservación, de acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2019).

México cuenta con 182 ANP de carácter federal, donde se representan los distintos ecosistemas y especies prioritarias para la conservación (CONANP, 2019). Sin embargo, existen ecosistemas para los que existe poca superficie de protección a pesar de contener una alta biodiversidad (Chapa y Monzalvo, 2012; Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018). Tal es el caso de los ecosistemas que conforman las selvas caducifolias, cuya representatividad en las ANP a nivel nacional alcanza apenas el 7 % (1 658 419 ha) (CONANP, 2018). De acuerdo con Mendoza-Ponce y col. (2018), en el año 2011 este tipo de ecosistemas ocupaban el 10.54 % del territorio nacional; no obstante, su superficie ha sido disminuida por procesos relacionados con la extensión de la frontera agropecuaria (Vergara y col., 2017; Reyes y col., 2018), por lo que se estima que actualmente la superficie cubierta por selvas secas en el país es

de aproximadamente el 9.14 % (Mendoza-Ponce y col., 2018), con las implicaciones que esto tiene para las especies que las habitan.

En general, las selvas caducifolias conforman ecosistemas con una alta diversidad de aves, donde se concentra un importante número de especies endémicas (Stotz y col., 1996; González-García y Gómez-de-Silva, 2003). En estos ecosistemas se ha registrado alrededor del 30 % de las especies de aves terrestres de México, por lo que algunos autores señalan la necesidad de incrementar los esfuerzos de investigación en las zonas poco estudiadas de este tipo de ecosistemas (Vázquez y col., 2009; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2012; Navarro-Sigüenza y col. 2014).

En 2013 se estableció un programa de monitoreo comunitario de aves para la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa (RBSAT), ubicada en el Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental (CESMO, 2017), la cual es un área importante para la conservación de las selvas bajas caducifolias y se encuentra en el límite boreal de este tipo de ecosistemas estacionalmente secos en el noreste del país (De-Nova y col., 2018; 2019a). Con el programa de monitoreo se iniciaron los trabajos de registro sistemático de datos para este grupo taxonómico, como parte de las acciones del Subprograma de conocimiento en sus componentes sobre inventarios, monitoreo ambiental y socioeconómico. El programa se construyó sobre la base de la participación comunitaria y tiene como objetivo ampliar la información sobre la avifauna, para determinar los patrones de riqueza, distribución y diversidad de las especies (Sahagún-Sánchez y Castro-Navarro, 2013).

La reserva fue decretada en 1994 y contiene una importante biodiversidad que provee servicios ecosistémicos, entre los que destacan los servicios de regulación, aprovisionamiento y culturales, según datos del programa de manejo publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014; Martínez-Hernández y col., 2017).

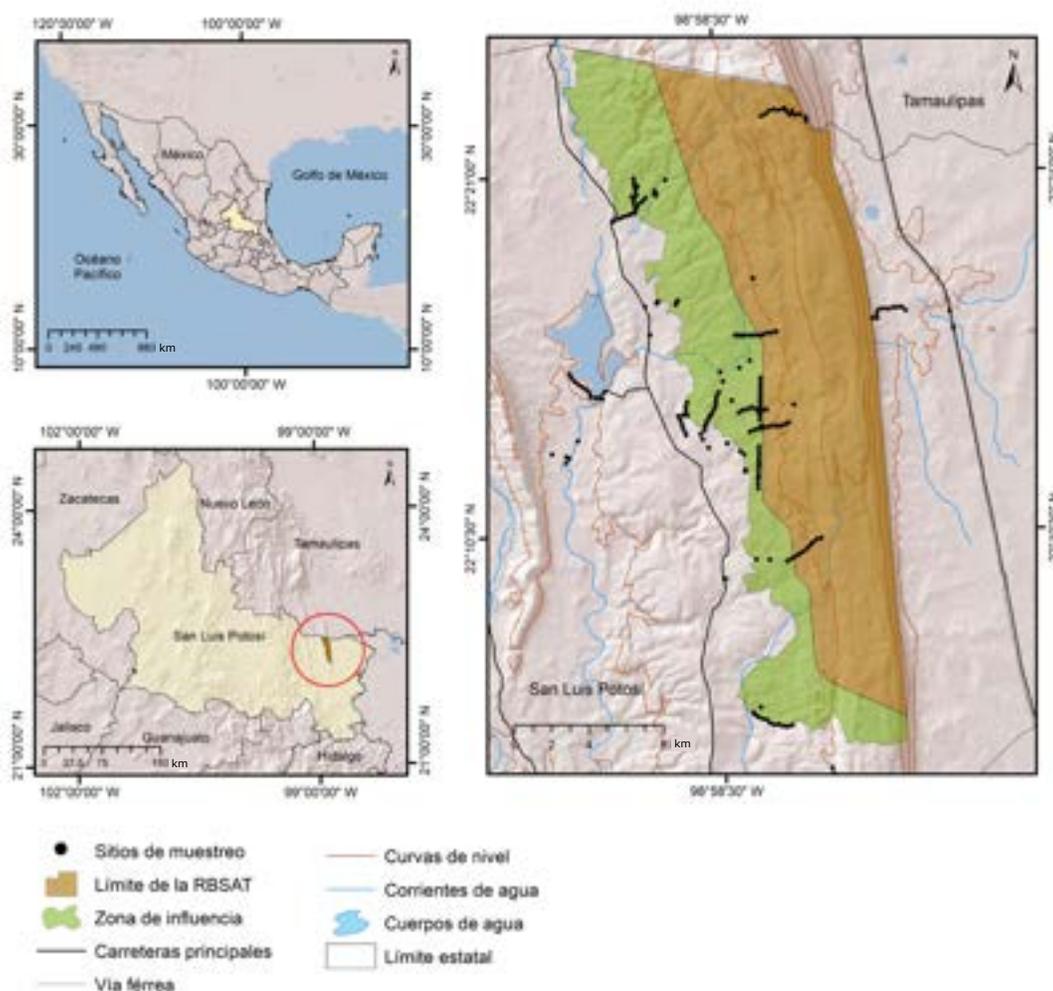
Esta ANP es considerada una Región Terrestre Prioritaria para la Conservación (RTP-96) (Arriaga y col., 2009) por su integridad ecológica funcional y como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA C-54), de acuerdo con Arizmendi y Márquez (2000) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2019), por la presencia de especies de aves prioritarias, como la Guacamaya Verde (*Ara militaris*) y el Cuervo Tamaulipeco (*Corvus imparatus*); sin embargo, hasta el año 2013 no existía un registro sistemático que permitiera conocer la riqueza de especies que conforman su avifauna (Sahagún-Sánchez y Castro-Navarro, 2013; Castro y col., 2017).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los patrones de riqueza, categorías de endemismo, así como el estatus de conservación y vulnerabilidad de las aves en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La RBSAT cuenta con una superficie de 21 464 ha y se localiza en el noreste del estado de San Luis Potosí, México (98°53'07" a 99°00'44" W y de 22°04'38" a 22°23'56" N), en la región de la huasteca potosina (Figura 1). Presenta un gradiente altitudinal que va de los 300 m a 850 m y una precipitación pluvial media anual de en-



■ Figura 1. Localización y zonificación de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. Ubicación de sitios de muestreo en el área de estudio.

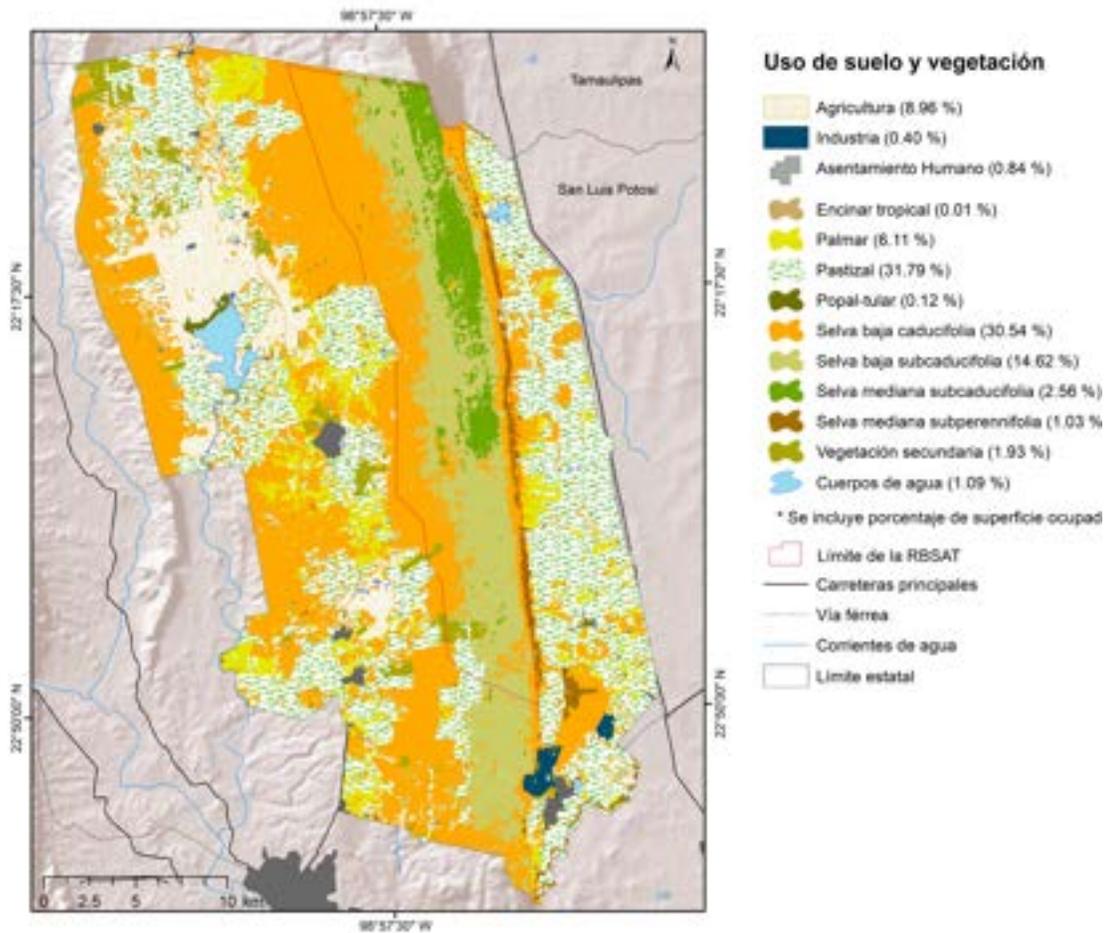
Figure 1. Location and zoning of Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, Mexico. Location of sampling sites in the study area.

entre los 1 200 mm y 1 500 mm (SEMARNAT, 2014; Durán, 2018). Los climas predominantes, con base en la clasificación de Köppen modificada por García (2004), son el cálido húmedo (Aw1) y cálido subhúmedo (Aw2), con lluvias en verano y una temperatura media anual de 24 °C. En la región se presentan rocas calizas sedimentarias y suelos de tipos regosol, vertisol, litosol y rendzinas, lo que facilita las infiltraciones y hace posible la recarga de mantos freáticos y cuerpos de agua, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014).

En la RBSAT se distribuyen especies con afinidad neártica y neotropical, entre las que se en-

contran algunas especies emblemáticas e indicadoras, además de especies endémicas y en categoría de riesgo, lo que la posicionan como un punto clave de diversidad biológica a nivel regional (Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018).

En el ámbito de la ANP existen distintos tipos de vegetación, entre ellos: la selva baja caducifolia, la selva baja subcaducifolia, la selva mediana subcaducifolia y la selva mediana subperennifolia (De-Nova y col., 2018); además, es posible encontrar encinares tropicales, vegetación acuática, secundaria y riparia (Reyes y col., 2018) (Figura 2). Se han registrado cerca de 420 especies de plantas vasculares, que in-



■ Figura 2. Uso de suelo y vegetación de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. Fuente: Modificado a partir de Reyes y col. (2018).
 Figure 2. Land-use and vegetation of Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosi, Mexico. Source: Modified from of Reyes y col. (2018).

cluyen algunas especies en riesgo como el chamal (*Dion edule*) y el soyate (*Beaucarnea inermis*) (De-Nova y col., 2018). En los alrededores del ANP es común la presencia de zonas dedicadas a la agricultura de temporal y de riego, donde predominan cultivos de caña, pastizales inducidos y algunos cultivos de frutales (Reyes y col., 2018).

Trabajo de campo y de gabinete

El trabajo de campo relacionado con el programa de monitoreo se realizó entre julio de 2014 y enero de 2016. Los sitios de muestreo fueron definidos en un taller participativo; con los aliados y monitores comunitarios se consideraron sitios en los distintos tipos de vegetación y cuerpos de agua en la zona, también, las posibilidades de acceso y la situación de seguridad para el tránsito de cuatro monitores y dos investigadores. Entre los sitios seleccionados se consideraron algunas zonas adyacentes que incluyen la presa La Lajilla, que es un cuerpo de agua, relativamente cercano al ANP, y los cultivos de mango al oeste de la presa. Se realizaron seis talleres de formación y capacitación de monitores en las comunidades, para fortalecer las habilidades de los aliados al programa y con el fin de incrementar el número de participantes, además de garantizar una mayor calidad y eficiencia en el levantamiento y registro de datos (Ortega-Álvarez y col., 2015). Posteriormente se llevó a cabo un segundo esfuerzo de muestreo sistemático e intensivo entre junio de 2017 y mayo de 2018, durante la realización de un inventario multitaxonómico financiado por la CONABIO (De-Nova y col., 2019b).

Los registros de aves se obtuvieron por el método de censado de conteo por puntos, que fueron establecidos a lo largo de 13 transectos. Se ubicaron 10 puntos por transecto, para un total de 130 puntos. Los puntos se dispusieron con una separación de 250 m entre sí y un radio fijo de 25 m (Hutto y col., 1986; Ralph y col., 1996). El muestreo matutino inició media hora antes del amanecer y tuvo una duración promedio de 3 h (aproximadamente entre las 6:00 a. m. a las 9:00 a. m.). Se registraron todas las espe-

cies de aves observadas y escuchadas durante 10 min dentro y fuera de la circunferencia de cada punto, así como las aves de paso (Hutto y col., 1986). Además, se obtuvieron registros en recorridos a lo largo de transectos en los alrededores del ANP entre las 6:00 p. m. y las 9:00 p. m., para incluir especies que tienen mayor actividad vespertina y nocturna. Al final, se contabilizaron 163 d de trabajo de campo, con un total aproximado de 978 h de observación, a partir de las cuales se obtuvo información en distintos horarios y diferentes temporadas, de forma que se incluyeran registros de aves residentes y migratorias. Para la observación de las aves se utilizaron binoculares 8x42 modelo Diamond back HD 8x42 de la marca [®]Vortex y 10x42 modelo Monarch 7 de la marca [®]Nikon; y para la identificación de las especies, las guías especializadas para las aves de México (Peterson y Chalif, 1989; Howell y Webb, 1995; Van-Perlo, 2006).

Adicionalmente, se efectuó una búsqueda de información sobre los registros de presencia de las especies de aves en distintas bases de datos que incluyeron: el Atlas de las Aves de México (Navarro-Sigüenza y col., 2003), los recursos de la Infraestructura Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés: Global Biodiversity Information Facility) (GBIF, 2018), que incluyen información de distintos museos y colecciones científicas, así como la plataforma de ciencia ciudadana aVerAves e iNaturalist (CONABIO, 2018; eBird, 2018), cuyos registros fueron filtrados y revisados detalladamente; además, se consultaron distintas referencias bibliográficas, como las de Navarro y col. (2004); Sánchez-González y García-Trejo (2010) y García-Trejo y col. (2019). Dicha información fue incorporada en la lista sistemática de especies.

Se elaboró una lista de especies con base en la secuencia taxonómica de la Sociedad Americana de Ornitología (AOS, por sus siglas en inglés: American Ornithological Society) (AOS, 2020) y los suplementos actualizados hasta el número 61 (Chesser y col., 2020). Para los nombres comunes en español se consideró la propuesta de

Berlanga y col. (2015), quienes sugieren la utilización de mayúsculas en las letras iniciales de todas las palabras que componen los nombres de las especies en la lista. Para la determinación de la estacionalidad de las especies registradas se utilizaron las siguientes categorías: residentes permanentes, migratorias de invierno, migratorias de verano y transitorias (Howell y Webb, 1995; Berlanga y col., 2015; García-Trejo y col., 2019). La categoría de endemismo se asignó de conformidad con lo propuesto por González-García y Gómez-de-Silva (2003), donde se incluyen especies endémicas, cuasiendémicas y semiendémicas a México, a las que se sumó la categoría de endémicas a la Sierra Madre Oriental (Navarro y col., 2004).

Las categorías de riesgo para las especies que se encuentran amenazadas, sujetas a protección especial o en peligro de extinción fueron asignadas con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y su adenda del Diario Oficial de la Federación (DOF, 2019); asimismo, se incluyó la información sobre la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación (DOF, 2014). Además, se consideró la categorización de acuerdo con la lista roja de las especies amenazadas elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2019) y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, por sus siglas en inglés: Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (CITES, 2018). Adicionalmente, se incluyó información sobre el Acta de Conservación de Aves Neotropicales Migratorias (NMBCA, 2011), así como sobre el nivel de sensibilidad al disturbio de las especies neotropicales registradas (Stotz y col., 1996). Por último, se reporta el valor de vulnerabilidad definido para las especies de México por Berlanga y col. (2015), que considera aspectos relacionados con el tamaño poblacional, la distribución y amenazas en época de reproducción y la tendencia poblacional de las especies para la asignación de un valor en una escala de 4 a 20 puntos, don-

de un índice más alto indica mayor vulnerabilidad. En este caso se consideró que las especies que tuvieran entre 4 y 9 puntos se encuentran en un nivel bajo, las que tienen entre 10 y 15 en nivel medio y las que tienen entre 16 y 20, alto.

Para determinar si el inventario realizado representa una muestra significativa del grupo estudiado durante el tiempo de muestreo, se generaron curvas de acumulación con las especies registradas en campo con base en los estimadores no paramétricos Chao 1 y ACE, en el programa EstimateS Versión 9.10 (Colwell, 2013), los cuales han sido probados por su eficiencia para estimar el número de especies que potencialmente podrían tener ocurrencia en un área a partir de la abundancia de las especies registradas (Larios-Lozano y col., 2017).

Por otro lado, se asignó a las especies una categoría de acuerdo con la siguiente escala: se clasificó como especies raras a todas aquellas que fueron registradas en 3 o menos ocasiones, especies comunes a las que se reportó entre 4 y 21 veces y especies abundantes a las que tuvieron más de 22 registros (Larios-Lozano y col., 2017). Finalmente, se realizó un análisis de la diversidad de especies por tipo de vegetación con base en el Índice de Shannon, en el programa PCORD V 5.31 (McCune y Mefford, 2006). Posteriormente se calculó la diversidad verdadera mediante la fórmula propuesta por Jost (2006), para lo que se consideró solo a las especies registradas en campo.

RESULTADOS

Se obtuvieron 13 104 registros de distribución de aves derivados del muestreo sistemático en la RBSAT y zonas adyacentes al área de influencia, a los cuales se sumaron 584 registros de ocurrencia de las fuentes adicionales consultadas, para un total de 13 688. Se registraron 279 especies de aves pertenecientes a 185 géneros, 54 familias y 23 órdenes, a partir de las cuales se elaboró una lista anotada sistemática donde se incluyen los detalles sobre su categoría de conservación, categoría de endemismo, estatus de residencia, sensibilidad,

vulnerabilidad y abundancia (Tabla 1, Anexo 1). El orden Passeriformes presentó el mayor número de especies, con 146, pertenecientes a 20 familias, seguido del orden Pelecaniformes, con 15 especies y 3 familias, y el de Accipitriformes, con 15 especies y 2 familias. Los órdenes de Charadriiformes y Galliformes presentaron 9 y 7 especies, respectivamente, con 3 familias cada uno (Tabla 1).

Las familias con el mayor número de especies se concentran en el orden de los Passeriformes, donde se destacan las familias Parulidae, con 27 especies, Tyrannidae con 25, Cardinalidae con 16, Icteridae con 13 y Troglodytidae

con 9 especies. Para la familia Accipitridae, del orden de los Accipitriformes se registraron 14 especies; en la familia Anatidae, del orden de Anseriformes, 11 especies; en la familia Ardeidae, del orden de Pelecaniformes, 10 especies; en la familia Trochilidae, del orden de Apodiformes, 9 especies; y en la familia Columbidae, del orden Columbiformes, 9 especies.

En la presa La Lajilla fue posible registrar algunas aves acuáticas, en su mayoría del orden Anseriformes y Charadriiformes. En los cultivos de mango cercanos a la presa se registraron concentraciones de poblaciones de *Amazona viridigenalis* (Loro Tamaulipeco), que

■ **Tabla 1. Riqueza de aves por órdenes en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México.**

Table 1. Birds richness by orders in Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosi, Mexico.

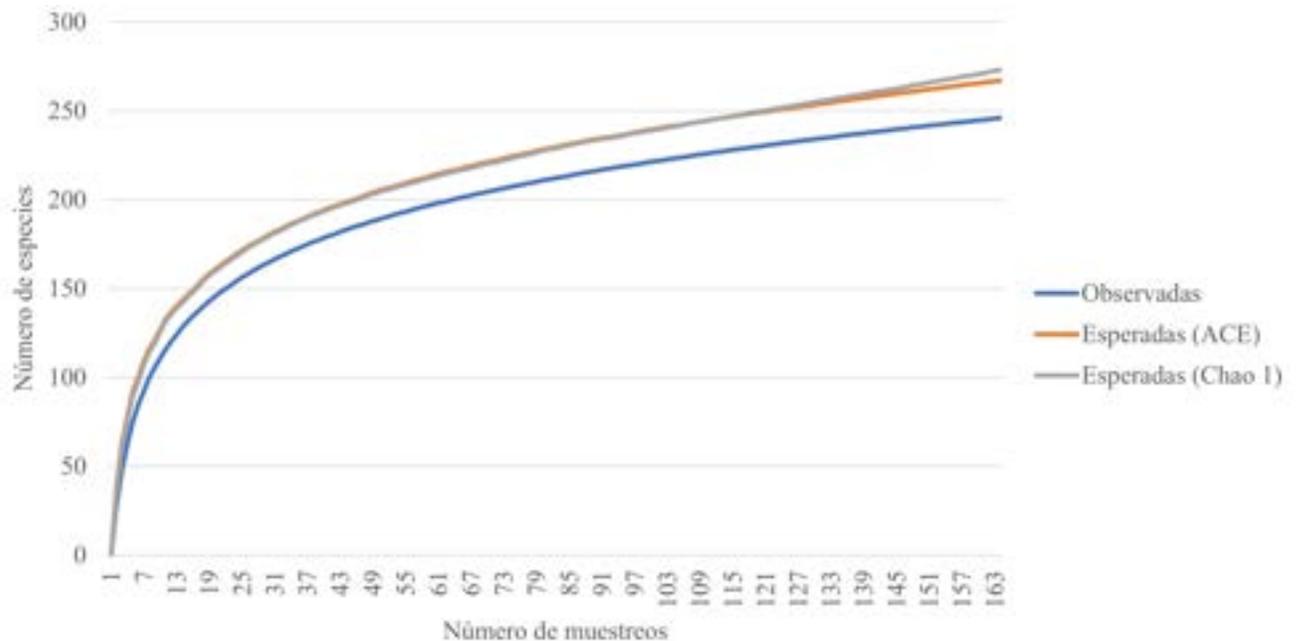
Orden	Familias	Géneros	Especies	Endemismo	Categoría de riesgo	Especies prioritarias	UICN	CITES	NMBCA
Tinamiformes	1	1	1		1				
Anseriformes	1	9	11		2	11	1		
Galliformes	3	7	7	1	5	2	3		
Podicipediformes	1	2	2		1				
Columbiformes	1	6	9			2			
Cuculiformes	1	4	5						2
Caprimulgiformes	1	3	4	1			1		
Nyctibiiformes	1	1	1						
Apodiformes	2	10	11	4				8	1
Gruiformes	2	4	4		1				
Charadriiformes	3	7	9						3
Ciconiiformes	1	1	1		1				1
Suliformes	2	2	3						
Pelecaniformes	3	11	15		1	1			
Cathartiformes	1	2	2						
Accipitriformes	2	11	15		9	2	1	12	
Strigiformes	2	5	6	1	2	1	1	5	1
Trogoniformes	1	1	1						1
Coraciiformes	2	3	5						
Piciformes	1	6	8		1				
Falconiformes	1	4	6		2			6	
Psittaciformes	1	4	7	4	7	5	5	5	
Passeriformes	20	81	146	14	4	1	5		9
Total: 23	54	185	279	25	37	25	16	36	18

utilizan estos sitios como áreas de forrajeo y percha. Por otro lado, en ciertos espacios con selva mediana subperennifolia, en la región de barlovento del ANP, se registró que algunas especies de psitácidos, como *Amazona oratrix* (Loro Cabeza Amarilla) y *Amazona autumnalis* (Loro Cachetes Amarillos), han establecido sus dormitorios.

A partir de los registros obtenidos por el muestreo sistemático se alcanzó entre el 91 % y 92 % de las especies esperadas calculadas por los estimadores Chao 1 y ACE, respectivamente. Las curvas de acumulación se estabilizaron y son

muy similares entre los 2 estimadores (Figura 3). Para el día 163 de trabajo de campo se habían observado 246 especies de un máximo esperado en los muestreos de 272 (~90 %).

Durante el estudio se registraron 30 especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo a nivel nacional, a las cuales se añadieron 7 de fuentes de información externas. Del total (37), 10 se encuentran en peligro de extinción, 8 están amenazadas y 19 se catalogan como especies sometidas a protección especial de acuerdo con la NOM-SEMARNAT-059-2010 (DOF, 2010). Entre las especies en peligro de



■ Figura 3. Curva de acumulación de las aves registradas en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. Incluye resultados para las especies observadas y las esperadas a partir de los estimadores ACE y Chao 1.

Figure 3. Species accumulation curve for registered birds of the Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosi, Mexico. Includes results for the observed and expected species from the ACE and Chao 1 estimators.

Fuente y tipo de registros de especies:

- **En trabajo de campo:** 246 especies observadas (O).
- **Fuentes externas (Ex):** 33 (O: 16 y con ejemplar [E]: 17).
- **Total de especies:** 279 (O: 262 y E: 17).

extinción destacan *Spizaetus ornatus* (Águila Elegante) y los psitácidos Guacamaya Verde, Loro Cabeza Amarilla y Loro Tamaulipeco; entre las especies amenazadas se encuentran *Penelope purpurascens* (Pava Cojolita), *Geranospiza caerulescens* (Gavilán Zancón) y *Falco femoralis* (Halcón Fajado); y entre las especies sometidas a protección especial *Asio flammeus* (Búho Sabanero) e *Ictinia mississippiensis* (Milano de Mississippi). De acuerdo con la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación, se registraron en la RBSAT 25 especies, principalmente de la familia Anatidae (11 spp.) y Psittacidae (5 spp.).

En lo que se refiere a la lista roja de especies amenazadas de la UICN, Loro Cabeza Amarilla, Loro Tamaulipeco, *Amazona finschi* (Loro Corona Lila) y *Setophaga chrysoparia* (Chipe Cachetes Amarillos) se catalogan como especies en peligro; *Crax rubra* (Hocofaisán), *Dendrortyx barbatulus* (Codorniz Coluda Veracruzana), Guacamaya Verde y *Geothlypis flavovelata* (Mascarita de Altamira), como vulnerables, además de incluir otras 8 especies como casi amenazadas. Por último y con respecto a la lista de CITES, se registraron 36 especies entre las que destacan de nuevo los psitácidos Guacamaya Verde, Loro Cabeza Amarilla, Loro Tamaulipeco y Loro Corona Lila, que se encuentran en el apéndice I, a las que se suman otras 32 especies en el apéndice II.

Con respecto a la categoría de endemismo de las aves en la RBSAT, se tiene registro de 25 especies, de las cuales 5 son endémicas a México, 10 son cuasiendémicas y 8 son semiendémicas. Asimismo, se registraron 2 especies endémicas a la Sierra Madre Oriental (*Glaucidium sanchezi* - Tecolote Tamaulipeco y Codorniz Coluda Veracruzana).

De las 37 especies en alguna categoría de riesgo y las 25 endémicas, se registraron en campo 30 y 21, respectivamente. Cabe señalar que 13 de las especies en categoría de riesgo registradas son consideradas abundantes, 7 resultaron ser comunes y 10 raras; por otro lado, 13 especies endémicas resultaron ser abun-

dantes, 1 común y 7 raras, lo que evidencia la importancia de la reserva como un sitio clave para su conservación.

Se registraron 151 especies con afinidad neotropical, de las cuales 4 se catalogan con un nivel de sensibilidad alto y, además, 3 de ellas están en categoría de riesgo (Codorniz Coluda Veracruzana, *Dactylortyx thoracicus* - Codorniz Silbadora y Mascarita de Altamira). Del resto de especies, 53 tienen afinidad neártica/neotropical, 2 de ellas con un nivel de sensibilidad alto; y 75 especies se catalogan con afinidad neártica. El 22.22 % de las especies presentan una sensibilidad media o alta a los disturbios humanos en los hábitats. Asimismo, se determinó que más del 53.76 % de las especies podrían ser clasificadas con un estado de vulnerabilidad de medio a alto.

En lo que se refiere a la estacionalidad, 179 especies de aves se catalogaron como residentes permanentes, 81 como migratorias de invierno, 8 como migratorias residentes de verano, 11 como transitorias. Del total de especies, 18 están incluidas en la lista del Acta para la Conservación de las Aves Migratorias Neotropicales (NMBCA).

Entre las especies con afinidad neártica, 9 son prioritarias de conservación en el país (*Anser caerulescens* - Ganso Blanco, *Anser albifrons* - Ganso Careto Mayor, *Spatula discors* - Cerceta Alas Azules, *Spatula chlypeata* - Pato Cucharón Norteño, *Mareca americana* - Pato Chalcuán, *Anas diazi* - Pato Mexicano, *Aythya americana* - Pato Cabeza Roja, *Aythya collaris* - Pato Pico Anillado y *Oxyura jamaicensis* - Pato Tepalcate), además, el Pato Mexicano tiene categoría de especie amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010). Otras especies neárticas registradas que se encuentran también en categoría de riesgo fueron el Búho Sabanero y *Passerina ciris* (Colorín Sietecolores). En la región sobresalen algunas especies con un número alto de registros, por lo que se consideran abundantes en los distintos sitios de muestreo, entre las que se destacan *Psilorhinus morio* (Chara Pea), *Icterus gularis* (Calandria Dor-

so Negro Mayor), *Arremonops rufivirgatus* (Rascador Oliváceo), *Pheugopedius maculipectus* (Saltapared Moteado), *Melanerpes aurifrons* (Carpintero Cheje) y *Myiarchus tuberculifer* (Papasmoscas Triste); las poblaciones de estas especies se mantienen en números constantes durante todo el año y predominan en los ensamblajes avifaunísticos. En contraparte, las especies con menor cantidad de registros y por lo tanto baja abundancia relativa son *Thraupis episcopus* (Tangara Azulgris), *Cyclarhis gujanensis* (Vireón Cejas Canela) y *Henicorhina leucosticta* (Saltapared Pecho Blanco). No fue posible determinar la abundancia relativa de 33 especies, por provenir de las fuentes externas consultadas. Por otro lado, cabe resaltar que se registraron 6 especies de psitácidos en el campo: Guacamaya Verde, Loro Cabeza Amarilla, Loro Tamaulipeco, Loro Cachetes Amarillos, *Psittacara holochlorus* (Perico Mexicano) y *Eupsittula nana* (Perico Pecho Sucio). Adicionalmente, se encontró un registro en eBird (2018) de Loro Corona Lila, colectado en 1948 por Chester C. Lamb.

El análisis de riqueza y diversidad reflejó que la selva baja caducifolia y la vegetación secundaria son los tipos de vegetación que obtuvieron una riqueza mayor (190 y 129 especies, respectivamente), lo mismo sucedió para la diversidad (4.161 y 3.884, respectivamente) y para el número de especies efectivas (64.1 y 48.6, respectivamente). Por el contrario, fue en asentamientos humanos y en encinar tropical donde se presentó el menor valor de riqueza (10 y 16 especies, respectivamente), de igual manera sucedió con el índice de diversidad (2.245 y 2.102, respectivamente) y con las especies efectivas (9.4 y 8.1, respectivamente) (Tabla 2).

DISCUSIÓN

La riqueza de especies de aves documentada para la RBSAT constituye el 52 % de la avifauna registrada para el estado de San Luis Potosí (García-Trejo y col., 2019) y representa el 24.5 % de la avifauna registrada para México, lo que resalta la importancia de la reserva como un área prioritaria para la conserva-

■ **Tabla 2. Análisis de diversidad de aves por tipo de vegetación en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México (S = Riqueza; H = Índice de diversidad de Shannon; EE = Especies Efectivas).**

Table 2. Birds diversity analysis by vegetation type in the Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, Mexico (S = Richness; H = Shannon's diversity index; EE = Effective Species).

	S	H	EE
Agricultura	127	3.923	50.5
Asentamiento humano	10	2.245	9.4
Cuerpo de agua	47	2.890	17.9
Cultivo de frutales	40	2.596	13.4
Encinar tropical	16	2.102	8.1
Selva baja caducifolia	190	4.161	64.1
Selva baja subcaducifolia	94	3.878	48.3
Selva mediana subcaducifolia	74	3.514	33.5
Vegetación acuática	32	2.419	11.2
Vegetación riparia	83	3.815	45.3
Vegetación secundaria	129	3.884	48.6

ción, además de que corresponde con la estimada para las selvas bajas caducifolias en México (en promedio 255 spp.) (Navarro-Sigüenza y col., 2014). En el contexto regional, la riqueza de aves registrada en la RBSAT corresponde al 53 % de la estimada para la Sierra Madre Oriental (Navarro-Sigüenza y col., 2003) y es comparable con la riqueza registrada en otras ANP, como la Reserva de la Biosfera El Cielo (272 spp.) (Gram y col., 2005), ubicada al noroeste de la RBSAT, en el estado de Tamaulipas, y la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (335 spp.) (Pineda-López y col., 2016), localizada al suroeste de la RBSAT, en el estado de Querétaro.

En general, las selvas bajas caducifolias se destacan por tener una importante riqueza de especies de aves (Navarro-Sigüenza y col., 2014; Vergara y col., 2017) debido a que son hábitats de un alto número de especies vegetales,

que presentan una importante complejidad estructural, estratificación y disponibilidad de alimento, lo que favorece también la presencia de especies migratorias (Ramírez-Albores y Ramírez-Cedillo, 2002), lo cual coincide con lo encontrado en el presente trabajo, donde es evidente que tanto la riqueza, la diversidad y el número de especies efectivas fue mayor en la selva baja caducifolia. Como se mencionó, estos ecosistemas constituyen hábitats críticos para la conservación de especies migratorias, lo que es de particular interés para el desarrollo de acciones concertadas con base en la presencia de especies incluidas en la lista de la ley para la Conservación de las Aves Migratorias Neotropicales (NMBCA, por sus siglas en inglés: Neotropical Migratory Bird Conservation Act) en el ámbito de la reserva (Berlanga y col., 2010; NMBCA, 2011).

Si bien la avifauna de la RBSAT incluye un alto porcentaje de especies residentes permanentes, presenta un importante componente de especies migratorias, lo que destaca la función que tiene la reserva como hábitat para este tipo de aves. El patrón encontrado es similar al registrado en selvas bajas caducifolias de la región de Tomatlán, Jalisco (Ramírez-Albores, 2007), en la cañada del río Sabino en Oaxaca (Vázquez y col., 2009) y para algunos parches remanentes de selva baja caducifolia en la península de Yucatán (Ramírez-Albores y Pérez-Suárez, 2018).

Entre los registros relevantes se destacan el de Halcón Fajado, que se consideraba una especie que había sido extirpada en el norte del país y del estado de San Luis Potosí (Sánchez-González y García-Trejo, 2010) y para la cual se consiguieron varios reportes durante el trabajo de campo realizado. Por otro lado, se registraron algunas especies con afinidad neártica y neártica/neotropical, propias de ambientes desérticos, como *Haemorhous mexicanus* (Pinzón Mexicano), *Lanius ludovicianus* (Verdugo Americano) y *Mimus polyglottos* (Centzontle Norteño), en la confluencia de la selva baja caducifolia y la zona de transición hacia los matorrales presentes en la región, lo que

coincide con lo reportado por Vázquez y col. (2009) en un estudio realizado en una selva baja en Oaxaca. Asimismo, se reportó la presencia de aves como *Meleagris gallopavo* (Guajolote Norteño), *Ortalis vetula* (Chachalaca Oriental), Pava Cojolita y Hocofaisán, que sirven como presa y contribuyen a la presencia y mantenimiento de poblaciones de las distintas especies de felinos mesodepredadores que se distribuyen en la reserva, incluidos *Panthera onca*, *Puma con color*, *Leopardus pardalis* y *Leopardus wiedii*, entre otras (Martínez-Hernández y col., 2017). Por último, se destaca el registro de *Streptopelia decaocto* (Paloma de Collar Turca), una especie exótica que, de acuerdo con los monitores comunitarios, aparece en la zona desde hace aproximadamente 8 años y que poco a poco ha incrementado su presencia en los alrededores de la reserva, en particular en el ejido de Cerro Alto, al suroeste de la reserva, donde se han observado grupos de más de 15 individuos. La expansión en la distribución de esta especie ha sido reportada para zonas urbanas en otros estudios (Pineda-López y col., 2016); sin embargo, en este caso las poblaciones se encuentran a no más de 10 km de la reserva, lo que puede constituir una amenaza para las especies de columbiformes propias de la región u otras especies con la que pueda competir por los recursos.

Como sucede en otras ANP, la información existente sobre la riqueza avifaunística en la reserva se conformaba a partir de estimaciones sobre las áreas de distribución potencial de las especies y no se contaba con información publicada con registros de distribución real en el ámbito del polígono de la reserva (Sahagún-Sánchez y Castro-Navarro, 2013). La falta de información sobre la biodiversidad en las ANP se relaciona directamente con la carencia de apoyos y recursos que permitieran financiar los estudios en las distintas áreas y que en muchos de los casos se han concentrado en áreas que tienen un mayor peso específico, por la presencia de especies emblemáticas, una mayor superficie y/o una capacidad institucional más consolidada (Ramírez-Albores, 2010).

Aunado a lo anterior, en las inmediaciones de la RBSAT se presentan procesos de deforestación que han afectado las cubiertas vegetales de selvas en la periferia del polígono de la reserva, principalmente por influencia de actividades agropecuarias (Reyes y col., 2018). La pérdida de esta vegetación ha ocasionado la reducción de áreas que funcionaban como ecotonos, y trae consigo fragmentación, lo que incrementa el efecto de borde conforme se acercan los cultivos (de caña en su mayoría) al límite de la reserva donde se ubica la brecha cortafuegos. Los cambios en la configuración del paisaje debido al aislamiento del ANP pueden afectar la viabilidad de poblaciones por el incremento en la depredación y el cambio de microclima (Lampila y col., 2005; Turner y col., 2015; Castro y col., 2017).

En este sentido, los cambios pueden afectar a las poblaciones de las especies residentes y las de algunas especies migratorias como el Chipe Cachetes Amarillos, que se encuentra incluida en el listado de la NMBCA y está catalogada como amenazada por la UICN; esta especie es considerada transitoria en la zona de la RBSAT y resultó ser una especie común en la temporada de migración en la reserva. Collier y col. (2012) observaron una correlación entre la disminución de la calidad del hábitat, la reducción de los parches y la calidad de la cobertura vegetal con la abundancia de esta especie en particular, por lo que los procesos de deforestación en la zona podrían afectar el mantenimiento de sus poblaciones en la reserva.

Asimismo, se registraron otras especies con afinidad neártica de interés como el Colorín Sietecolores, enlistada también por la NMBCA y sujeta a Protección Especial (Pr) por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), por tener una alta demanda en el mercado como ave de ornato (González-Herrera y col., 2018) y para la que algunos autores sugieren que es necesario elaborar estudios más específicos, por encontrarse en zonas de corredores migratorios donde se han intensificado las alteraciones a los ecosistemas por actividades antrópicas

(Ethan y col., 2016). Otras especies neárticas catalogadas como semiendémicas (*Archilochus alexandri* - Colibrí Barba Negra, *Vireo cassinii* - Vireo de Cassin y *Spizella pallida* - Gorrión Pálido), deberían ser consideradas para su incorporación a los listados de interés para la conservación, ya que dependen del mantenimiento de sus hábitats en el país para la supervivencia de sus poblaciones durante cierta época del año o de su ciclo biológico (González-Oreja, 2017).

Las modificaciones a los hábitats producen cambios en la estructura y composición de la vegetación que pueden tener efectos nocivos en las poblaciones de aves con alta vulnerabilidad o sensibilidad a las alteraciones del hábitat (Rajpar y Zakaria, 2011; Bregman y col., 2014; Berlanga y col., 2015). Algunos de los aspectos que incrementan la vulnerabilidad para las aves en la reserva se relacionan con los procesos de fragmentación por cambios de uso del suelo debido a prácticas de manejo inadecuado y actividades agropecuarias, además de la presión que existe sobre especies clave por la cacería y la extracción de individuos para comercio ilegal (Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018) y particularmente por la industria minera ampliada que se presenta en los alrededores de la zona (INEGI, 2014).

En este sentido, las especies con afinidad neártica del orden Anseriformes, señaladas por ser prioritarias para la conservación, son de particular interés en la región, debido a la presión por aprovechamiento, en ocasiones ilegal, que existe sobre sus poblaciones, por cacería para su consumo y como especies de interés cinegético (Ramírez-Albores y col., 2007). Por otro lado y respecto al tráfico ilegal de especies en la región, los pericos, loros y guacamayas han sido sobreexplotadas históricamente en la huasteca, para su venta y comercialización (Sahagún y Durán, 2019). Dicha actividad constituye una fuente de ingreso para algunos pobladores de las comunidades aledañas a la reserva y es una de las principales amenazas para la conservación de estas especies

a nivel regional y nacional (Cantú-Guzmán y col., 2007). Durante este estudio se detectó la extracción ilegal de individuos en zonas muy cercanas a la reserva, lo que amenaza la viabilidad de las poblaciones, en particular de Guacamaya Verde y Loro Cabeza Amarilla, que son las especies con mayor demanda en el mercado nacional e internacional (Monterrubio-Rico y col., 2016). La reserva se destaca por la presencia de poblaciones de Guacamaya Verde que se han mantenido estables, con entre 45 y 75 individuos registrados durante los años de muestreo. Incluso, fue posible documentar la anidación y nacimiento de pollos, por lo que se sugiere el desarrollo de acciones de conservación específicas para dicha especie ante las amenazas que se ciernen sobre esta población silvestre, debido al saqueo de sus nidos por habitantes de comunidades cercanas, lo cual ha sido observado en la zona por los miembros del comité de vigilancia del ejido Laguna del Mante del municipio de Ciudad Valles (Hermelindo Guzmán, presidente del comité de vigilancia, comunicación personal, 11 de agosto, 2013).

Como en otros casos (Ortega-Álvarez y col., 2015; Baxin y col., 2020), los aliados comunitarios asociados al programa de monitoreo han contribuido significativamente con la obtención de nuevos registros para la región y dan un importante soporte en las actividades de campo, dadas las condiciones de seguridad prevalecientes en la zona (Sahagún-Sánchez y col., 2018). La incorporación a las actividades de monitoreo de los aliados en las comunidades promueve la apropiación y el empoderamiento de las comunidades sobre las actividades que se desarrollan en el programa, lo cual facilita a largo plazo el diseño e implementación de nuevas alternativas de manejo, aprovechamiento y conservación de las poblaciones de aves. En este sentido, existen propuestas para la implementación de acciones que permitan maximizar el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos de tipo cultural que provee la reserva, a través, por ejemplo, del desarrollo de actividades de aviturismo, de forma que sea posible generar recur-

sos para que el programa de monitoreo pueda ser autosostenible, tal y como se ha promovido en otras ANP (Ortega-Álvarez y col., 2015). Por otro lado, la reserva se encuentra inscrita en el Programa de Pago por Servicios Ambientales en la modalidad conservación de la biodiversidad, lo que garantiza la obtención de una cantidad de recursos económicos importante (Durán, 2018), con la cual se realizan actividades de manejo y mantenimiento del área que favorecen el estado de conservación de las poblaciones de aves y la biodiversidad en general (Sahagún y Durán, 2019).

La continuidad al programa de monitoreo comunitario resulta prioritaria para incrementar la cantidad de información sobre las aves que se distribuyen en el ámbito de la RBSAT y promover alternativas de desarrollo local sostenible. Además, el programa puede aportar información sobre las modificaciones y disturbios que se puedan presentar en el área y su efecto sobre las poblaciones de aves en general y las especies prioritarias en particular (Magurran y col., 2010; Lindenmayer y col., 2012). La información obtenida servirá para definir acciones de conservación específicas que permitan una intervención adecuada para lograr los objetivos de conservación establecidos en el ANP.

CONCLUSIONES

El listado generado revela la importancia de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa (RBSAT) para la conservación de la riqueza avifaunística, con 279 especies de aves distribuidas en los distintos hábitats representados en la zona. La presencia de un alto número de especies en alguna categoría de riesgo refuerza la necesidad de mantener las actividades relacionadas con el monitoreo a largo plazo de las poblaciones y los cambios ambientales en el ámbito de la reserva. El número de especies registradas está relacionado con el estado de conservación en el área de protección y con el incremento en el esfuerzo de muestreo, apoyado por los monitores comunitarios. La información obtenida permitirá la actualización de la información en el

Programa de Manejo de la RBSAT y constituye un insumo fundamental para el diseño de acciones de manejo y la toma de decisiones para la conservación del grupo en el área natural protegida. Mantener la continuidad del Programa de Monitoreo Comunitario de Aves en la RBSAT facilitará la actualización de la información sobre la diversidad y apoyará la construcción de capital social orientado a la conservación de la biodiversidad a través del involucramiento, la capacitación y el empoderamiento de las personas en las comunidades para la realización de las tareas de monitoreo de biodiversidad.

AGRADECIMIENTO

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), por el financiamiento obte-

nido a través del PROMOBÍ en los ejercicios 2014 y 2015. A la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), por el apoyo al proyecto PJ029. A Alejandra Galindo Cruz, por los comentarios y sugerencias al documento. A Humberto Reyes Hernández, por las facilidades para acceder a la información sobre uso de suelo y vegetación. Al director de la reserva Alejandro Durán Fernández, a los técnicos de campo Romina Gutiérrez Hernández y Jorge Mauricio Sánchez López, a los aliados Javier Castillo Padrón y Lorenzo Rodríguez Sánchez, y a los monitores comunitarios Luis Enrique Martínez Hernández, Flor Isabel Díaz Parra, Francisco Emmanuel Pineda Pérez, Laura Magaña Llamas y Herme-lindo Guzmán Antonia.

REFERENCIAS

- AOS, American Ornithological Society (2020). Check-list of North American Birds Committee on Classification and Nomenclature. [En línea]. Disponible en: <https://americanoornithology.org/publications/north-and-middle-american-checklist/> Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020.
- Arizmendi, M. C. y Márquez, L. (2000). *Áreas de Importancia para la Conservación de las aves de México*, AICAS. México, D.F.: CONABIO. 470 Pp.
- Arriaga, C. L., Aguilar, V. y Espinoza, J. M. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En R. Dirzo, R. Gutiérrez e I. J. March (Eds.), *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 433-457). México: CONABIO.
- Baxin, B. C., Baxin, F., Malaga, B., Medina, I., López, A., Flores, M., ..., and Ortega-Álvarez, R. (2020). Community based monitoring for the Tuxtla Quail-Dove *Zenaidura macroura*: a contribution to the natural history of an elusive, endangered, and micro-endemic species of Mexico. *Ornithological Science*. 19(1): 87-92.
- Berlanga, H., Gómez-de-Silva, H., Vargas-Canales, V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R. y Calderón-Parra, R. (2015). *Aves de México. Lista actualizada de especies y nombres comunes*. México, D.F.: CONABIO. 122 Pp.
- Berlanga, H., Kennedy, J. A., Rich, T. D., Arizmendi, M. C., Beardmore, C. J., Blancher, P. J., ... y Will, T. (2010). *Conservando a nuestras aves compartidas: La visión trinacional de Compañeros en Vuelo para la conservación de las aves te-rrrestres*. Cornell Lab of Ornithology: Ithaca, NY. 52 Pp.
- Bregman, T. P., Sekercioglu, C. H., and Tobias, J. A. (2014). Global patterns and predictors of bird species responses to forest fragmentation: implications for ecosystem function and conservation. *Biological Conservation*. 169: 372-383.
- Cantú-Guzmán, J. C., Sánchez-Saldaña, M. E., Grosselet, M., and Silva-Gámez J. (2007). Tráfico ilegal de pericos en México: Una evaluación detallada. Defenders of Wildlife. Washington D. C.: Defenders of Wildlife. 80 Pp.
- Castro, N. J., Sahagún-Sánchez, F. J. y Reyes, H. H. (2017). Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución de la avifauna. *Madera y Bosques*. 23(2): 99-117.
- CESMO, Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental (2017). Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental. [En línea]. Disponible en: <http://cesmo.zohosites.com/blogs/>. Fecha de consulta: 11 de junio de 2019.
- Chapa, V. L. and Monzalvo, S. K. (2012). Natural protected areas of San Luis Potosí, México: ecological representativeness, risks, and conservation implications across scales. *International Journal of Geographic Information Science*. 26(9): 1625-1641.
- Chesser, R. T., Billerman, S. M., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., ..., and Stotz, D. F. (2020). Sixty-first Supplement to the American Ornithological Society's Check-list of North American Birds. *The Auk*. 137(3): ukaa030.
- CITES, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (2018). Apéndices I, II

y III. [En línea]. Disponible en: <http://www.cites.org/esp/app/appendices.shtml>. Fecha de consulta: 6 de agosto de 2019.

Collier, B. A., Groce, J. E., Morrison, M. L., Newnam, J. C., Campomizzi A. J., Farrell, S. L., ..., and Wilkins, R. N. (2012) Predicting patch occupancy in fragmented landscapes at the rangewide scale for an endangered species: an example of an American warbler. *Diversity and Distributions*. 18(2): 158-167.

Colwell, R. K. (2013). EstimateS 9.1. User's Guide and application, in *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from Samples*. [En línea]. Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS/EstimateSPages/EstSUsersGuide/EstimateSUsersGuide.htm>. Fecha de consulta: 16 de agosto de 2018.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2018). Naturalista. [En línea]. Disponible en: <http://www.naturalista.mx> Fecha de consulta: 17 de agosto de 2019.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2019). Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2019.

CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2018). Memoria documental: entrega a recepción y rendición de cuentas 2012-2018, ADVC (Otras modalidades de conservación). México. [En línea]. Disponible en: <https://www.conanp.gob.mx/InformeRendicion/Memoriadocumental14.pdf> Fecha de consulta: 25 de junio de 2019.

CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2019). Áreas Naturales Protegidas Decretadas. [En línea]. Disponible en: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm. Fecha de consulta: 14 de julio de 2019.

De-Nova, J. A., Castillo, P., Salinas, M. M., Fortanelli, M. J. y Mora, O. A. (2018). Los bosques tropicales estacionales. En H. Reyes, A. De-Nova y A. Durán (Eds.), *Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Biodiversidad y acciones para su conservación* (pp. 59-77). México: UASLP.

De-Nova, J. A., González-Trujillo, R., Castillo-Lara, P., Fortanelli-Martínez, M. J., Mora, O. A. y Salinas-Rodríguez, M. M. (2019a). Inventario florístico de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. *Botanical Science*. 97(4): 761-788.

De-Nova, J. A., Sahagún, S. F. J., Bueno, J. y Cruzado, C. J. (2019b). Inventario multi taxonómico: PN El Potosí y RB Sierra del Abra Tanchipa (San Luis Potosí), en *Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. PJ029*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=PJ&Numero=29>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2019.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2010). Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo, en *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2019.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación, en *Secretaría de Gobernación*. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2019.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, en *Secretaría de Gobernación*. [En línea]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2019.

Durán, A. F. (2018). Antecedentes de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. En H. Reyes, A. De-Nova y A. Durán (Eds.), *Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Biodiversidad y acciones para su conservación* (pp. 59-77). México: UASLP.

eBird (2018). Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves eBird, Ithaca, New York. [En línea]. Disponible en: <http://www.ebird.org>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2018.

Ethan, L., Bridge, E. S., Duckles, J. M., Navarro-Sigüenza, A. G., and Rohwer, S. (2016). Assessing migration patterns in *Passerina ciris* using the world's bird collections as an aggregated resource. *PeerJ*. 4: e1871.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México D. F. 97 Pp.

García-Trejo, E. A., Castro-Navarro, J., Sahagún-Sánchez, F. J., Puebla-Olivares, F., Figueroa-Esquivel, E. M., Sánchez-González, L. A. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2019). Aves. En A. Cruz, J. Cruz, D. Melgarejo, A. Martínez-de-la-Vega, D. Flores y S. Murillo (Eds.), *La biodiversidad en San Luis Potosí. Estudio de Estado* (pp. 243-257). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO.

GBIF, Global Biodiversity Information Facility (2018). Global Biodiversity Information Facility. [En línea]. Disponible en: <https://www.gbif.org/es/>. Fecha de consulta: 22 de mayo de 2018.

González-García, F. y Gómez-de-Silva, H. (2003). Espe-

cies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. En H. Gómez-de-Silva y A. Oliveras-de-Ita (Eds.), *Conservación de aves: experiencias en México* (pp. 150-194). México: National Fish and Wildlife Foundation-CIPAMEX-CONABIO.

González-Herrera, L. R., Chablé-Santos, J., Aguilar-Cordero, W. y Manríque-Saide, P. (2018). El comercio de aves silvestres en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5(14): 271-281.

González-Oreja, J. A. (2017). Aves. En Juárez-Reina, A. (Ed.), *México y su Fauna Silvestre: Patrimonio Natural del Mundo* (pp. 1-24). México: Escuela de Biología. BUAP, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Gram, W. K., Brito-Aguilar, R. y Faaborg, J. (2005). Las aves. En G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (Eds.), *Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México* (pp. 510-521). Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Howell, S. N. G. and Webb, S. (1995). *A field guide to the birds of Mexico and northern Central America.*, Oxford, UK: Oxford University Press. 851 Pp.

Hutto, R. L., Pletschet, S. M., and Hendricks, P. (1986). A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk*. 103(3): 593-602.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí 2014. [En línea]. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/anuario_14/702825065416.pdf. Fecha de consulta: 26 de junio de 2018.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*. 113(2): 363-375.

Lampila, P., Monkkonen, M., and Desrochers, A. (2005). Demographic responses by birds to forest fragmentation. *Conservation Biology*. 19(5): 1537-1546.

Larios-Lozano, O., Valencia-Herverth, J., Bravo-Cadena, J., Guzmán-Arias, E. y Ortiz-Pulido, R. (2017). Aves del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88(4): 944-959.

Lindenmayer, D. B., Likens, G. E., Andersen, A., Bowman, D., Bull, C. M., Burns, E., ..., and Wardle, G. M. (2012). Value of long - term ecological studies. *Austral Ecology*. 37(7): 745-757.

Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. M., Elston, D. A., Scott, E. M., ..., and Watty, A. D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology and Evolution*. 25(10): 574-582.

Martínez-Hernández, A., Rosas-Rosas, O. C., Tarango-Arambula, L. A., and Benítez-Alemán, H. E. (2017). Abundance of some mesopredator preys in the Sierra del Abra Tanchipa

Biosphere Reserve and adjacent areas, San Luis Potosí, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 16(2): 37-49.

Martínez-Morales, M. A., Mendiola, I., Zuria, I., Hoffman-Pinter, P. y Velazco, C. (2013). La conservación de las aves más allá de las áreas naturales protegidas: el caso de la avifauna del Rancho Santa Elena, Hidalgo. *Huitzil*. 14(2): 87-100.

McCune, B. and Mefford, M. J. (2006). PC-ORD. *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 5.31 MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A. 28 Pp.

Mendoza-Ponce, A., Corona-Núñez, R., Kraxner, F., Leduc, S., and Patrizio, P. (2018). Identifying effects of land use cover changes and climate change on terrestrial ecosystems and carbon stocks in Mexico. *Global Environmental Change*. 53: 12-23.

Monterrubio-Rico, T. C., Charre-Medellín, J. F., Pacheco-Figueroa, C., Arriaga-Weiss, S., Valdez-Leal, J., Cancino-Murillo, R., ... y Rubio-Rocha, Y. (2016). Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3): 1103-1117.

Navarro, S. A. G., Garza-Torres, H. A., López-de-Aquino, S., Rojas-Soto, O. R. y Sánchez-González, L. A. (2004). Patrones biogeográficos de la avifauna. En I. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental* (pp. 439-467). México: Las Prensas de Ciencias. CONABIO, UNAM.

Navarro-Sigüenza, A. G., Peterson, A. T., and Gordillo-Martínez, A. (2003). Museums working together: The atlas of the birds of Mexico. *Bulletin British Ornithologists*. 123: 207-225.

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, T., Berlanga, G. H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 476-495.

NMBCA, Neotropical Migratory Bird Conservation Act (2011). Acta de Conservación de Aves Migratorias Neotropicales. U.S. Fish and Wildlife Service. [En línea]. Disponible en: <http://www.fws.gov/birdhabitat/Grants/NMBCA/BirdList.st.htm>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2019.

Ortega-Álvarez, R., Sánchez-González, L. A. y Berlanga, H. (2015). *Plumas de multitudes, integración comunitaria en el estudio y monitoreo de aves en México*. México: CONABIO, Distrito Federal. 180 Pp.

Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Martínez-García, V., Reyes, D., Mendiola-González, M. E., Sánchez, G. y Sánchez, M. (2010). Avifauna de la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81(2): 373-391.

Peterson, R. T. y Chalif, E. L. (1989). *Aves de México* (Guía de Campo). México: Editorial Diana. 473 Pp.

Pineda-López, R., Navarro-Sigüenza, A. G., Arellano-Sanaphre, A. y Pedraza, R. R. (2016). Aves del estado de Querétaro. En R. W. K. Jones y V. Serrano-Cárdenas (Eds.), *Historia Na-*

tural de Querétaro (pp. 253-265). Querétaro: Editorial Universitaria, Universidad del Estado de Querétaro.

Rajpar, M. N. and Zakaria, M. (2011). Bird species abundance and their correlation with microclimate and habitat variables at Natural Wetland Reserve, Peninsular Malaysia, in *International Journal of Zoology*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2011/758573>. Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019.

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., De-Sante, D. F. y Borja, M. (1996). *Manual de métodos para el monitoreo de aves terrestres*. USDA. USA. [En línea]. Disponible en: https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr159/psw_gtr159.pdf. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2020.

Ramírez-Albores, J. E. (2007). Avifauna de cuatro comunidades del oeste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78(2): 439-457.

Ramírez-Albores, J. E. (2010). Diversidad de Aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la depresión central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*. 58(1): 511-528.

Ramírez-Albores, J. E., Martínez, F. V. y Vásquez, C. S. (2007). Listado avifaunístico de un matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Huitzil*. 8(1): 1-10.

Ramírez-Albores, J. E. and Pérez-Suárez, M. (2018). Tropical forest remnants as shelters of avian diversity within a tourism development matrix in Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Tropical Biology*. 66(2): 799-813.

Ramírez-Albores, J. E. y Ramírez-Cedillo, M. G. (2002). Avifauna de la región oriente de la sierra de Huautla, Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoológica*. 73(1): 91-111.

Reyes, H. H., Rincón, E. G. y Vásquez, B. M. (2018). Dinámica de cambios en la cubierta vegetal y usos de tierra 1996-2016. En H. Reyes, A. De-Nova y A. Durán (Eds.), *Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Biodiversidad y acciones para su conservación* (pp. 111-131). México: UASLP.

Ríos-Muñoz, C. A. and Navarro-Sigüenza, A. G. (2012). Patterns of species richness and biogeographic regionalization of the avifaunas of the seasonally dry tropical forest in Mesoamerica. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 47(3): 171-182.

Sahagún-Sánchez, F. J. y Castro-Navarro, J. (2013). *Programa para el monitoreo de aves de interés para la conservación de la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa y su zona de influencia*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 70 Pp.

Sahagún-Sánchez, F. J. y Durán, F. A. (2019). Los loros de la reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Incidencia

y Gobernanza Ambiental AC, Guadalajara, México. [En línea]. Disponible en: <https://img1.wsimg.com/blobby/go/4eaf452c-10bc-4cb7-87fe-b76d471379b2/downloads/Los%20loros%20de%20la%20Reserva%20de%20la%20Biosfera%20Sierra%20.pdf?ver=1603207441339>. Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020.

Sahagún-Sánchez, F. J., Huerta-Martínez, F. M. y Durán, F. A. (2018). Monitoreo participativo de aves en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. En F. J. Sahagún-Sánchez, F. M. Huerta-Martínez y A. Durán (Eds.), *Experiencias de monitoreo comunitario en el Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental* (pp. 21-43). México: SEMARNAT, CONANP. 172 Pp.

Sahagún-Sánchez, F. J. y Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas en la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*. 12(2): 6-21.

Sánchez-González, L. A. y García-Trejo, E. A. (2010). San Luis Potosí. En R. Ortiz-Pulido, A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez-de-Silva y A. T. Peterson (Eds.), *Avifaunas Estatales de México* (pp. 199-242). Pachuca, Hidalgo: CIPAMEX.

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa*. México: CONANP. 200 Pp.

Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A., and Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical birds. Ecology and conservation*. Chicago, U.S.A.: University of Chicago Press. 478 Pp.

Turner, G. M., Gardner, R. H., and O'Neill, R. V. (2015). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. New York: Springer-Verlag. 482 Pp.

UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. [En línea]. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2019.

Van-Perlo, B. (2006). *Birds of Mexico and Central America*. Princeton University Press. New Jersey, USA.: 336 Pp.

Vásquez, L., Moya, H. y Arizmendi, A. M. (2009). Avifauna de la selva baja caducifolia en la cañada del río Sabino, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80(2): 535-549.

Vergara, J. A. P., Ballesteros, J., González, C. y Linares, J. C. (2017). Diversidad de aves en fragmentos de bosque seco tropical en paisajes ganaderos del Departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 65(4): 1625-1634.

■ Anexo 1. Lista anotada de aves registradas en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa y su zona de influencia. Categoría de Endemismo: endémica a México (E), cuasiendémica a México (Q), semiendémica a México (S), endémica a la Sierra Madre Oriental (ES). Estatus de residencia: residente (R), migratoria de invierno (MI), migratoria de verano (MV), transitoria (T). Categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010): amenazada (A); en peligro de extinción (P); en protección especial (Pr). Lista roja de especies amenazadas de la UICN: en peligro (EN), vulnerable (VU), cerca de estar amenazado (NT), baja preocupación (LC). Categorías CITES: especies en Apéndice I y II. Especies y poblaciones consideradas como prioritarias (DOF, 2014): *. Especies incluidas en el Acta de Conservación de Aves Neotropicales Migratorias (NMBCA): ●. Nivel de sensibilidad de las especies neotropicales registradas (Stotz y col., 1996): bajo (L), medio (M), alto (H). Vulnerabilidad de acuerdo con Berlanga y col. (2015). Clasificación de acuerdo con su abundancia: Abundante (A), Común (C), Rara (R). Afinidad: Neártica (NA), Neotropical (NT), Neártica / Neotropical (NA/NT). Tipo de registro: Observado (O), Espécimen (E). Fuente: Datos colectados en campo (I), Datos de fuentes externas (Ex). Los nombres comunes en español de las especies fueron escritos con mayúsculas en las letras iniciales de todas las palabras que los componen, de acuerdo con Berlanga y col. (2015).

Annexed 1. Checklist of birds registered in Sierra del Abra Tanchipa Biosphere Reserve, San Luis Potosí, México and their area of influence. Endemism category: endemic to Mexico (E), quasi endemic to Mexico (Q), semi endemic to Mexico (S), endemic to Sierra Madre Oriental (EM). Residence status: permanent resident (R), Winter migrant (MI), Summer migrant (MV), transient (T). Risk categories (NOM-059-SEMARNAT-2010): threatened (A); in danger of extinction (P); subject to special protection (Pr). IUCN red list of threatened species: endangered (EN); near threatened (NT); least concern (LC). CITES: Species in Appendix I and II. Priority Species and populations for conservation (DOF, 2014): *. Species included in the Neotropical Migratory Bird Conservation Act (NMBCA): ●. Sensitivity level of registered Neotropical species (Stotz y col., 1996): low (L), medium (M), high (H). Vulnerability, according to Berlanga and col. (2015). Classification according to its abundance: Abundant (A), Common (C), Rare (R). Affinity: Nearctic (NA), Neotropical (NT), Nearctic/Neotropical (NA/NT). Record Type: Observed (O), Specimen (E). Source: Data collected in the field (I), Data from external sources (Ex). The common names in Spanish of the species were capitalized in the initial letters of all the words that compose them, according to Berlanga y col. (2015).

Familia	Especie	Nombre Español	Endemismo	Residencia	NOM059	UICN	CITES	Sensibilidad	Vulnerabilidad	Afinidad	Abundancia	Tipo de registro	Fuente
Orden:													
Tinamiformes													
Tinamidae	<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	Tinamú Canelo		R	Pr	LC		L	14	NT	A	O	I
Anseriformes													
Anatidae	<i>Anas diazi</i> *	Pato Mexicano		MI, R	A	LC			7	NA	R	O	I
	<i>Anser albifrons</i> *	Ganso Careto Mayor		MI		LC			8	NA	C	O	I
	<i>Anser caerulescens</i> *	Ganso Blanco		MI		LC			8	NA	C	O	I

Continúa...

	<i>Aythya americana</i> *	Pato Cabeza Roja		MI, R		LC		M	8	NA		O	Ex
	<i>Aythya collaris</i> *	Pato Pico Anillado		MI		LC			8	NA		O	Ex
	<i>Cairina moschata</i> *	Pato Real		R	P	LC		M	13	NT	A	O	I
	<i>Dendrocygna autumnalis</i> *	Pijije Alas Blancas		R		LC		L	8	NT	A	O	I
	<i>Mareca americana</i> *	Pato Chalcuán		MI		LC			10	NA	R	O	I
	<i>Oxyura jamaicensis</i> *	Pato Tepalcate		MI, R		LC			10	NA	R	O	I
	<i>Spatula discors</i> *	Cerceta Alas Azules		MI		LC			7	NA	A	O	I
	<i>Spatula clypeata</i> *	Pato Cucharón Norteño		MI		LC			7	NA	C	O	I
Galliformes													
Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca Oriental		R		LC		L	11	NT	A	O	I
	<i>Penelope purpurascens</i>	Pava Cojolita		R	A	LC		M	15	NT	C	O	I
	<i>Crax rubra</i>	Hocofaisán		R	A	VU		M	16	NT	A	O	I
Odontophoridae	<i>Dendrortyx barbatulus</i> *	Codorniz Coluda Veracruzana	ES	R	P	VU		H	20	NT	R	O	I
	<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz Cotuí		R	P	NT		L	12	NA/ NT	A	O	I
	<i>Dactylortyx thoracicus</i>	Codorniz Silbadora		R	Pr	LC		H	15	NT	C	O	I
Phasianidae	<i>Meleagris gallopavo</i> *	Guajolote Norteño		R		LC		M	7	NA/ NT	A	O	I
Podicipediformes													
Podicipedidae	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Zambullidor Menor		R	Pr	LC		M	8	NT	R	O	I
	<i>Podilymbus podiceps</i>	Zambullidor Pico Grueso		R, MI		LC		M	7	NT	C	O	I
Columbiformes													
Columbidae	<i>Columba livia</i>	Paloma Doméstica		R		LC		L	7	NA/ NT	C	O	I
	<i>Patagioenas flavirostris</i>	Paloma Morada		R		LC			12	NT	A	O	I
	<i>Streptopelia decaocto</i>	Paloma de Collar Turca		R		LC		L	4	NA/ NT	R	O	I
	<i>Columbina inca</i>	Tortolita Cola Larga		R		LC			8	NT	A	O	I
	<i>Columbina passerina</i>	Tortolita Pico Rojo		R		LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita Canela		R		LC			5	NT	C	O	I
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma Arroyera		R		LC		L	8	NT	A	O	I

Continúa...

	<i>Zenaida asiatica*</i>	Paloma Alas Blancas		R, MI		LC		L	7	NT	A	O	I
	<i>Zenaida macroura*</i>	Huilota Común		R, MI		LC		L	6	NA/NT	R	O	I
Cuculiformes													
Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Pijuy		R		LC		L	7	NT	A	O	I
	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos Norteño		R		LC		L	8	NA	A	O	I
	<i>Piaya cayana</i>	Cuclillo Canelo		R		LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Coccyzus americanus</i> ●	Cuclillo Pico Amarillo		MV, T		LC		M	12	NA/NT	C	O	I
	<i>Coccyzus minor</i> ●	Cuclillo Manglero		R		LC		M	14	NT	C	O	I
Caprimulgiformes													
Caprimulgidae	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotacabras Menor		MV, MI, R		LC		L	8	NT	R	O	I
	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Chotacabras Pauraque		R		LC		L	7	NT	C	O	I
	<i>Antrostomus salvini</i>	Tapacaminos Ticurú	Q	R		LC			14	NT		O	Ex
	<i>Antrostomus vociferus</i>	Tapacaminos Cuerporruín Norteño		MI		NT		M	14	NA	R	O	I
Nyctibiiformes													
Nyctibiidae	<i>Nyctibius jamaicensis</i>	Pájaro Estaca Norteño		R		LC			14	NT		O	Ex
Apodiformes													
Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo Collar Blanco		R		LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Chaetura vauxi</i>	Vencejo de Vaux		R, T		LC		M	13	NT	A	O	I
Trochilidae	<i>Colibri thalassinus</i>	Colibrí Orejas Violetas		R		LC	II	L	13	NT	R	O	I
	<i>Lampornis clemenciae</i> ●	Colibrí Garganta Azul	S	R		LC	II	M	12	NT	R	O	I
	<i>Archilochus colubris</i>	Colibrí Garganta Rubí		MI, T		LC	II		8	NA	A	O	I
	<i>Archilochus alexandri</i>	Colibrí Barba Negra	S	MV, MI		LC	II	L	9	NA	A	O	I
	<i>Cyananthus latirostris</i>	Colibrí Pico Ancho	S	R		LC	II	L	10	NT	R	O	I
	<i>Cyananthus canivetii</i>	Esmeralda Oriental		R		LC	II		10	NT	C	O	I
	<i>Basilinna leucotis</i>	Zafiro Orejas Blancas		R		LC		M	11	NT	R	O	I
	<i>Saucerottia cyanocephala</i>	Colibrí Corona Azul		R		LC	II	M	11	NT	R	O	I
	<i>Amazilia yucatanensis</i>	Colibrí Vientre Canelo	Q	R		LC	II	L	11	NT	A	O	I

Continúa...

Gruiformes													
Rallidae	<i>Porzana carolina</i>	Polluela Sora		MI, R		LC		L	9	NA	R	O	I
	<i>Gallinula galeata</i>	Gallineta Frente Roja		R, MI		LC			10	NT	R	O	I
	<i>Fulica americana</i>	Gallareta Americana		R, MI		LC	L	8	NA/ NT	A	O	I	
Heliornithidae	<i>Heliornis fulica</i>	Pájaro Cantil		R	Pr	LC		M	11	NT		O	Ex
Charadriiformes													
Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i>	Monjita Americana		R, MI		LC		M	8	NA/ NT	C	O	I
	<i>Recurvirostra americana</i>	Avoceta Americana		MI, R		LC		M	11	NA/ NT	C	O	I
Charadriidae	<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlo Tildío		R, MI		LC	L	10	NA/ NT	C	O	I	
Scolopacidae	<i>Numenius americanus</i> ●	Zarapito Pico Largo		MI		LC			12	NA	R	O	I
	<i>Calidris minutilla</i>	Playero Diminuto		MI		LC			9	NA		O	Ex
	<i>Actitis macularius</i>	Playero Alzacolita		MI		LC			10	NA	C	O	I
	<i>Tringa solitaria</i> ●	Playero Solitario		MI		LC			11	NA	R	O	I
	<i>Tringa flavipes</i> ●	Patamarilla Menor		MI		LC			13	NA	R	O	I
	<i>Tringa melanoleuca</i>	Patamarilla Mayor		MI		LC			11	NA	R	O	I
Ciconiiformes													
Ciconiidae	<i>Mycteria americana</i> ●	Cigüeña Americana		MI, R	Pr	LC		L	12	NT	A	O	I
Suliform													
Anhingidae	<i>Anhinga anhinga</i>	Anhinga Americana		R		LC			9	NT		O	Ex
	<i>Phalacrocorax auritus</i>	Cormorán Orejón		MI, R		LC			8	NA/ NT	C	O	I
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán Neotropical		R		LC			6	NT	A	O	I

Continúa...

Pelecaniformes														
Pelecanidae	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	Pelícano Blanco Americano		MI		LC		H	10	NA/NT	A	O	I	
	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelícano Café		R, MI		LC		H	10	NA/NT	C	O	I	
Ardeidae	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza Tigre Mexicana		R	Pr	LC		M	12	NT	C	O	I	
	<i>Ardea herodias</i>	Garza Morena		MI, R		LC		L	8	NA	C	O	I	
	<i>Ardea alba</i>	Garza Blanca		MI, R		LC			7	NA/NT	A	O	I	
	<i>Egretta thula</i>	Garza Dedos Dorados		MI, R		LC		L	7	NA/NT	C	O	I	
	<i>Egretta caerulea</i>	Garza Azul		MI, R		LC			12	NA/NT	C	O	I	
	<i>Egretta tricolor</i>	Garza Tricolor		MI, R		LC			12	NA/NT	R	O	I	
	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza Ganadera		R, MI		LC			9	NA/NT	A	O	I	
	<i>Butorides virescens</i>	Garcita Verde		R, MI		LC			12	NT	C	O	I	
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garza Nocturna Corona Negra		R, MI		LC		L	11	NA/NT	C	O	I	
	<i>Nyctanassa violacea</i>	Garza Nocturna Corona Clara		R, MI		LC			12	NA/NT		O	Ex	
	Threskiornithidae	<i>Eudocimus albus</i>	Ibis Blanco		R, MI		LC		M	12	NT	C	O	I
		<i>Plegadis chihi</i>	Ibis Ojos Rojos		MI, R		LC		L	8	NA/NT		O	Ex
<i>Platalea ajaja*</i>		Espátula Rosada		MI, R		LC			10	NT	A	O	I	
Cathartiformes														
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote Común		R		LC		L	4	NT	A	O	I	
	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote Aura		R		LC		L	5	NT	A	O	I	
Accipitriformes														
Pandionidae	<i>Pandion haliaetus*</i>	Águila Pescadora		MI, R		LC	II	M	7	NA/NT	C	O	I	
Accipitridae	<i>Elanus leucurus</i>	Milano Cola Blanca		R		LC	II	L	11	NT	C	O	I	
	<i>Spizaetus ornatus*</i>	Águila Elegante		R	P	NT	II	M	14	NT	C	O	I	
	<i>Accipiter bicolor</i>	Gavilán Bicolor		R	A	LC	II	M	13	NT		E	Ex	
	<i>Ictinia mississippiensis</i>	Milano de Mississippi		T	Pr	LC	II		9	NT	R	O	I	
	<i>Ictinia plumbea</i>	Milano Plomizo		MV	Pr	LC	II	M	10	NT		E	Ex	
	<i>Geranospiza caerulescens</i>	Gavilán Zancón		R	A	LC	II	M	11	NT	R	O	I	

Continúa...

	<i>Buteogallus anthracinus</i>	Aguililla Negra Menor		R, MV	Pr	LC	II	M	11	NT	R	O	I
	<i>Rupornis magnirostris</i>	Aguililla Caminera		R		LC		L	6	NT	A	O	I
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla Rojinegra		R	Pr	LC	II	L	11	NT		O	Ex
	<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	Aguililla Cola Blanca		R	Pr	LC		L	10	NT	C	O	I
	<i>Buteo plagiatus</i>	Aguililla Gris		R		LC		M	8	NT	A	O	I
	<i>Buteo platypterus</i>	Aguililla Alas Anchas		T, MI	Pr	LC	II	M	9	NA/NT	C	O	I
	<i>Buteo brachyurus</i>	Aguililla Cola Corta		R		LC	II	M	9	NT	R	O	I
	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla Cola Roja		R, MI		LC	II	L	6	NA/NT	C	O	I
Strigiformes													
Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de Campanario		R		LC	II	L	9	NA/NT	C	O	I
Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>	Búho Cornudo		R		LC	II	L	8	NT	C	O	I
	<i>Glaucidium sanchezi*</i>	Tecolote Tamaulipeco	ES	R	P	NT	II		18	NT	R	O	I
	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Tecolote Bajajeño		R		LC	II	L	8	NT	A	O	I
	<i>Ciccaba virgata</i>	Búho Café		R		LC		M	11	NT	C	O	I
	<i>Asio flammeus</i> ●	Búho Sabanero		MI	Pr	LC	II	L	12	NA	R	O	I
Trogoniformes													
Trogonidae	<i>Trogon elegans</i> ●	Coa Elegante		R		LC		M	14	NT	A	O	I
Coraciiformes													
Momotidae	<i>Momotus coeruliceps</i>	Momoto Corona Azul		R		LC			17	NT	A	O	I
Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>	Martín Pescador de Collar		R		LC		L	8	NT	C	O	I
	<i>Megaceryle alcyon</i>	Martín Pescador Norteño		MI		LC			10	NA	C	O	I
	<i>Chloroceryle amazona</i>	Martín Pescador Amazónico		R		LC		L	11	NT	R	O	I
	<i>Chloroceryle americana</i>	Martín Pescador Verde		R		LC		L	9	NT	C	O	I
Piciformes													
Picidae	<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero Bellotero		R		LC		L	9	NT	R	O	I
	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero Cheje		R		LC		L	8	NT	A	O	I

Continúa...

	<i>Sphyrapicus varius</i>	Carpintero Moteado		MI		LC			6	NA	C	O	I
	<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero Mexicano		R		LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Dryobates fumigatus</i>	Carpintero Café		R		LC		L	13	NT	C	O	I
	<i>Colaptes rubiginosus</i>	Carpintero Olivo		R		LC			11	NT	A	O	I
	<i>Dryocopus lineatus</i>	Carpintero Lineado		R		LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Campephilus guatemalensis</i>	Carpintero Pico Plateado		R	Pr	LC		M	14	NT	R	O	I
Falconiformes													
Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Halcón Guaco		R		LC	II	L	10	NT	A	O	I
	<i>Micrastur semitorquatus</i>	Halcón Selvático de Collar		R	Pr	LC	II	M	11	NT	A	O	I
	<i>Caracara cheriway</i>	Caracara Quebrantahuesos		R		LC	II		8	NT	A	O	I
	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo Americano		R, MI		LC	II	L	10	NT	A	O	I
	<i>Falco femoralis</i>	Halcón Fajado		R	A	LC	II	L	13	NT	C	O	I
	<i>Falco rufigularis</i>	Halcón Murcielaguero		R		LC	II	L	11	NT	C	O	I
Psittaciformes													
Psittacidae	<i>Eupsittula nana*</i>	Perico Pecho Sucio		R	Pr	NT		L	12	NT	A	O	I
	<i>Ara militaris*</i>	Guacamaya Verde		R	P	VU	I	M	18	NT	A	O	I
	<i>Psittacara holochlorus*</i>	Perico Mexicano	E	R	A	LC			16	NT	A	O	I
	<i>Amazona viridigenalis</i>	Loro Tamaulipeco	Q	R	P	EN	I	M	20	NT	A	O	I
	<i>Amazona finschi*</i>	Loro Corona Lila	E	R	P	EN	I	M	19	NT		E	Ex
	<i>Amazona autumnalis</i>	Loro Cachetes Amarillos		R	A	LC	II		14	NT	A	O	I
	<i>Amazona oratrix*</i>	Loro Cabeza Amarilla	Q	R	P	EN	I		20	NT	A	O	I
Passeriformes													
Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>	Batará Barrado		R		LC			6	NT	C	O	I
Furnariidae	<i>Sittasomus griseicapillus</i>	Trepatroncos Cabeza Gris		R		LC			9	NT	C	O	I
	<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	Trepatroncos Bigotudo		R		LC			13	NT	A	O	I
Tityridae	<i>Tityra semifasciata</i>	Titira Puerquito		R		LC		M	9	NT	A	O	I
	<i>Pachyramphus major</i>	Cabezón Mexicano		R		LC		M	14	NT	C	O	I
	<i>Pachyramphus aglaiae</i>	Cabezón Degollado		R		LC		M	11	NT	A	O	I

Continúa...

Tyrannidae	<i>Camptostoma imberbe</i>	Mosquerito Chillón	R	LC			10	NT	A	O	I
	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Papamoscas Triste	R	LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Myiarchus cinerascens</i>	Papamoscas Cenizo	MI, MV, R	LC		L	8	NA/ NT	A	O	I
	<i>Myiarchus nuttingi</i>	Papamoscas Huí	R	LC		M	13	NT	R	O	I
	<i>Myiarchus crinitus</i>	Papamoscas Viajero	MI	LC			8	NA	C	O	I
	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Papamoscas Gritón	R, MV	LC		L	9	NT	A	O	I
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis Bienteveo	R	LC		L	5	NT	A	O	I
	<i>Megarynchus pitangua</i>	Luis Pico Grueso	R	LC		L	7	NT	A	O	I
	<i>Myiozetetes similis</i>	Luisito Común	R	LC		L	5	NT	A	O	I
	<i>Myiodynastes maculatus</i>	Papamoscas Rayado Cheje	MV	LC			9	NT	A	O	I
	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	Papamoscas Rayado Común	MV	LC		L	11	NT	C	O	I
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano Pirirí	R	LC		L	4	NT	A	O	I
	<i>Tyrannus couchii</i>	Tirano Cuír	R	LC		L	10	NT	A	O	I
	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú	S R, MI	LC		M	9	NA/ NT	A	O	I
	<i>Tyrannus tyrannus</i>	Tirano Dorso Negro	T	LC			11	NA/ NT		E	Ex
	<i>Tyrannus forficatus</i>	Tirano Tijereta Rosado	MI, T, MV	LC		L	11	NA/ NT	R	O	I
	<i>Contopus pertinax</i>	Papamoscas José María	R	LC		M	12	NT	R	O	I
	<i>Contopus virens</i>	Papamoscas del Este	T	LC			10	NA/ NT	C	O	I
	<i>Empidonax flaviventris</i>	Papamoscas Vientre Amarillo	MI	LC			9	NA	A	O	I
	<i>Empidonax virescens</i>	Papamoscas Verdoso	T	LC			11	NA/ NT	R	O	I
	<i>Empidonax minimus</i>	Papamoscas Chico	MI	LC			11	NA/ NT	C	O	I
	<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas Negro	R, MI	LC		L	8	NT	C	O	I
	<i>Sayornis phoebe</i>	Papamoscas Fibí	MI	LC			8	NA	A	O	I
<i>Sayornis saya</i>	Papamoscas Llanero	R, MI	LC		L	7	NA/ NT	R	O	I	
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito	R, MI	LC		L	5	NT	A	O	I	

Continúa...

Laniidae	<i>Lanius ludovicianus</i> ●	Verdugo Americano		R, MI		NT		L	11	NA/ NT	R	O	I
Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	Vireón Cejas Canela		R		LC			8	NT	R	O	I
	<i>Vireo griseus</i>	Vireo Ojos Blancos		MI, R		LC		L	8	NA/ NT	A	O	I
	<i>Vireo bellii</i> ●	Vireo de Bell		MI, MV		LC		M	10	NA/ NT		E	Ex
	<i>Vireo cassinii</i>	Vireo de Cassin	S	MI, MV, R		LC			9	NA	R	O	I
	<i>Vireo solitarius</i>	Vireo Anteojillo		MI		LC			7	NA	A	O	I
	<i>Vireo olivaceus</i>	Vireo Ojos Rojos		T		LC			6	NA/ NT	R	O	I
	<i>Vireo flavoviridis</i>	Vireo Verdeamarillo		MV		LC		L	11	NT	R	O	I
	Corvidae	<i>Psilorhinus morio</i>	Chara Pea		R		LC			10	NT	A	O
<i>Cyanocorax yncas</i>		Chara Verde		R		LC		L	11	NT	A	O	I
<i>Corvus imparatus</i>		Cuervo Tamaulipeco	Q	R		LC			15	NT	R	O	I
<i>Corvus corax</i>		Cuervo Común		R		LC		M	6	NA/ NT	R	O	I
Hirundinidae	<i>Tachycineta bicolor</i>	Golondrina Bicolor		MI		LC			10	NA		O	Ex
	<i>Tachycineta albilinea</i>	Golondrina Manglera		R		LC		L	11	NT		O	Ex
	<i>Progne chalybea</i>	Golondrina Pecho Gris		R, MV		LC			7	NT		E	Ex
	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina Tijereta		MV, MI, R, T		LC		L	8	NA/ NT	C	O	I
Paridae	<i>Baeolophus wollweberi</i>	Carbonero Embridado		R		LC			13	NT	R	O	I
	<i>Baeolophus atricristatus</i>	Carbonero Cresta Negra		R		LC			12	NT	A	O	I
Troglodytidae	<i>Catherpes mexicanus</i>	Saltapared Barranqueño		R		LC			8	NA	R	O	I
	<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared Común		R, MI, T		LC			5	NA/ NT	A	O	I
	<i>Thryothorus ludovicianus</i>	Saltapared de Carolina		R		LC			7	NA/ NT	A	O	I
	<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared Cola Larga		R		LC		M	11	NA	R	O	I

Continúa...

	<i>Campylorhynchus zonatus</i>	Matraca Tropical		R	LC	L	11	NT		E	Ex	
	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	Matraca del Desierto		R	LC	L	12	NA	R	O	I	
	<i>Pheugopedius maculipectus</i>	Saltapared Moteado		R	LC		13	NT	A	O	I	
	<i>Uropsila leucogastra</i>	Saltapared Vientre Blanco	Q	R	LC	M	14	NT	A	O	I	
	<i>Henicorhina leucosticta</i>	Saltapared Pecho Blanco		R	LC	M	12	NT	R	O	I	
Poliophtidae	<i>Poliophtila caerulea</i>	Perlita Azulgris		MI, R	LC	L	7	NA/ NT	A	O	I	
	<i>Poliophtila melanura</i>	Perlita del Desierto		R	LC	M	9	NA		E	Ex	
Turdidae	<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín Jilguero		R	Pr	LC		13	NT	R	O	I
	<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzal de Antojos		T, MI	LC			10	NA	R	O	I
	<i>Catharus guttatus</i>	Zorzal Cola Canela		MI	LC			6	NA	A	O	I
	<i>Hylocichla mustelina</i> ●	Zorzal Moteado		MI	NT			14	NA	R	O	I
	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo Café		R	LC			8	NT	A	O	I
	<i>Turdus assimilis</i>	Mirlo Garganta Blanca		R	LC			13	NT	R	O	I
Mimidae	<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato Azul	E	R	LC	M	12	NT		E	Ex	
	<i>Dumetella carolinensis</i>	Maullador Gris		MI	LC			8	NA	A	O	I
	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche Pico Curvo		R	LC	L	9	NA	R	O	I	
	<i>Toxostoma longirostre</i>	Cuicacoche Pico Largo	Q	R	LC	L	12	NT	A	O	I	
	<i>Mimus polyglottos</i>	Centzontle Norteño		R, MI	LC	L	8	NA/ NT	A	O	I	

Continúa...

Bombycillidae	<i>Bombycilla cedrorum</i>	Chinito		MI		LC			6	NA		E	Ex
Fringillidae	<i>Euphonia affinis</i>	Eufonia Garganta Negra		R		LC	L	11	NT	A	O	I	
	<i>Euphonia hirundinacea</i>	Eufonia Garganta Amarilla		R		LC	L	12	NT	A	O	I	
	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón Mexicano		R		LC		6	NA	R	O	I	
	<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito Dominicano		R		LC		7	NA/ NT	C	O	I	
	<i>Spinus tristis</i>	Jilguerito Canario		MI		LC		6	NA		E	Ex	
Passerellidae	<i>Ammodramus savannarum</i> ●	Gorrión Chapulín		MI, R		LC		12	NA		E	Ex	
	<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Rascador Oliváceo	Q	R		LC		12	NT	A	O	I	
	<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión Arlequín		MI, R		LC		10	NA	C	O	I	
	<i>Spizella passerina</i>	Gorrión Cejas Blancas		R, MI		LC		9	NA/ NT	C	O	I	
	<i>Spizella pallida</i>	Gorrión Pálido	S	MI		LC		10	NA	R	O	I	
	<i>Melospiza lincolni</i>	Gorrión de Lincoln		MI		LC		7	NA	C	O	I	
Icteridae	<i>Icteria virens</i>	Chipe Grande		MI, MV		LC		11	NA	C	O	I	
	<i>Sturnella magna</i>	Pradero Tortillaconchile		R		NT	L	11	NA/ NT	A	O	I	
	<i>Psarocolius montezuma</i>	Oropéndola de Moctezuma		R	Pr	LC	M	13	NT		O	Ex	
	<i>Icterus spurius</i>	Calandria Castaña		MI, MV		LC		10	NA	C	O	I	
	<i>Icterus cucullatus</i>	Calandria Dorso Negro Menor	S	MI, MV, R		LC	L	9	NA/ NT	A	O	I	
	<i>Icterus gularis</i>	Calandria Dorso Negro Mayor		R		LC	M	11	NT	A	O	I	

Continúa...

	<i>Icterus graduacauda</i>	Calandria Capucha Negra	Q	R		LC		M	13	NT	A	O	I
	<i>Icterus galbula</i>	Calandria de Baltimore		MI		LC			10	NA	C	O	I
	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Tordo Sargento		R, MI		LC		L	8	NA/ NT	A	O	I
	<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo Ojos Rojos		R, MV		LC			6	NT	A	O	I
	<i>Molothrus ater</i>	Tordo Cabeza Café		R, MI		LC		L	7	NA	C	O	I
	<i>Dives dives</i>	Tordo Cantor		R		LC		L	7	NT	A	O	I
	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate Mayor		R		LC		L	5	NA/ NT	A	O	I
Parulidae	<i>Parkesia motacilla</i>	Chipe Arroyero		MI		LC			12	NA	R	O	I
	<i>Parkesia noveboracensis</i>	Chipe Charquero		MI		LC			8	NA	C	O	I
	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe Trepador		MI		LC			11	NA	A	O	I
	<i>Oreothlypis superciliosa</i>	Chipe Cejas Blancas		R		LC			13	NT	C	O	I
	<i>Leiothlypis celata</i>	Chipe Oliváceo		MI		LC			9	NA	R	O	I
	<i>Leiothlypis ruficapilla</i>	Chipe Cabeza Gris		MI, T		LC			9	NA	R	O	I
	<i>Geothlypis poliocephala</i>	Mascarita Pico Grueso		R		LC		L	11	NT	C	O	I
	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe Lores Negros		MI		LC			12	NA	C	O	I
	<i>Geothlypis formosa</i>	Chipe Patilludo		MI		LC			14	NA		E	Ex
	<i>Geothlypis flavovelata*</i>	Mascarita de Altamira	E	R	P	VU		H	20	NT		O	Ex
	<i>Geothlypis trichas</i>	Mascarita Común		MI, R		LC		L	9	NA/ NT	C	O	I
	<i>Setophaga americana</i>	Chipe Pecho Manchado		MI		LC			8	NA	R	O	I
<i>Setophaga pitiaiyumi</i>	Chipe Tropical		R, MV		LC			10	NT	C	O	I	

Continúa...

	<i>Setophaga magnolia</i>	Chipe de Magnolias		MI		LC			8	NA	R	O	I
	<i>Setophaga fusca</i>	Chipe Garganta Naranja		T		LC			9	NA	C	O	I
	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe Amarillo		MI, MV, T, R		LC			8	NA/NT		O	Ex
	<i>Setophaga coronata</i>	Chipe Rabadilla Amarilla		MI, R		LC			6	NA		O	Ex
	<i>Setophaga dominica</i>	Chipe Garganta Amarilla		MI		LC			9	NA	C	O	I
	<i>Setophaga townsendi</i>	Chipe de Townsend		MI		LC			12	NA	C	O	I
	<i>Setophaga occidentalis</i> ●	Chipe Cabeza Amarilla		MI		LC			12	NA	R	O	I
	<i>Setophaga chrysoparia</i> ●	Chipe Cachetes Amarillos		T, MI		EN			18	NA	C	O	I
	<i>Setophaga virens</i>	Chipe Dorso Verde		MI		LC			9	NA	A	O	I
	<i>Basileuterus lachrymosus</i>	Pavito de Rocas		R		LC			15	NT	C	O	I
	<i>Basileuterus rufifrons</i>	Chipe Gorra Canela	Q	R		LC			13	NT	C	O	I
	<i>Basileuterus culicivorus</i>	Chipe Cejas Negras		R		LC			11	NT	R	O	I
	<i>Cardellina canadensis</i>	Chipe de Collar		T		LC			14	NA	C	O	I
	<i>Cardellina pusilla</i>	Chipe Corona Negra		MI		LC			10	NA	A	O	I
Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	Piranga Roja		MI, MV		LC	L		9	NA	C	O	I
	<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga Capucha Roja		MI		LC	M		9	NA	R	O	I
	<i>Piranga bidentata</i>	Piranga Dorso Rayado		R		LC	M	14	NT			E	Ex
	<i>Piranga leucoptera</i>	Piranga Alas Blancas		R		LC	M	14	NT			E	Ex
	<i>Habia rubica</i>	Piranga Hormiguera Corona Roja		R		LC	H	11	NT	C		O	I

Continúa...

	<i>Habia fuscicauda</i>	Piranga Hormiguera Garganta Roja		R		LC		M	13	NT	A	O	I
	<i>Rhodothraupis celaeno</i>	Picogordo Cuello Rojo	E	R		LC			16	NT	A	O	I
	<i>Cardinalis cardinalis</i>	Cardenal Rojo		R		LC	L	5	NA/NT	A	O	I	
	<i>Cardinalis sinuatus</i>	Cardenal Desértico		R		LC	L	13	NA	R	O	I	
	<i>Pheucticus ludovicianus</i>	Picogordo Degollado		MI, T		LC			11	NA	A	O	I
	<i>Cyanocompsa parellina</i>	Colorín Azulnegro		R		LC			14	NT	A	O	I
	<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo Azul		MI, R, MV		LC	L	8	NA/NT	C	O	I	
	<i>Passerina cyanea</i>	Colorín Azul		MI		LC			9	NA	A	O	I
	<i>Passerina versicolor</i> ●	Colorín Morado	S	R, MV		LC	L	14	NT	A	O	I	
	<i>Passerina ciris</i> ●	Colorín Sietecolores		MI, MV	Pr	LC	L	10	NA	A	O	I	
	<i>Spiza americana</i> ●	Arrocero Americano		T, MI		LC			11	NA		E	Ex
Thraupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	Tangara Azulgris		R		LC	L	5	NT	R	O	I	
	<i>Thraupis abbas</i>	Tangara Alas Amarillas		R		LC	L	9	NT	R	O	I	
	<i>Volatinia jacarina</i>	Semillero Brincador		R		LC			4	NT	A	O	I
	<i>Tiaris olivaceus</i>	Semillero Oliváceo		R		LC			8	NT	A	O	I
	<i>Sporophila moreletii</i>	Semillero de Collar		R		LC			7	NT	A	O	I
	<i>Saltator atriceps</i>	Saltador Cabeza Negra		R		LC	M	11	NT	A	O	I	
	<i>Saltator coerulescens</i>	Saltador Gris		R		LC	L	7	NT		E	Ex	



Mtra. Estefanía Castañeda
Imagen del: Instituto de Investigación Históricas de la UAT



Ing. Luis Puebla y Cuadra
Imagen de: la obra de Blas Uvalle González



Lic. Juan Fidel Zorrilla
Imagen de: la Fototeca Municipal de Victoria

Estado del conocimiento de la historiografía de la educación en Tamaulipas siglo XIX

State of knowledge of 19th Century higher education historiography in Tamaulipas

Luisa Álvarez-Cervantes*, José Rafael Sáenz-Rangel

RESUMEN

El estado de Tamaulipas está ubicado al noreste de México, región geográfica colonizada años más tarde que el centro y el sur del país. Se ha documentado poco del devenir histórico de las primeras instituciones educativas del nivel superior de la entidad. El objetivo del presente trabajo fue presentar el estado actual que guarda el conocimiento de la historiografía de la educación en Tamaulipas del siglo XIX. Se localizaron 22 obras editadas y publicadas entre 1948 y 2018, que recogieron las memorias y experiencias educativas. Se sometieron a un procedimiento, con base en criterios historiográficos, que permitió ordenarlas en historias, biografías, crónicas o memorias. Se agruparon en correspondencia a espacios y temporalidades, en generales o regionales y por periodos históricos. Se describen las obras que hablan de las dos etapas: la inicial, referente a la fundación de las primeras instituciones por maestros republicanos ilustrados; escritas por sus egresados, historiadores por vocación, autores de las primeras historias de la educación estatal, que trabajaron en un marco ilustrado, liberal, republicano y juarista, promotor de ofrecer al pueblo una educación pública, laica, gratuita y obligatoria, en el que quedó institucionalizada la educación superior del estado. La segunda etapa ocurre en el siglo XX, con la creación de la Universidad de Tamaulipas, que sería después la Universidad Autónoma de Tamaulipas, institución que permite formar historiadores de profesión, maestros e historiadores de raigambre decimonónica, que complementan el marco histórico educativo. Este trabajo permite un punto de partida al investigador interesado en continuar con la línea de la historia e historiografía de este tiempo y espacio.

PALABRAS CLAVE: instituciones educativas, ilustración, Tamaulipas, historiografía de la educación, siglo XIX.

ABSTRACT

The state of Tamaulipas is located in the northeast geographical region of Mexico, which was colonized several years after the center and south of the country. Little has been documented of the historical evolution of the first higher education institutions of the state. The aim of this work is to show the current state of knowledge of the historiography of education in Tamaulipas in the 19th century. Twenty-two edited and published works, which collected memories and educational experiences between 1948 and 2018 were found. They underwent a procedure, based on historiographic criteria, which allowed their classification into histories, biographies, chronicles, or memoirs. They were grouped according to spaces and temporalities in general or regional, and by historical periods of education. The works that discuss each of the stages are described as follows: those of the initial stage, referring to the founding of the first institutions by illustrated republican teachers were written by its graduates, historians by vocation, authors of the first histories of state education, who worked within an enlightened, liberal, republican and juarista framework, promoter of offering the people a public, secular, free and compulsory education, in which higher education in the state was institutionalized. The second stage occurred in the 20th century, with the creation of the University of Tamaulipas, which would later become the *Universidad Autónoma de Tamaulipas*, an institution that educates professional historians, history teachers and historians of nineteenth-century roots, which complement the historical educational framework. This work provides a starting point for the researcher who is interested in continuing with the line of history and historiography of this time and space.

KEYWORDS: educational institutions, illustration, Tamaulipas, education historiography, 19th century.

*Correspondencia: lavarez@docentes.uat.edu.mx / Fecha de recepción: 3 de diciembre de 2019 / Fecha de aceptación: 21 de agosto de 2020 /

Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria de Ciencias, Educación y Humanidades, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149.

INTRODUCCIÓN

Ante la ausencia de un estado del conocimiento sobre la historiografía de la educación en Tamaulipas, el Centro Regional de Formación Docente e Investigación Educativa (CRETAM) impulsó un proyecto de investigación con la intención de integrarlo. En él participaron miembros del actual Cuerpo Académico de Historia e Historiografía Regional de la Universidad Autónoma de Tamaulipas e integrantes del Proyecto de Investigación Universidad, Sociedad y Acción Comunitaria de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fue desarrollado entre 2014 y 2016, y de este proyecto resultaron 2 obras: *Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo I: siglo XIX* (Álvarez y Avendaño, 2015) e *Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo II: siglo XX* (Álvarez y Avendaño, 2016), la primera publicada en el año 2015 y la segunda en el año 2016. La relevancia radica en que los investigadores de la historia de la educación tienen en sus manos un estado del conocimiento sobre la historiografía de la educación en Tamaulipas.

La investigación se enfocó en dar respuesta a las preguntas: ¿Quiénes investigaron? ¿Qué investigaron? ¿Cómo investigaron? ¿Desde qué instituciones educativas lo hicieron? ¿Cuáles fueron sus resultados? ¿Con qué perspectivas se identificaron y cuáles fueron sus aportaciones? ¿Qué temas, problemas o periodos educativos abordaron? Al mismo tiempo, para hacer comprensible el contexto de producción de la obra historiográfica sobre la educación en Tamaulipas en el siglo XIX, fue imprescindible abordar las condiciones históricas de Tamaulipas, es decir, cuáles eran los proyectos educativos que elaboraron los maestros fundadores de las instituciones de educación superior del siglo XIX, ya que de ellas egresaron quienes publicaron las primeras historias de la educación que constituyen la obra historiográfica hasta el 2018. Estas obras fueron localizadas en bibliotecas públicas y privadas e instituciones educativas. Para ello fue necesaria una previa investigación documen-

tal de corte historiográfico en obras generales sobre la historia educativa de Tamaulipas, a fin de indagar en qué ciudades del estado se fundaron los centros de educación superior durante el siglo XIX, cuáles fueron y quiénes las crearon. Bajo el supuesto de que los egresados de estas instituciones aportarían relatos, crónicas o memorias de sus centros educativos. Las instituciones educativas creadas en el estado a lo largo del siglo XIX fueron el Instituto Hidalguano, en 1830, y el Instituto Científico y Literario del Estado, en 1889, ambas en Ciudad Victoria; el Instituto Literario de San Juan, en 1859, en Matamoros y, aunque de breve duración, el Instituto Literario y Mercantil, en 1855, en Tampico.

A los resultados de este macroproyecto se agrega y se expone, para el caso del estado del conocimiento de la historiografía de la educación en Tamaulipas, en el siglo XIX, la situación que guarda hasta el 2018.

El objetivo del presente trabajo fue dar a conocer el estado actual que guarda el conocimiento de la historiografía de la educación en Tamaulipas del siglo XIX, desde la primera obra en 1948 hasta la última, publicada en 2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez localizadas las instituciones de educación superior, las ciudades donde se fundaron y el tipo de estudios que ofrecieron, se procedió al trabajo de campo, recorriendo los archivos y fondos documentales y bibliotecas de libros viejos en la Ciudad de México, Ciudad Victoria, Tampico y Matamoros, con el propósito de encontrar obras sobre historia de la educación en Tamaulipas. La localización de los datos se efectuó de marzo de 2014 a enero de 2019.

La documentación encontrada fue revisada, clasificada, sistematizada, ordenada y reseñada con base en criterios historiográficos. A fin de romper la tensión generada entre las políticas estatales en materia educativa y las iniciativas regionales derivadas de esfuerzos

colectivos y personales expresadas en las obras mismas, se recurrió al criterio teórico-metodológico de Álvarez y Avendaño (2015; 2016). Se clasificaron en “obra general” y “obra regional”, para distinguir sus contenidos. También, las instituciones de las que provenían los autores. La primera se refiere a la historiografía de la educación en Tamaulipas, la segunda, a las memorias, relatos y crónicas regionales o municipales que contienen información sobre las instituciones educativas.

Otra clasificación fue para determinar qué material podía ser considerado como “obra”. Se recurrió a los criterios fijados para los investigadores educativos del Consejo Mexicano de Investigación Educativa (COMIE), (Galván y col., 2003: 5-6), institución que se ha dedicado, como contribución a la educación en México, a la elaboración de los estados del conocimiento de la investigación educativa del país. Sin embargo, ajustarse a los criterios promovidos por el COMIE habría conducido a que buena parte de los trabajos localizados no alcanzaran la norma para ser considerados “resultados de la investigación científica” y quedarían fuera de esta recopilación, pues el criterio del COMIE, no contempla la obra en sí, sino que los autores sean académicos reconocidos, con líneas de investigación definidas. De modo que los “criterios en cuanto a su organización: son investigaciones dirigidas por comités del COMIE. Y por el contenido, es una actividad investigativa orientada a los investigadores” (Galván y col., 2003: 5-6).

El criterio elegido fue considerar como “obras” todos los materiales que forman este acopio historiográfico: historias, memorias, crónicas, biografías, para evitar excluir los esfuerzos de muchos maestros que dejaron registro escrito de la fundación de sus instituciones educativas y de sus experiencias pedagógicas. La sistematización y el orden exigieron la lectura completa y detallada de toda la obra en su conjunto. Lo anterior, obedeciendo también al aporte teórico de Gaos (2015), quien afirmó que la historia y la historiografía, es-

ta última entendida como la historia escrita, constituyen el ámbito de lo histórico. Lo histórico incluye, para la historiografía, la historia y la historiografía. Por lo que se decidió incluir las obras como producción historiográfica a pesar de no cubrir los criterios “académicos” que aparecen en los manuales y que norman la producción historiográfica más ortodoxa, ya que, de aceptar el criterio del COMIE, Tamaulipas seguiría ayuno, por un lado, del estado del conocimiento sobre la historiografía de la educación y por otro, sin la evidencia de la gran distancia entre las realidades educativas del centro y la periferia que esta investigación aporta al quehacer educativo actual. Someter la investigación a los criterios académicos más ortodoxos implicaría la negación de la riqueza de la obra educativa que fue encontrada. El mismo criterio teórico-metodológico se aplicó para el caso de obras escritas tanto por “historiadores de vocación como de profesión”, cuya distinción se hace más adelante, al momento de abordar las condiciones de la publicación de la obra historiográfica sobre la educación en el siglo XIX y la producción escrita por cronistas.

Por otro lado, durante el análisis del contenido de las obras fue posible ordenarlas historiográficamente. A fin de contextualizar la compilación del conjunto, se reconoció la importancia de recurrir a obras complementarias, es decir, a la producción literaria de otras disciplinas, con la idea de describir los contextos en los que se elaboraron las propuestas educativas, exigencia que guio la reconstrucción de los marcos ideológicos, sociales y políticos. Por ello, se consultaron y examinaron la historiografía nacional y la de Tamaulipas.

Las obras que constituyen el estado del conocimiento sobre la historiografía de la educación del siglo XIX se clasificaron en Historias Generales, Historias Regionales, Historias Institucionales, Biografías de profesores y los Nuevos aportes (Álvarez y Avendaño, 2015; 2016).

Para alcanzar una mejor comprensión y coherencia al relato sobre la historiografía de la educación del siglo XIX en Tamaulipas fue necesario recurrir al auxilio de una disciplina indispensable: la sociología de la religión, pues las novedades encontradas en cuanto a las instituciones educativas fundadas por distintas filiaciones religiosas obligaban a penetrarse en esta disciplina, con base en Bastian (1993), autor que fue referente. Estas lecturas hicieron posible la comprensión del papel que jugaron las dobles militancias político-sociales de los actores educativos, y los orígenes de la nación, que tuvieron un papel determinante en la edificación de los proyectos educativos en Tamaulipas. Además, otros saberes fundamentales fueron la filosofía y la sociología de la educación, la legislación y la política educativa. Esto a fin de desenrañar los supuestos y presupuestos de los discursos educativos contenido en las obras. Se tuvo presente atender el contexto y problematizar las comprensiones historiográficas que afloraron a la luz de la investigación. Una vez hecho el recorrido a través de la obra general, regional y complementaria aún quedaban huecos, por lo que fue necesario tratar de subsanarlos, y se optó por consultar fuentes primarias, con el propósito de dar coherencia a la exposición final de la investigación, la cual va acompañada de una narrativa histórica y política que contextualiza el siglo XIX y que se expone en el presente trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaulipas liberal y educador

Tamaulipas nació a la vida republicana como un estado liberal. “El liberalismo decimonónico [...] reside [...] en el caso mexicano, [en que] las ideas de laicidad y el Estado laico se articularon al interior de la postura liberal defendida en el siglo XIX y en la primera mitad del XX. [...] liberalismo y laicidad son inseparables” (Rivera-Castro, 2011: 192) de la instauración de la República y sus instituciones seculares, una de estas será la instrucción y más tarde la educación pública y laica. Por lo que el liberalismo mexicano no pue-

de identificarse con la vertiente anglo-estadounidense contemporánea. El surgimiento del propio Estado laico mexicano fue el resultado victorioso de una guerra de reforma contra la hegemonía material y espiritual de la jerarquía católica y el papado romano. La república y el liberalismo surgieron entrelazados con la instrucción en las primeras letras, y posteriormente la educación, y florecieron como fuentes de un solo proceso histórico-social en el Tamaulipas del siglo XIX. Por lo que no es comprensible el liberalismo decimonónico sin la república y la república sin la secularización de las instituciones, entre estas, las de la instrucción y la educación laica y pública.

En el caso de Tamaulipas la creación de instituciones educativas de nivel superior son tardías, con respecto al resto de la república. Ello se debió a que quedaron ajustadas bajo la peculiar condición de un estado con fronteras móviles, las cuales se fueron fijando geográfica y políticamente a lo largo del siglo XIX. Es importante considerar que Tamaulipas formó parte de la región del norreste de México que se conoció como “Nuevo Santander [...] penúltima provincia de la Nueva España en ser fundada [...] en donde convergieron colonos españoles, mestizos e indios seminómadas” (Andrews y Hernández, 2012: 19); en suma, una colonización tardía con respecto al resto de la colonia. Ante esa situación, lo que interesa resaltar son las tareas de aquellos que asumieron la labor de emprender iniciativas para desarrollar instituciones educativas; su relevancia radica en la forma que adquirió la tarea de educar a una población en permanente crisis por su condición de litoral, frontera y en conflicto con los indios de esa inmensa zona.

Tamaulipas formó parte de una región extensa, con una frontera conflictuada con los Estados Unidos y con tres puertos marítimos que funcionaron hasta mediados del siglo XIX, de los cuales solamente sobrevivieron Matamoros y Tampico. Situado en este espacio de fronteras, colocado al lado de los Estados Uni-

dos de Norteamérica y con sus puertos mediante los que se comunicó con el resto del mundo, Tamaulipas quedó instalado en un incuestionable espacio geopolítico, que a lo largo del siglo, por esas fronteras terrestres y marítimas no solo ingresaron mercancías, sino una migración temprana de maestros europeos ilustrados, quienes actuaron bajo el precepto kantiano de “ten el valor de servirte de tu propia razón; he ahí el lema de la ilustración” (Kant, 1985: 25-27), lo cual significó, para los preceptores de la época, que “La esencia del hombre es su razón [...]” (Kant, 1985: 25-27).

La peculiaridad de la razón [clave de la historia] no puede ser completamente desarrollada en la vida de un hombre. “Nadie puede inventar las matemáticas por su cuenta. La peculiaridad del hombre es ser un animal con la facultad de aprovechar las experiencias de otros. Tiene esa facultad porque es racional. El propósito de la naturaleza para el desarrollo de la razón humana es un propósito que solo se puede realizar en la historia de la raza humana y no en una vida individual” (Collingwood, 2004: 167). “La realización de la especie humana en la historia es el plan de la naturaleza en la historia, como un plan de desarrollo de la libertad humana” (Collingwood, 2004: 167). Y esto solo era posible mediante la fundación de instituciones educativas, a lo cual se abocaron los ilustrados europeos junto a otros ilustrados católicos, anarquistas, protestantes, socialistas, masones, todos ellos unidos en un proyecto liberal.

Los preceptores y las instituciones de instrucción en las primeras letras

Los preceptores ilustrados liberales fundaron las primeras instituciones educativas, primero bajo los preceptos de la constitución de Cádiz, y luego bajo el amparo de la libertad, protegida por gobiernos liberales y republicanos que garantizaron las actividades educativas de carácter laico. Por ello, desde antes de que en esta región quedara constituido el estado, el 7 de febrero de 1824, y “cuya institucionalización se afianzaría en 1825 con la promul-

gación de la constitución del Estado de Tamaulipas” (Andrews y Hernández, 2012: 221), el constituyente incluyó entre los artículos de la primera constitución el 235, que ordenaba “se establecerán en todos los pueblos del Estado escuelas de primeras letras [...]” (Ramos-Aguirre, 2009: 33). Promulgada la constitución y hasta fines del siglo XIX, se organizaron grupos de liberales ilustrados que arrojaron un abanico plural de organizaciones católicas, protestantes, masonas, anarquistas y socialistas, cuyo propósito común fue conquistar plenamente una educación laica, pública, gratuita y obligatoria.

Cada una de estas expresiones sociales buscó promover un modelo social desde un proyecto educativo, que se acercara al precepto constitucional dictado por la república; para lograrlo, se apoyaron en instituciones educativas fundadas y financiadas por ellos mismos; de no haber sido de ese modo, Tamaulipas no tendría una importante obra educativa. De acuerdo con *Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo I: siglo XIX* (Álvarez y Avendaño, 2015), la primera escuela de primeras letras, siguiendo con los preceptos establecidos por la Constitución de Cádiz, se estableció en Matamoros en 1814, cuando “siendo alcalde don Felipe Roque de la Portilla, teniente de las milicias provinciales, tomó el acuerdo el 15 de febrero de 1814 de establecer una escuela de las primeras letras” (Rangel-Córdova, 1991: 39).

Después de promulgada la constitución liberal, en 1828, llega la Compañía Lancasteriana al estado, liderada por Ignacio Ribott, educador de origen español, quien firma *contrata* [sic] para el establecimiento de una Escuela Pública de Enseñanza Mutua, “con la anuencia de una comisión que nombró el Gobernador Lucas Fernández” (Ramos-Aguirre, 2009: 40). Para mayor comprensión del interés de Fernández y del contenido sobre la instrucción y la educación del liberalismo decimonónico, se citan sus palabras con respecto a lo que esperaban del proyecto educativo que postulaba: “el 22 de abril de 1828, [Lucas Fernández] anunció a la ciudadanía la presencia del pedagogo [sic],

a quien contrató con base en el artículo 4° de la Ley del 6 de diciembre de 1826: [...] se han abierto fuentes de luces, y de ciencias, y los niños deben correr, si no es que deben volar a beber de ellas, excitádoslos pues a que lo verifiquen y secunden con este hecho las miras benéficas de la Legislatura que ha dictado Leyes sabias y prudentes con tan noble y sagrado fin” (Ramos-Aguirre, 2009: 40).

Además, la contrata establecía el compromiso de crear una Escuela Normal. Ramos afirmó que, de acuerdo con el modelo lancasteriano, junto a las Escuelas de Enseñanza Mutua, sería regla el establecimiento de las Escuelas Normales. La particularidad era que la instrucción y la formación de docentes se establecían bajo el principio laico, es decir, la separación del clero, cuestión que también confirma en su obra García-García (1980). Y como es sabido, este modelo educativo se sostuvo en el método de monitores, lo que permitía instruir en las primeras letras a grupos numerosos de niños y adultos. La Compañía Lancasteriana en Tamaulipas impulsó su modelo educativo en Matamoros y Tampico (Ramos-Aguirre, 2009: 40), y seguramente en otros lugares del estado. El sistema lancasteriano desaparece a finales del siglo XIX, una vez que se promulga “en 1891 la Ley Reglamentaria de la Instrucción Obligatoria en el DF y territorios, que consigna de manera definitiva la facultad del estado para intervenir en la educación pública, puesta en vigor el 7 de enero de 1892” (Morales, 1993: 471).

La ilustración. Las instituciones de educación superior y los historiadores por vocación

La ilustración trae consigo una idea de felicidad otorgada por las ciencias y las letras, las cuales no solo producirían ciudadanos, sino que estos ciudadanos quedarían a la altura de las exigencias del progreso social y político de la república. En 1830 se fundó en Ciudad Victoria el Instituto Hidalguiano Tamaulipeco por iniciativa “del gobernador Juan Guerra, a través del Congreso Constitucional, que emitió un decreto para la creación del Instituto Hidalguiano Tamaulipeco [...]. Por su

carácter científico y literario, este plantel fue precursor de la educación superior en la entidad, pero también antecedente del culto oficial al cura de Dolores” (Ramos-Aguirre, 2009: 56). El propósito se establecía en forma clara: “[...] proporcionar al estado un establecimiento de instrucción pública en el que se cultiven las letras y la ciencia, tan necesarias para la felicidad social, y a fin de que los ciudadanos del estado puedan educarse sin necesidad de ir a adquirir conocimientos a algunos lugares extraños y distantes” (Ramos-Aguirre, 2009: 56). Más tarde, una vez que este instituto cierra sus puertas a mitad de la centuria, en 1859, en el periodo juarista, en plena emisión de las primeras leyes de reforma, en el gobierno liberal del general licenciado Juan José de la Garza se fundó el Instituto Literario de San Juan, en Matamoros. Este instituto ofreció estudios preparatorios y la formación de abogados. Es menester mencionar que este tipo de centros educativos ya funcionaban en otros estados de la república: “los institutos y liceos de Oaxaca, Jalisco, Veracruz, Campeche y Toluca, por mencionar algunos” (Ramos-Aguirre, 2009: 127). También se precisa que “el concepto de instituto se empleó en el México decimonónico como sinónimo de un establecimiento de enseñanza secundaria y profesional” (Ramos-Aguirre, 2009: 128).

Al instituto de San Juan se le agrega la noción de literario, seguramente porque se pretendía “formar humanistas con inclinación social mediante un programa que incluía idiomas, filosofía, ciencias exactas y ciencias sociales” (Álvarez y Avendaño, 2015: 151). Mientras que en Tampico, puerto marítimo, se fundó el Instituto Literario y Mercantil de Tampico en 1855 (Ramos-Aguirre, 2009: 137), que, al igual que el Instituto Hidalguiano, fueron de breve existencia. En todas estas expresiones educativas se aprecia la existencia de un compromiso por vincular la educación con la libertad.

La educación y la libertad fueron los valores enraizados en la modernidad liberal decimonónica. Como se advierte, la formación de

un grupo conservador, con un proyecto educativo ligado a la iglesia católica apostólica y romana se hizo posible solamente hasta mediados del siglo XX. Esta evidencia presupone que no hubo un proyecto educativo postulado por la iglesia católica y el papado romano, como sí lo hubo en el centro y sur de México en ese siglo. Y que más bien, en el caso de Tamaulipas, por su condición de frontera, condicionó proyectos educativos que se materializaron en instituciones educativas bajo los auspicios de maestros ilustrados, que crearon instituciones de educación superior, que darán lugar a los historiadores de vocación; de no ser por ellos, no se podría escribir esta historia. Pues incluso, en el caso de Tamaulipas, el liberalismo fue postulado por sacerdotes católicos, como el Obispo Ignacio Montes de Oca, quien en 1872 fundó el primer seminario. Primer obispo de Tamaulipas y sacerdote liberal a quien se le atribuye la frase “antes escuelas que parroquias” (Ramos-Aguirre, 2018: 44). Su labor representa un esfuerzo tímido y con una duración corta, pero muestra a Tamaulipas como un estado liberal y educador que impulsó un abanico de proyectos educativos bajo el lema de la ilustración.

Hasta este momento, lo que aporta la historiografía sobre la educación religiosa (González-Salas, 1993: 10) es que en la entidad puede sostenerse el desarrollo de un proyecto educativo conservador solamente hasta mediados del siglo XX, en 1946, a partir de la fundación del Seminario Conciliar del Sagrado Corazón en Tampico y su engrandecimiento con la división de la diócesis de Tamaulipas y la creación de la diócesis de Matamoros. El impulso de las instituciones educativas como parte de las congregaciones religiosas fue un efecto de la segunda reforma, en 1946, al artículo 3° de la Constitución. Aunque en Matamoros ya venía funcionando la primera escuela particular, el Colegio Don Bosco, desde 1941, dirigido por un grupo de religiosas pertenecientes a la Congregación del Divino Pastor (Álvarez y Avendaño, 2016: 287). Pero claramente se advierte que en el siglo XIX Ta-

maulipas se configuró como un estado liberal y laico; prueba de ello son las instituciones educativas fundadas en la entidad para las primeras letras, las normales y las instituciones de educación superior, por ejemplo, el Instituto Literario de Instrucción Secundaria y Preparatoria, de carácter particular, que fundó Luis Puebla y Cuadra en 1888, posterior Instituto Científico y Literario del Estado, que diera origen a la Escuela Secundaria Normal y Preparatoria, verdadero venero de maestros y profesionistas ilustrados; sus egresados serían los promotores de la actual máxima casa de estudios. Otro caso, en Matamoros, fue el Instituto Científico y Literario de San Juan. Lo que muestra que la historiografía de la educación enfrenta el cuestionamiento en torno a la mirada y perspectiva sociohistórica entre el centro y la periferia, o la capital y la provincia. Al parecer, se heredó una tradición de la educación fuertemente centralizada, como si en toda la república, de manera uniforme y del mismo modo, se transitara por los periodos del devenir nacional. Basta con abrir un libro de historia de México sobre el siglo XIX para advertir que, el campo educativo se sitúa en medio de una pugna entre liberales y conservadores. Evidentemente es un conflicto, pero en el centro de la república, donde los conservadores, aliados con el clero, tenían de rehén a la escuela y a la educación, propiamente religiosa. En Tamaulipas este conflicto es tardío y aparece hasta el siglo XX. Esto se evidencia en la obra de Carlos González Salas sobre los seminarios.

Desde esta historiografía de la educación se reconocieron las peculiaridades de la región tamaulipeca, en el entendido de que la interpretación del centro se ajusta a una línea conservadora, que asume el acontecimiento educativo como resultado de la introducción de una norma predeterminada y acotada por su lectura moderna y liberal. Su registro da cuenta de causalidades, a las que somete a la periferia o la provincia, como si las iniciativas educativas fuera del centro, el relato centralista no reconoce las que no se ajustan al

libreto pensado, pese a la existencia de otros proyectos, otros actores, otros imaginarios sociales, simplemente los desacreditan. Y aquí es donde no es posible seguirlos, porque simplemente traicionan lo que aconteció en la región. Los historiadores de la educación por vocación como Raúl García García, José del Carmen Tirado y Candelario Reyes Flores, y los profesionales, como el maestro en historia Francisco Ramos Aguirre, así lo manifiestan en sus obras (Reyes-Flores, 1948; Ramos-Aguirre, 2009).

Universidad de Tamaulipas y la tardía profesionalización del historiador

No es posible separar la vocación por la historia de las instituciones de educación superior decimonónicas, particularmente del Instituto Científico y Literario del Estado, de tránsito a la Escuela Secundaria Normal y Preparatoria. Precisamente, de los egresados de estas dos instituciones surgieron destacados autores de las obras sobre la historia de la educación. Sin desconocer los aportes de los egresados del resto de instituciones en el estado, lo que se pretende mostrar es que en Tamaulipas fue posible la historiografía de la educación, a partir de los historiadores por vocación, que serán los precursores de los historiadores profesionales una vez que tuviera lugar la fundación de la Universidad de Tamaulipas.

De las obras historiográficas, sobre la educación del siglo XIX habrá que distinguir dos grandes corrientes en cuanto al tipo de textos. Aquellas cuyo contenido es apologético y las elaboradas bajo los procedimientos validados por la profesión de historiador. En las apologéticas, no podría ser de otro modo, la libertad como lema de la ilustración estuvo acompañada de las fundaciones asignadas a las instituciones educativas, donde se promovió la historia patria, por consiguiente, el amor a la escuela, a la bandera y a la historia nacional, la cual fue una asignatura de primer orden que resultó de la necesidad de la cohesión social republicana. Al respecto cabe mencionar que en Tamaulipas se realizó

el primer Congreso de Pedagogía en 1899, en Ciudad Victoria. Convocados los maestros de la época, se advierte que entre las propuestas sobre el contenido de los programas escolares está la materia de la historia patria a partir del segundo año de primaria, y hasta el sexto grado se encuentra la materia de historia universal (Olivares-Arriaga, 2007: 48-62).

En cuanto a las obras elaboradas de acuerdo a los procedimientos validados por la profesión de historiador, son producto de historiadores egresados de la Universidad de Tamaulipas, institución que una vez conquistada su autonomía en 1972 se denominará Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Bajo la premisa de que los historiadores de vocación son los precursores de los de profesión, la UAT, aunque de tardía fundación respecto de las instituciones de educación superior del resto del país, tendría como antecedente a las instituciones educativas decimonónicas, las que motivaron la vocación por la historia e historiografía tamaulipecas.

El contexto institucional de los autores cuyas obras son necesariamente apologéticas con respecto a la república, la historia, la libertad, el conocimiento y la ciencia, en suma, al hombre de letras, data de finales del siglo XIX, en 1888, cuando por iniciativa de la sociedad de padres de familia, con el apoyo del Gobierno del Estado, funcionó como particular el Instituto Científico y Literario de Tamaulipas de Instrucción Preparatoria, dirigido por el Ing. Luis Cuadra y Puebla (Tirado-Porras, 1995: 76). José del Carmen Tirado rememora la apertura de la institución: “Hoy, 12 de septiembre de 1888, abre sus puertas para recibir lleno de fé [sic] en tu porvenir, y el amor puro y santo en su corazón, el Instituto Científico y Literario de Tamaulipas. En tu propio jardín se ha inaugurado hoy la fuente de agua pura y cristalina que contiene, [...] el néctar divino de la verdad científica que te vigorizará y te dará vida en el mundo científico e intelectual” (Tirado-Porras, 1995: 75). Dado el prestigio alcanzado por este centro educativo, fue que la Junta de Instruc-

ción Pública lo acoge, apoyándolo, y da lugar a la creación, en 1889, del Instituto Científico y Literario del Estado, funcionando en Ciudad Victoria, y continuando como director el Ing. Cuadra y Puebla.

A iniciativa del gobierno liberal de Alejandro Prieto, el Congreso del Estado emitió decreto para financiarlo y vigilarlo (Tirado-Porras, 1995: 93). Este instituto agregó dos secciones, en las que ofreció educación secundaria y normal, además de la preparatoria, que ya venía funcionando (Tirado-Porras, 1995: 86). El hecho mismo de la creación de estas secciones evidenció el giro dirigido a la formación de maestros y que, por ello, se distanciaría de los institutos decimonónicos del centro y sur del país, al transformarse en universidades. Pues fue evidente la preeminencia de la formación de maestros como profesores de primera clase, lo que significó la certificación del maestro de primaria elemental, puesto que en el periodo 1894-1895 se proyectó la creación de la escuela anexa a la Normal de Prácticas Pedagógicas. “La escuela se inauguró el 18 de septiembre de 1896” (Tirado-Porras, 1995: 105). En 1904, Lauro Aguirre, pedagogo y educador, se haría cargo de la Dirección de la Escuela Anexa a la Normal. El historiador de vocación Artemio Villafaña, egresado del Instituto Científico y Literario del Estado, quien recibió en 1909 el “título de Profesor de Primera Clase, siendo posteriormente director de la Normal y Catedrático de la misma [...]” (Tirado-Porras, 1995: 122), es figura importante en el ámbito educativo tamaulipeco y uno de los biógrafos de otro personaje de la educación pública en el estado en la segunda mitad del siglo XX, el profesor Lauro Aguirre.

A mediados del siglo XX, en Tampico, la Escuela Preparatoria del puerto, siendo director Artemio Villafaña (Tirado-Porras, 1995: 122), fue el lugar donde se constituyó la asociación civil “Educación profesional de Tampico, A.C.” Archivo del Instituto de Investigaciones Históricas-UAT (1950). Fondos documentales Joaquín Meade. Acta constitutiva de la educa-

ción profesional de Tampico, A. C. Villafaña, como director de la Escuela Preparatoria y de la asociación, cobijó la iniciativa para la creación de la Universidad de Tamaulipas. Los primeros cursos comenzaron en “el salón de actos de la antigua Escuela Preparatoria de Tampico. [Con un] sencillo acto de iniciación de cursos, de las referidas escuelas de Derecho y Medicina, correspondiente al año 1950-1951 [...]” (Zorrilla, 1976: 13). Juan Guerrero Villarreal asistió como representante del gobernador, general Raúl Garate Legleu, y hablaron en el acto el doctor Alfredo E. Gochicoa, el citado Artemio Villafaña, integrantes de la asociación civil y Juan Guerrero Villarreal.

Un historiador por vocación de la Universidad de Tamaulipas fue Juan Fidel Zorrilla. Entre su vasta obra publicada se encuentra la historia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. En ella relata que por el decreto 320, expedido por la legislatura estatal el 8 de noviembre de 1950 y promulgado el 14 del mismo mes por el licenciado Juan Guerrero Villarreal, encargado del despacho del ejecutivo, se declararon escuelas oficiales del estado las de medicina y derecho, cuyos planes de estudios se ajustaron a los de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y funcionaban en la ciudad y puerto de Tampico.

Se advierte que dos historiadores por vocación serían parte importante de la fundación de la Universidad y de la institucionalización de la profesión de historiador. Artemio Villafaña, egresado del Instituto Científico y Literario en 1909, y Juan Fidel Zorrilla, egresado de la Escuela Secundaria Normal y Preparatoria del estado, de quien José del Carmen se expresa: “fue a terminar sus estudios en el extranjero, mediante un brillante examen profesional obtuvo su título de abogado. Fue catedrático de la Escuela Preparatoria y Normal” (Tirado-Porras, 1995: 126), de la que egresó. Villafaña y otros destacados profesionistas y posteriormente otros grupos fundacionales en Victoria, Matamoros y otros lugares del estado impulsaron las diversas escuelas y facultades de la Universidad.

Pero ¿cuándo se originó la institucionalización de la investigación histórica, que permitió la profesión de historiador? la respuesta se encuentra en la obra de Juan Fidel Zorrilla. En su *Reseña histórica de la UAT* da cuenta de que “El 7 de noviembre de 1962 el gobernador Norberto Treviño Zapata promulgó el decreto 209, por cuyo texto el Gobierno del Estado de Tamaulipas donó a la Universidad el Museo de Arqueología, Antropología e Historia que había sido creado en 1957 [...] (Zorrilla, 1976: 16). Por acuerdo de “La Asamblea Universitaria del 15 de junio de 1963 se fundó el Instituto de Investigaciones Históricas, con sede en Ciudad Victoria y a cuyo cargo está la custodia del museo. Designándose como primer director [...] al profesor Raúl García García” (Ramos-Aguirre, 2009: 16). El año siguiente se nombró a Ciro de la Garza y en mayo de 1974 asumió la dirección el licenciado Juan Fidel Zorrilla. Se destaca que también Ciro de la Garza fue “hijo de la Escuela Normal Tamaulipeca” (Tirado-Porras, 1995: 169), además de Raúl García García, autor de la primera obra sobre la historia de la educación en Tamaulipas. Por lo que se asume que será hasta 1963 cuando se formalizó el interés por la historia con la creación del Instituto de Investigaciones Históricas de la UAT, dando lugar al impulso de la investigación en ese ramo con la publicación de una vasta obra sobre la historia de Tamaulipas. Para 1972, la Universidad logra la autonomía y a partir de ahí se le conoce como Universidad Autónoma de Tamaulipas. Un año antes, en 1971, la Asamblea Universitaria, máximo órgano de gobierno de la institución, crea la Facultad de Ciencias de la Educación (Sánchez-López, s/f); una década después cambiaría el nombre a Unidad Académica Multidisciplinaria de Ciencias, Educación y Humanidades, que en 2003 abrió la Licenciatura en Historia (en 2012 se modificó su plan de estudios, quedando como Licenciatura en Historia y Gestión del Patrimonio Cultural). Previo a esta apertura, la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en convenio con el Instituto de Investigaciones Históricas de la UNAM, ofreció un programa de maestría en Historia (2002-2004), del cual

solo egresó una generación, de la cual fue integrante Francisco Ramos Aguirre, autor de dos obras generales en las que se da cuenta de la historia de la educación durante el porfiriato.

En el hecho de que la formación de profesionales universitarios humanistas (Burke, 1999: 27) fuese tardío es de valorar que las aportaciones historiográficas a través de las cuales se recupera la historia de la educación las hicieran maestros normalistas egresados de los institutos decimonónicos y muchos años después los historiadores. Y aquí, justamente, se desprende una consideración relevante: los criterios metodológicos para investigar no pueden ser similares a los del resto del país; sus peculiaridades exigen proceder atendiendo las particularidades de la región.

Reseña del estado del conocimiento de la historiografía de la educación del siglo XIX

El recorrido hecho hasta aquí muestra la creación de Tamaulipas, en el ámbito educativo, como un estado liberal y laico que, en el marco de la configuración de sus fronteras, permitió el tránsito y migración de grupos de liberales ilustrados que arrojaron un abanico plural de organizaciones católicas, protestantes, masonas, anarquistas y socialistas cuyo propósito común fue conquistar plenamente una educación laica, pública, gratuita y obligatoria, y lo hicieron al fundar centros de educación de largo alcance. De estos grupos surgieron maestros que crearon instituciones educativas que permitieron las de educación superior decimonónicas, que a su vez fueron el lugar de los historiadores de vocación; posteriormente impulsaron también la educación superior contemporánea, en la que se formaron los historiadores de profesión.

Cabe señalar que las fechas de las publicaciones de las obras permitieron establecer un orden cronológico que indica quiénes, dónde y desde cuándo los tamaulipecos se mostraron interesados en dejar por escrito historias, crónicas o memorias sobre la educación en el estado. Es menester mencionar que la

primera obra registrada sobre la historiografía de la educación apareció en 1948, titulada *Estefanía Castañeda (la vida y obras de un gran Kinderhartner [sic])*, del ingeniero civil Candelario Reyes Flores. Es justo insistir en que los primeros historiadores fueron maestros egresados de las instituciones de educación superior que aparecieron en la última década del siglo XIX. Se destaca a los autores y sus aportes, al tiempo que se expone un conjunto de problemáticas inherentes a los esfuerzos por investigar este periodo educativo en la región. Evidentemente, este trabajo está inacabado, y no puede ser de otra manera, porque la producción sobre la historia de la educación durante el siglo XIX continúa y continuará. Pues, se incorpora al estado del conocimiento de la historiografía de la educación del siglo XIX la más reciente obra: *Antes Escuelas que parroquias. La educación en Tamaulipas durante el Porfiriato 1870-1900*, publicada en 2018 por el maestro Ramos Aguirre. Precisamente, porque el oficio de historiar se ha institucionalizado y profesionalizado.

De la revisión minuciosa de las obras regionales resultaron las referentes a las historias de las instituciones educativas y biografías sobre los maestros ilustres del estado, y finalmente, las obras que aportaban nuevas perspectivas sobre la educación. En la Tabla 1 se presenta una breve reseña de cada obra.

Como resultado del acopio de la obra historiográfica de la educación en Tamaulipas durante el siglo XIX, se encontraron 22 publicaciones entre 1948 y 2018 (Tabla 1). La última, publicada en 2018, permitió sumar dos obras generales sobre la educación en el periodo del porfiriato en Tamaulipas. Se clasificaron 4 historias generales, 2 regionales, 7 sobre instituciones educativas, 8 obras sobre biografías de profesores y 1 que aborda por primera vez el problema sobre el financiamiento a la educación pública en el periodo de Alejandro Prieto, con importantes aportes teóricos y metodológicos.

En las historias generales, destaca: *Apuntes para la Historia de la Educación en Tamaulipas*, primer trabajo historiográfico sobre la historia de la educación, del profesor normalista Raúl García García, con dos ediciones del mismo autor; la primera fue publicada en 1964 y la segunda en 1980. Abarcan desde el proceso de colonización hasta la mitad del siglo XX. Esta obra es clásica, con fuentes oficiales y legislativas.

En el mismo rubro, los textos del maestro de historia Ramos Aguirre se refieren exclusivamente al siglo XIX. *Fuente de la libertad: la educación en Tamaulipas, 1822-1870* es rica en fuentes primarias, desde donde cita y sitúa a actores educativos, la fundación de las instituciones educativas, legislaciones, y penetra en los programas de estudio. Su obra *Antes Escuelas que parroquias. La educación en Tamaulipas durante el Porfiriato 1870-1900*, publicado en 2018, cubre este importante periodo.

En cuanto a historias regionales, se cuenta con 2 obras: *Una historia breve de la Educación en Brownsville y Matamoros*, escrita por Kearney y col. (1989) (Kearney es el primer profesor emérito de la Universidad de Texas). El periodo de estudio va de la Colonia a la fundación de las primeras instituciones educativas, considerando a las dos ciudades como una sola región, a diferencia de la *Historia de la educación en Matamoros, Tamaulipas, desde sus inicios al Liberalismo*, originalmente trabajo de tesis de los maestros Elda A. Rangel Córdova, Elia García e Hilarino Jiménez León, de la Normal Superior de Nuevo León, quienes más bien rastrean el proceso de fundación de lo que hoy es Matamoros, desde 1793, junto al de la institucionalización de la educación en el Municipio, finalizando en 1867, con la publicación de la Ley de Instrucción Pública, al triunfo de la República de Juárez.

Sobre las historias institucionales hay 7 obras: *Antiguo Instituto Científico y Literario de San Juan, año de 1864*, de Edelmiro Villarreal, de la sociedad de Historia y Geografía de Matamoros. Además, *Conflictos entre gobiernos por*

■ **Tabla 1. Obras históricas que describen la historiografía de la educación en Tamaulipas.**
 Table 1. Historical works describing the education historiography in Tamaulipas.

Autor	Título	Lugar	Editorial	Año	Formato
Historias generales					
Raúl García-García	<i>Apuntes para la historia de la educación en Tamaulipas.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Edición homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación	1964	Libro
	<i>Apuntes para la historia de la educación en Tamaulipas.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	UAT: IIH	1980	Libro
Francisco Ramos-Aguirre	<i>Fuente de la libertad, la educación en Tamaulipas (1822-1870).</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Gobierno del Estado de Tamaulipas	2009	Libro
	<i>Antes escuelas que parroquias. La educación en Tamaulipas durante el Porfiriato 1870-1900.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Gobierno del Estado de Tamaulipas	2018	Libro
Historias regionales					
Milo Kearney, Alfonso Gómez-Argüelles y Yolanda Z. González	<i>A Brief History of Education in Brownsville and Matamoros, Brownsville, Texas.</i>	Brownsville, Texas	Pan American University at Brownsville/ The University of Texas System	1989	Libro
Elda A. Rangel-Córdova, Elia García e Hilarino Jiménez-León	<i>Historia de la educación en Matamoros, Tamaulipas, desde sus inicios al liberalismo.</i>	Monterrey, Nuevo León	Escuela Normal Superior de Nuevo León "Prof. Moisés Sáenz Garza", Escuela de Graduados, Monterrey	1991	Tesis de maestría
Historias institucionales					
Edelmiro Villarreal	<i>Antiguo Instituto Científico y Literario de San Juan, año de 1864.</i>	Matamoros, Tamaulipas	Ayuntamiento de Matamoros	1982	Libro
Jaime Mendoza-Martínez	Conflictos entre gobiernos por adeudo al Colegio de San Juan, Matamoros, Tamaulipas, 1878-1879. En D. Piñera-Ramírez (Ed.), <i>La educación superior en el proceso histórico de México. Tomo II, siglo XIX y XX.</i>	Mexicali, Baja California	UABC / SEP / ANUIES	2001	Capítulo de libro

Continúa...

Yessenia Flores-Méndez	<i>El proceso de creación de los estudios preparatorios y profesionales en Tamaulipas: El Instituto Literario de San Juan y el Instituto Literario del Estado, 1858-1914.</i>	Guanajuato, Guanajuato	Universidad de Guanajuato	2014	Tesis de maestría
Jaime Mendoza-Martínez	<i>Las escuelas protestantes en Matamoros a fines del siglo XIX.</i>	Matamoros, Tamaulipas	Colegio de la Frontera Norte en Matamoros	1998	Libro
Óscar Rivera-Saldaña	<i>El Colegio Literario de San Juan. Conquista de un pueblo heroico.</i>	Matamoros, Tamaulipas	Editorial del Seno Mexicano	2014	Libro
Carlos González-Salas	<i>Historia del Seminario de Ciudad Victoria.</i>	México, D. F.	UAT: IIIH	1993	Libro
Estefanía Castañeda	<i>Manuales del Kindergarten en concepción [sic] con el primer ciclo de la escuela primaria. Filosofía. Historia. Principios. Leyes. Organización. Propósitos. Planes de Estudio Normales. Y técnica del Kindergarten.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	UAT: IIIH	1980	Libro
Biografías de profesores					
Dolores Uribe y Ramiro Cisneros-Zuckerman	<i>Luis Puebla y Cuadra: Biografía.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Edición en homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación	1964	Libro
Blas Uvalle-González	<i>Una hazaña cultural: la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Editoriales México: Sistema de Información Cultural-Secretaría de Cultura. JUS, Libreros y Editores, S.A. de C.V.	1986	Libro
Candelario Reyes-Flores	<i>Estefanía Castañeda. La vida y obra de un gran Kindergarten.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Librería El Lápiz Rojo	Primera edición, 1948	Libro
	<i>Estefanía Castañeda. La vida y obra de un gran Kindergarten.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Dirección General de Educación y Cultura: Letras Vivas	Reimpresión 1988	Libro

Continúa...

Luisa Castañeda	<i>La educadora Estefanía Castañeda. Datos biográficos.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Edición en homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación	1964	Folleto
María Guadalupe Domínguez-Vega	<i>Estefanía Castañeda Núñez de Cáceres: Creó la educación preescolar.</i>	México, D. F.	Agencia Promotora de Publicaciones	2012	Libro
Francisco Ramos-Aguirre	<i>Diccionario biográfico del magisterio tamaulipeco.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	s/e	1994	Libro
Francisco Ramos-Aguirre	<i>Maestros ilustres de Tamaulipas.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	Gobierno del Estado de Tamaulipas / Secretaría de Desarrollo Social	2003	Compilación
Eliseo Paredes-Manzano	<i>Profesionales de la medicina y la enfermería en H. Matamoros, Tamaulipas.</i>	Matamoros, Tamaulipas	JUS	1981	Libro
Nuevos aportes desde la perspectiva historia de la educación					
Ernesto Méndez-Estrada	<i>El financiamiento de la educación en Tamaulipas durante el gobierno del ingeniero Alejandro Prieto Quintero: 1888-1896.</i>	Ciudad Victoria, Tamaulipas	UPN-Unidad 281-Victoria	2003	Tesis de maestría

adeudo al Colegio de San Juan, Matamoros, Tamaulipas, 1878-1879, de Jaime Mendoza Martínez, del Colegio de la Frontera Norte; de él es también *Las escuelas protestantes en Matamoros a fines del siglo XIX*. Sobre la misma institución educativa está *El Colegio Literario de San Juan. Conquista de un pueblo heroico*, de Oscar Rivera Saldaña, historiador de Matamoros, y la tesis *El proceso de creación de los estudios preparatorios y profesionales en Tamaulipas: El Instituto Literario de San Juan y el Instituto Literario del Estado, 1858-1914*, de la Dra. Yessenia Flores Méndez. Como se advierte, la atención gira entorno a dos instituciones educativas del siglo XIX, y la educación protestante aparece como novedad. También, en esta sección se encuentra *Historia*

del Seminario de Ciudad Victoria, de Carlos González Salas, reconocido historiador de Tamaulipas que se ha ocupado de documentar la historia de la educación sacerdotal. Finalmente, *Manuales del Kindergarten en conexión [sic] con el primer ciclo de la escuela primaria. Filosofía. Historia. Principios. Leyes. Organización. Propósitos. Planes de Estudio Normales. Y técnica del Kindergarten*, de Estefanía Castañeda, que originalmente se publicó como folleto en 1931, según lo data Candelario Reyes Flores en su obra sobre Estefanía y el *Kindergarten*. En su texto, Estefanía Castañeda expone los fundamentos filosóficos y pedagógicos del *Kindergarten* y da cuenta de los primeros educadores y fundadores de este nivel educativo, que aún no se consideraba parte de algún otro.

Se identificaron 8 biografías de profesores, entre las que destacan las dedicadas a Luis Cuadra y Puebla y a Estefanía Castañeda. Sobre Cuadra está la de Uribe y Cisneros-Zuckerman (1964). Además, Blas Uvalle González, maestro normalista, en *Una Hazaña Cultural. La Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas* le dedica un gran apartado al creador del Instituto Científico y Literario del Estado, por ello se incluye en esta clasificación. Sobre Estefanía Castañeda Núñez de Cáceres, fundadora de los *Kindergarten*, escribe el Ing. Candelario Reyes Flores. Sobre el autor: “Elocuente orador y prominente historiador tamaulipeco” (Tirado-Porras, 1995: 228) y “egresado de la Escuela Preparatoria del Estado” (Tirado-Porras, 1995: 120) que le dedica su extenso texto “*Estefanía Castañeda. La vida y obras de un gran Kindergarten*”. Además de este destacado historiador de Tamaulipas, escriben sobre ella la profesora Luisa Castañeda y María Guadalupe Domínguez Vega. Hay otras 2 obras biográficas sobre maestros: el *Diccionario Biográfico del Magisterio Tamaulipeco*, de Francisco Ramos Aguirre, y *Maestros Ilustres de Tamaulipas*, coordinada por él mismo y que consiste en una selección de pequeños folletos que resaltan la obra educativa realizada por los profesores tamaulipecos. Y una más: *Profesionales de la Medicina y la Enfermería de H. Matamoros*, de Eliseo Pérez Manzano, fundador de la Sociedad Tamaulipecana de Historia.

Es importante resaltar que quienes mayormente se han ocupado de investigar la historia de la educación durante el siglo XIX son el maestro en historia Francisco Ramos Aguirre y los miembros de la Sociedad de Geografía e Historia de Matamoros. Sin dejar de lado las obras del maestro Raúl García, quien tiene el mérito de haber iniciado la recuperación de la memoria historiográfica de la educación en Tamaulipas. Finalmente, se incluye la tesis de maestría de Ernesto Méndez Estrada *El financiamiento de la Educación en Tamaulipas durante el gobierno del Ingeniero Alejandro Prieto Quintero: 1888-1896*, primera investigación que aborda el financiamiento educativo en el

periodo del porfiriato en Tamaulipas. Las dos obras de historia general sobre la educación del maestro Ramos Aguirre, la tesis de maestría del maestro Méndez Estrada y la Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo I, cuentan con acervo historiográfico, aunque pequeño, sobre un periodo muy importante del siglo XIX, del cual no se había escrito, y que contienen los elementos históricos más fundamentales de la educación laica, publica, gratuita y obligatoria en Tamaulipas.

Del estado del conocimiento sobre la historiografía de la educación en Tamaulipas del siglo XIX se destacan dos tipos de narraciones. Un conjunto de obras contiene como hilo conductor un relato apologético sobre la fundación de las instituciones educativas de educación superior y, a la par, una extensa biografía de maestros destacados por sus aportaciones pedagógicas en el que hacer educativo. El relato apologético contiene un profundo valor porque además retrata la época, colmada de acontecimientos históricos, entre los que se hallan el triunfo de la República en 1867, acontecimiento ligado a la expulsión de los franceses; sucesos que dieron lugar a la configuración de la Nación y al ideal decimonónico del progreso económico, social y político fincado, primero en la instrucción y luego en la educación pública, laica y libre. Otra parte más reducida de las obras está formulada en los marcos de la exigencia académica. Pero lo común de ellas es que se sostienen en fuentes históricas o testimoniales. De la obra historiográfica se destaca, con una mayor producción sobre la educación del siglo XIX, el maestro Francisco Ramos Aguirre. Con respecto a un primer balance de la investigación sobre la historia de la educación, se abre un mar que navegar; aquí se contribuye con pequeñas islas, a fin de transitarlo, se tiene por caso que hasta 2018 Tamaulipas conforma una historiografía sobre la educación en el periodo del porfiriato.

Finalmente, la historia de la educación en Tamaulipas o, más bien, las historias de la educación en Tamaulipas siguen siendo una tarea

para los historiadores de vocación y para los de profesión. El estado del conocimiento acerca de ello en Tamaulipas del siglo XIX es un aporte a los investigadores de la historia de la educación y a las instituciones educativas. A los primeros les ofrece la posibilidad de seguir o abrir nuevas líneas de investigación, y a las instituciones, su lugar en la tradición educativa.

CONCLUSIONES

La historiografía de la educación en Tamaulipas del siglo XIX da evidencia de la activa participación de ilustres liberales que buscaron el establecimiento de una educación superior pública y laica, lo cual se logró me-

dante la fundación de instituciones educativas. Los textos historiográficos referidos manejan dos tipos de discursos, uno apologético que retrata el contexto de la época con sus principios y valores, y otro académico biográfico, que describe las personalidades de los principales actores, su obra y motivaciones. Ambos tipos fundamentados en fuentes históricas y testimonios. El maestro Francisco Ramos Aguirre, historiador sobre el siglo XIX, destaca por su aportación a la historia de la educación en el estado. La evidencia señala que existen aún muchos aspectos por descubrir en el campo de la investigación educativa de Tamaulipas.

REFERENCIAS

- Álvarez, L. y Avendaño, C. (2015). *Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo I: siglo XIX*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: CRETAM-SEP. 207 Pp.
- Álvarez, L. y Avendaño, C. (2016). *Historiografía de la educación en Tamaulipas Tomo II: siglo XX*. Ciudad Victoria, Tamaulipas. CRETAM-SEP. 230 Pp.
- Andrews, C. y Hernández, J. (2012). *Del Nuevo Santander Tamaulipas génesis y construcción de un estado periférico mexicano 1770-1825*. México: UAT-CONACYT. 271 Pp.
- Bastian, J. P. (1993). *Protestantes, Liberales y Francmasones. Sociedades de ideas y modernidad en América Latina, siglo XIX*. México: FCE. 178 Pp.
- Burke, P. (1999). *El renacimiento*, Trad. de Carme Castells, España: Critica. 256 Pp.
- Castañeda, E. (1980). *Manuales del Kindergarten en conexión [sic] con el primer ciclo de la escuela primaria. Filosofía. Historia. Principios. Leyes. Organización. Propósitos. Planes de Estudio Normales. Y técnica del Kindergarten*. Ciudad Victoria: Tamaulipas, UAT: IIH. 144 Pp.
- Castañeda, L. (1964). *La educadora Estefanía Castañeda. Datos biográficos*. Ciudad Victoria: Tamaulipas, Edición en homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación. 44 Pp.
- Collingwood, R. G. (2004). *Idea de la historia*. (Tercera edición). México: FCE. 610 Pp.
- Domínguez-Vega, M. G. (2012). *Estefanía Castañeda Núñez de Cáceres: Creó la educación preescolar*. México: Agencia Promotora de Publicaciones. 130 Pp.
- Flores-Méndez, Y. (2014). *El proceso de creación de los estudios preparatorios y profesionales en Tamaulipas: El Instituto Literario de San Juan y el Instituto literario del Estado, 1858-1914*. Tesis de Maestría en Historia, Universidad de Guanajuato, México. [En línea]. Disponible en: <https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/download/195/164/477-1?inline=1>. Fecha de consulta: 6 de octubre de 2020.
- Galván, L. E., Quintanilla, S. y Ramírez, C. I. (2003). *Historiografía de la educación en México, 1992-2002*. México: SEP- COMIE. 400 Pp.
- Gaos, J. (2015). Notas sobre la Historiografía. En Á. Matute (Ed.), *La teoría de la historia en México 1940-1968 (pp. 481-508)*. México: FCE.
- García-García, R. (1964). *Apuntes para la historia de la educación en Tamaulipas*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: (Edición homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación). UAT: IIH. 106 Pp.
- García-García, R. (1980). *Apuntes para la historia de la educación en Tamaulipas*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: (Edición homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación). UAT: IIH. 168 Pp.
- González-Salas, C. (1993). *Historia del seminario de Ciudad Victoria*. México: UAT: IIH. 51 Pp.
- Instituto de Investigaciones Históricas-UAT (1950). *Fondos documentales Joaquín Meade*. En Colección Educación profesional de Tampico. Acta constitutiva de la educación profesional de Tampico, A.C.
- Kant, I. (1985). *¿Qué es la ilustración?* México: Colección popular, F.C.E. 25-27 Pp.

- Kearney, M., Gómez-Argüelles, A., and González, Y. Z. (1989). *Brief history of education in Brownsville and Matamoros*, Brownsville, Texas: Pan American University at Brownsville/The University of Texas System. 31-58 Pp.
- Méndez-Estrada, E. (2003). *El financiamiento de la educación en Tamaulipas durante el gobierno del Ingeniero Alejandro Prieto: 1888-1896*. Tesis de maestría, UPN – Unidad 281-Victoria, Tamaulipas.
- Mendoza-Martínez, J. (1998). *Las escuelas protestantes en Matamoros a fines del siglo XIX*. Matamoros, Tamaulipas: Colegio de la Frontera Norte en Matamoros. 117 Pp.
- Mendoza-Martínez, J. (2001). Conflictos entre gobiernos por adeudo al Colegio de San Juan, Matamoros, Tamaulipas, 1878-1879. En D. Piñera-Ramírez (Ed.), *La educación superior en el proceso histórico de México. Tomo II, siglo XIX y XX* (pp. 231-234). Mexicali: UABC/SEP/ANUIES.
- Morales, E. (1983). *Tendencias educativas oficiales en México 1821-1911*. México: Porrúa. 787 Pp.
- Olivares-Arriaga, M. del C. (2007). *Pensamiento de los maestros tamaulipecos. Primer congreso de pedagogía 1899*. Colección “Maestro cuéntame tu historia” tomo II. Ciudad Victoria, Tamaulipas: Gobierno de Tamaulipas. 195 Pp.
- Paredes-Manzano, E. (1981). *Profesionales de la medicina y la enfermería de H. Matamoros, Tamaulipas*. México: JUS. 97 Pp.
- Ramos-Aguirre, F. (1994). *Diccionario biográfico del magisterio tamaulipeco*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: Gobierno del Estado de Tamaulipas. 247 Pp.
- Ramos-Aguirre, F. (2003). *Maestros ilustres de Tamaulipas*. Ciudad Victoria: Gobierno del Estado de Tamaulipas/Secretaría de Desarrollo Social.
- Ramos-Aguirre, F. (2009). *Fuente de la libertad, la educación en Tamaulipas (1822-1870)*. Ciudad Victoria, Tamaulipas, Gobierno del Estado de Tamaulipas. 179 Pp.
- Ramos-Aguirre, F. (2018). *Antes Escuelas que parroquias. La educación en Tamaulipas durante el Porfiriato 1870-1900*. Ciudad Victoria: Ramos Aguirre. 142 Pp.
- Rangel-Córdova, E. A., García, E. y Jiménez-León, H. (1991). *Historia de la educación superior en Matamoros, Tamaulipas, desde sus inicios al liberalismo*. Trabajo de investigación en opción de grado de maestría en educación media en las especialidades de idiomas y en la lengua y literatura españolas, Escuela Normal Superior de Nuevo León “Prof. Moisés Sáenz Garza, Escuela de graduados, Monterrey, Nuevo León.
- Reyes-Flores, C. (1948). *Estefanía Castañeda. La vida y obra de un gran Kindergarten*. (Primera edición). Ciudad Victoria, Tamaulipas: Librería El Lápiz Rojo. 450 Pp.
- Reyes-Flores, C. (1988). *Estefanía Castañeda. La vida y obra de un gran Kindergarten*. (Reimpresión). Ciudad Victoria, Tamaulipas: Dirección General de Educación y Cultura: Letras Vivas. 450 Pp.
- Rivera-Castro, F. (2011). Liberalismo y Estado laico en las Leyes de Reforma. En R. Ruiz-Guerra (Ed.), *Miradas de la Reforma* (pp. 191-212). México: UNAM.
- Rivera-Saldaña, Ó. (2014). *El Colegio Literario de San Juan. Conquista de un pueblo heroico*. H. Matamoros, Tamaulipas: Editorial del Seno Mexicano. 63 Pp.
- Sánchez-López, O. (s/f). *La Facultad de Ciencias de la Educación. Innovación y conflicto 1970-1980*. Ciudad Victoria, Ovidio Sánchez López. 60 Pp.
- Tirado-Porras, J. del C. (1995). *Instituto Científico y Literario de Tamaulipas. Apología biográfica de la escuela secundaria, normal y preparatoria del Estado 1888-1948*. Ciudad Victoria: Fernando Tirado Saldívar. 409 Pp.
- Uribe, D. y Cisneros-Zuckermann, R. (1964). *Luis Puebla y Cuadra: Biografía*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: (Edición en homenaje a la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas en el LXXV Aniversario de su fundación). 16 Pp.
- Uvalle-González, B. (1986). *Una hazaña cultural: la Escuela Normal y Preparatoria de Tamaulipas*, Ciudad Victoria, Tamaulipas: JUS. 321 Pp.
- Villarreal, E. (1982). *Antiguo Instituto Científico y Literario de San Juan, año de 1864*. Matamoros, Tamaulipas: Ayuntamiento de Matamoros. 22 Pp.
- Zorrilla, J. F. (1976). *Reseña histórica de la Universidad Autónoma de Tamaulipas*. Ciudad Victoria: UAT, Instituto de Investigaciones Históricas. 107 Pp.



Imagen de: Tumisu en Pixabay

La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comercial en México

The relationship between service quality, customer satisfaction, and customer loyalty: A case study of a trading company in Mexico

Juan Gilberto Silva-Treviño¹, Bárbara Azucena Macías-Hernández^{2*}, Edgar Tello-Leal², Jesús Gerardo Delgado-Rivas¹

RESUMEN

La calidad en el servicio se considera una alternativa para que las empresas puedan obtener una ventaja competitiva y sostenible en un entorno económico globalizado. Las pequeñas y medianas empresas deben ofrecer una mayor calidad en el servicio que las empresas grandes, y así obtener la preferencia de los clientes. El objetivo de este estudio fue identificar la relación entre la variable calidad en el servicio y las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman y un método estadístico basado en análisis factorial exploratorio que apunta a extraer la varianza máxima del conjunto de datos dentro de cada factor. Los resultados permitieron observar una correlación altamente significativa, positiva y fuerte de la variable de calidad en el servicio con satisfacción del cliente ($r = 0.820$) y lealtad del cliente ($r = 0.803$). Un hallazgo importante también fue la asociación entre la dimensión aspectos tangibles con las variables satisfacción del cliente ($r = 0.910$) y lealtad del cliente ($r = 0.919$). Por otro lado, en el análisis factorial, a través de la varianza total explicada, se observó que el autovalor es superior a 1 en los cinco primeros casos, donde el porcentaje de la varianza alcanza un valor máximo de 54.886 % en su primer factor. Entonces, con cinco factores se consigue explicar un 73.713 % de la varianza de todos los datos originales. El estudio presentó la limitación de su aplicación en solo una empresa. Se confirmó que a través de una mejor atención y servicio al cliente, la calidad en el servicio constituye una excelente herramienta para la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa.

PALABRAS CLAVE: calidad en el servicio, satisfacción del cliente, lealtad del cliente, PyME.

ABSTRACT

Service quality is considered an alternative for companies to obtain a competitive and sustainable advantage in a globalized economic environment. Small and medium-sized enterprises must offer a higher quality of service than large companies, and thus obtain customer preference. The objective of this study was to identify the relationship between service quality variable and the customer satisfaction and customer loyalty variables. Spearman's correlation coefficient was used, and a statistical method based on exploratory factor analysis, aiming to extract the maximum variance of the data set within each factor. The results allowed observing a highly significant, positive, and strong correlation, with values of $r = 0.820$ and $r = 0.803$, between the variables of service quality, customer satisfaction, and customer loyalty. An important finding was the association between the tangible aspects dimension with the customer satisfaction and customer loyalty variables, with values of $r = 0.910$ and $r = 0.919$, respectively. On the other hand, in the factor analysis, through the explained total variance, it was observed that the eigenvalue is greater than 1 in the first five cases, where the percentage of the variance reaches a maximum value of 54.886 % in its first factor. Then, with five factors, 73.713 % of the variance of all the original data is explained. The study presented the limitation of its application in only one company. It was confirmed that, through better customer care and service, service quality constitutes an excellent tool for the profitability and sustainability of the organization.

KEYWORDS: service quality, customer satisfaction, customer loyalty, SME.

*Correspondencia: bmaciash@docentes.uat.edu.mx / Fecha de recepción: 19 de septiembre de 2020 / Fecha de aceptación: 5 de octubre de 2020 / Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Comercio y Administración-Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87149.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en un entorno económico globalizado, las empresas requieren elevar sus índices de eficiencia y competitividad para conseguir la preferencia de los clientes. En este sentido, la calidad en el servicio es una alternativa para que las empresas puedan obtener una ventaja única y sostenible respecto a sus competidores, independientemente de la actividad comercial o de los servicios que ofrezcan (Azman y Yusrizal, 2016; Shah y col., 2018). La “calidad en el servicio” se entiende como la brecha que existe entre las expectativas del cliente (lo que quiere) y sus percepciones (lo que obtiene) después de recibir un servicio (Bustamante, 2015; Jain y Aggarwal, 2017; Lai y Nguyen, 2017). Por un lado, cuando una empresa cumple con las expectativas del cliente, se consolida la “satisfacción del cliente” (Murali y col., 2016). Por otro lado, cuando un cliente se encuentra en un estado de “satisfacción del cliente” tiende a repetir su comportamiento de compra, generando un estado de “lealtad del cliente” (Ahrholdt y col., 2017). Por tanto, la satisfacción y lealtad del cliente mantienen un vínculo fuerte.

La lealtad del cliente constituye uno de los mejores indicadores para medir el éxito (Nyadzayo y Knajehzadeh, 2016) y rentabilidad de una empresa (Sandada y Matibiri, 2016; Srivastava y Rai, 2018). Se considera que incrementar un 5 % la tasa de lealtad del cliente posibilita que las utilidades puedan aumentar entre 25 % a 45 % (Srivastava y Rai, 2013; Sandada y Matibiri, 2016). Entonces, al compatibilizar con el cliente se obtiene su satisfacción y se elevan las utilidades para la empresa. Al respecto, estudios previos señalan que atraer un nuevo cliente cuesta entre cinco y seis veces más que mantener a uno de la cartera actual (López y Díaz, 2012). En resumen, se puede interpretar que existe una relación entre cuatro conceptos: 1) calidad en el servicio, 2) satisfacción del cliente, 3) lealtad del cliente y 4) utilidades. Al incrementar el nivel de la calidad en el servicio aumentará el indicador de satisfacción del cliente (Kasiri y col., 2017; El-Adly, 2019). Por tanto, al elevar ambos indicado-

res, la lealtad del cliente se incrementará y por consecuencia aumentarán las utilidades (Azman y Gomiscek, 2015; Shah y Baloch, 2017). El conocer los requerimientos del cliente le permite a la empresa anticiparse para cumplir sus expectativas en la entrega de un servicio o un producto (Murali y col., 2016; Malhotra y col., 2018).

La calidad en el servicio y su relación con la satisfacción y lealtad del cliente, es un aspecto muy importante en la operación de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyME) (Aznar y col., 2016; Usman y col., 2019; Guatzoón y col., 2020). Estas ocupan un lugar preponderante en la economía tanto de los países emergentes como de los desarrollados (Ferreira-de-Araújo y col., 2019), representando más de la mitad del empleo formal a nivel mundial, y contribuyen en promedio entre 50 % y 60 % del Producto Interno Bruto (PIB) en los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2018). En Estados Unidos, las pymes producen 46 % del PIB y dan empleo a más de 58 millones de personas, de acuerdo con la Administración de Pequeños Negocios (SBA, por sus siglas en inglés: Small Business Administration) (SBA, 2017). En México, las pymes conforman un pilar fundamental en la economía nacional al generar 75 % del empleo, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015). Los criterios utilizados comúnmente para clasificarlas son los siguientes: número de trabajadores, total de ventas anuales, ingresos y activos fijos, entre otros (Banwo y col., 2017; INEGI, 2019). En México se clasifican, de acuerdo con el número de empleados: en micro, pequeña y mediana empresa, y según al sector económico al que pertenece: comercio, manufacturas y servicios (INEGI, 2019).

El ciclo de vida de una empresa tipo pyme puede ser muy corto. En Estados Unidos aproximadamente un 30 % fracasa durante los primeros dos años de vida, de acuerdo con información de la Oficina de estadísticas laborales (BLS, por sus siglas en inglés: Bureau of Labor Statistics) (BLS, 2016). En México, la probabili-

dad de que una pyme con sólo un empleado sobreviva el primer año es del 62 %, y con una esperanza de vida de aproximadamente 7.7 años (INEGI, 2015). Esto significa que su supervivencia constituye uno de sus principales retos, por lo que debe hacer todo lo posible para mantener a los clientes y llegar a una posición en la que ellos mismos divulguen comentarios positivos de la empresa (Salinas-Reyes y col., 2018). En las pymes supervivientes se identifican ciertos factores para mantener a la empresa rentable, tales como la satisfacción y lealtad del cliente por la prestación de un servicio o de un producto (Michna, 2018).

Algunos autores han estudiado la calidad en el servicio mediante los instrumentos *Servperf* (del inglés: Service Performance) y *Servqual* (del inglés: Service Quality), que se utilizan constantemente en este tipo de investigaciones (Ibarra-Morales y Casas-Medina, 2015; Nyadzayo y Knajehzadeh, 2016; Murali y col., 2016; Saleem y col., 2017; Palese y Usai, 2018; Shah y col., 2018). El modelo *Servperf* se conforma de los mismos ítems y dimensiones que utiliza *Servqual*, pero elimina la parte que hace referencia a las expectativas de los clientes (Cronin y col., 1994; Ibarra-Morales y Casas-Medina, 2015), enfocándose en la medición y evaluación de la percepción del cliente con respecto a la calidad en el servicio.

Kumar y Hundal (2019) evaluaron la calidad en el servicio de una empresa de servicios de energía solar, y encontraron que la brecha entre la expectativa y la percepción del cliente es mínima en las dimensiones de confiabilidad, responsabilidad, confianza y empatía. También, Lai y Nguyen (2017) estimaron la calidad en el servicio a usuarios de una empresa de telecomunicaciones, detectando que las dimensiones de empatía, confianza y aspectos tangibles son las que influyen fuertemente en la satisfacción del cliente. Por otro lado, Ibarra-Morales y Casas-Medina (2015) midieron la calidad en el servicio en una empresa de telefonía celular, y observaron que las dimensiones aspectos tangibles, confianza y empatía inciden fuertemente en la satisfacción del cliente.

Los comentarios sobre la satisfacción del cliente deben recopilarse regularmente, y si se usan correctamente pueden ser invaluable para construir relaciones y lealtad del cliente (Blut y col., 2015; Kasiri y col., 2017). Las empresas que no reúnen información sobre la calidad en el servicio, satisfacción y lealtad del cliente no saben si están en el camino correcto o dónde necesitan adaptar su oferta para satisfacer las necesidades de sus consumidores (Fourie, 2015). Lo anterior es importante para las pymes, ya que no se pueden permitir perder a sus clientes, por el alto costo que implica adquirir nuevos.

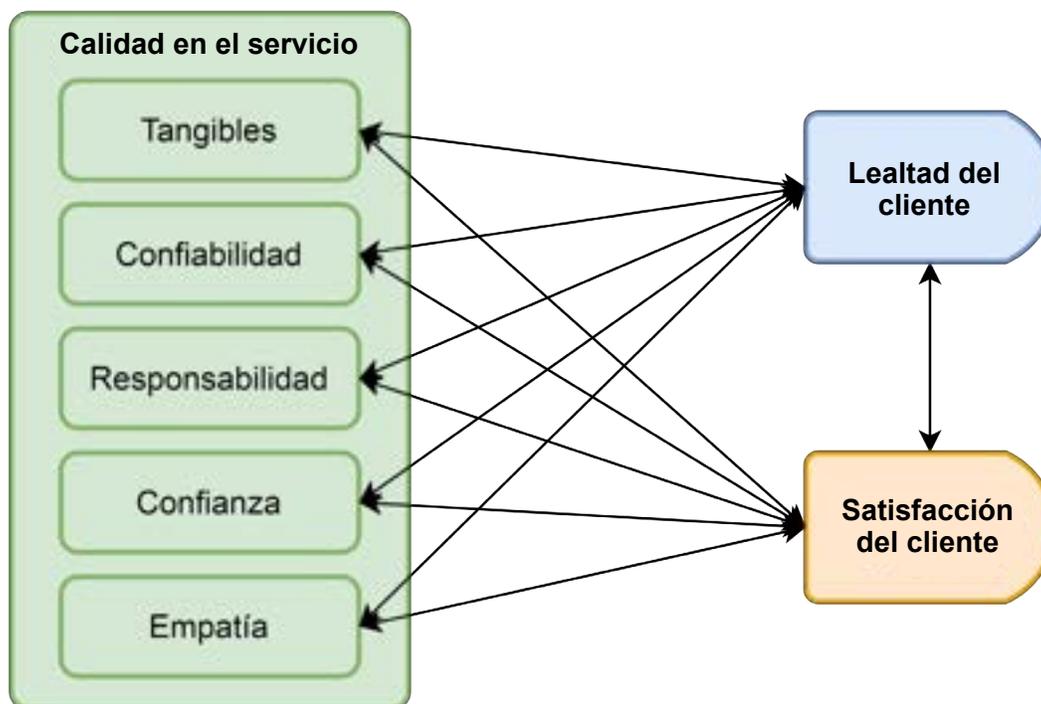
El objetivo de esta investigación fue identificar la percepción que tienen los clientes con respecto a la prestación del servicio de una empresa clasificada como pyme considerada líder en su ramo, evaluando la relación de la calidad en el servicio con la satisfacción y lealtad del cliente.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo del estudio se aplicó un método de investigación conocido como “Estudio de caso” (Yin, 2013). Un estudio de caso riguroso puede ser conducido con propósitos de exploración, descripción o explicación (Sarmiento y col., 2018). El enfoque propuesto en la presente investigación es de naturaleza exploratoria y descriptiva, además de exhibir un alcance correlacional, entre dos o más variables.

Se definió un modelo estructurado de investigación tal como se muestra en la Figura 1, en el que se presentan tres variables dominantes del estudio: calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente. Además, la calidad en el servicio se conforma de cinco dimensiones: tangibles, confiabilidad, responsabilidad, confianza y empatía (Guesalaga y Pitta, 2014), las cuales se consideran variables en este estudio.

La dimensión aspectos tangibles está representada por los elementos relacionados con la apariencia de los empleados y de la empresa. Eva-



■ **Figura 1. Variables que se estudian en el modelo de investigación.**
 Figure 1. Variables studied in the research model.

lúa la apreciación de los clientes, en primera instancia, con respecto al entorno físico de la organización, es decir, el equipo utilizado para prestar el servicio y el diseño de la construcción (Murali y col., 2016). La dimensión confiabilidad consiste en las capacidades de la empresa para cumplir de forma precisa y confiable con los servicios que ofrece y la disposición de los empleados para brindar el servicio (Zhang y Hou, 2013). La dimensión responsabilidad evalúa la atención de los empleados con respecto al deseo y voluntad de apoyar a los clientes, así como proporcionar un servicio rápido y eficiente (Nyadzayo y Khajehzadeh, 2016). La dimensión confianza considera la seguridad que los empleados transmiten a los clientes a través de los conocimientos y habilidades del servicio prestado, además de la cortesía en la atención, aspecto profesional, competencia técnica y comportamiento interpersonal (Murali y col., 2016). Finalmente, la dimensión empatía se vincula con el cuidado y atención personalizada que la empresa proporciona, considerando aspectos co-

mo horarios de servicio y políticas de atención al cliente (Zhang y Hou, 2013).

Recopilación de datos

El estudio de caso se llevó a cabo en una empresa del ramo papelerero, con más de 30 años de operación en Ciudad Victoria, Tamaulipas, considerada líder en la distribución y servicio de papelería y artículos de oficina, que se caracteriza por ofrecer precios de mayoreo para el público en general. Además, ha incorporado artículos de electrónica, cómputo y consumibles para equipo de cómputo. La empresa se clasifica dentro del tipo pyme como mediana empresa del sector comercio (SE, 2009), por el total de empleados, que son 93, y por el monto de ventas anuales, considerando las de 2019. En la primera entrevista con el gerente se identificaron las siguientes características de la empresa: 1) el modelo de negocio implementado opera como proveedor mayorista para un grupo de pymes del mismo giro comercial en la región y un área de ventas para atención exclusiva a empresas, así

como la venta directa en mostrador; 2) crecimiento regional (en los últimos 5 años), es decir, apertura de sucursales en las ciudades del estado con mayor población; 3) competitividad local, considerando una estructura organizacional basada en un plan de crecimiento y procesos definidos para la operación del negocio; 4) ventas con enfoque de comercio electrónico y de servicio de entrega a domicilio.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un cuestionario conformado por tres secciones y 34 ítems en total (Tabla 1). La primera sección consta de 5 ítems que tienen como objetivo identificar los datos demográficos básicos de los encuestados. La segunda se compone de 22 ítems que permiten conocer la experiencia de los clientes con respecto a la clase de servicio que le proporciona la empresa. La tercera está integrada por 7 ítems cuyo objetivo es valorar la satisfacción y lealtad del cliente con respecto a la prestación del servicio (Tabla 1). La segunda y tercera sección del cuestionario se construyeron utilizando una escala Likert, que se conforma de 5 puntos para medir la percepción del cliente. El valor menor en la escala corresponde a “Muy en desacuerdo” y el punto más alto indica “Muy de acuerdo”.

La segunda sección habilita la recopilación de información de la variable calidad en el servicio, basada en el modelo *Servperf* para la valoración del desempeño (Cronin y col., 1994), el cual se fundamenta en el modelo *Servqual* (Parasuraman y col., 1988). La tercera sección permite evaluar las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente. Esta sección se

conforma de 3 ítems para recolectar percepciones relacionadas con la primera variable y 4 ítems para la segunda (Tabla 2). Los ítems de la variable lealtad del cliente se basan en la investigación realizada por Shi y col. (2014). Los ítems definidos para la variable satisfacción del cliente se basan en el modelo del Índice de Satisfacción del Cliente Estadounidense (ACSI, por sus siglas en inglés: American Customer Satisfaction Index) (ACSI, 2018). El puntaje de ACSI se actualiza trimestralmente y considera datos de 10 sectores económicos y 46 industrias.

Para el diseño y la aplicación del instrumento (segunda y tercera sección) se realizó su traducción del idioma inglés a español, ajustando los ítems al contexto de aplicación (en la Tabla 2 se muestran los ítems contenidos en el instrumento). Se validó la traducción con un especialista en el idioma inglés, con conocimiento en el tema de investigación; no se realizó prueba piloto en el proceso de aplicación del cuestionario y no fue necesario realizar cambios en la redacción de las preguntas o estructura de las respuestas, a excepción de la primera sección de datos demográficos, en la que se tomaron los aportados por la dirección general.

Condiciones del muestreo

A la dirección general de la empresa analizada en el presente trabajo, se le hizo el planteamiento verbal del objetivo, propósito, alcance y utilidad del estudio. A continuación, de forma conjunta, el director general y los investigadores revisaron el contenido de cada una de las secciones que integran el instrumento.

■ **Tabla 1. Estructura del cuestionario.**

Table 1. Questionnaire structure.

	Datos generales		Percepción del cliente	
	Sección I	Sección II	Sección III	
	Perfil socioeconómico	Calidad en el servicio	Satisfacción del cliente	Lealtad del cliente
Ítems	5	22	3	4

■ **Tabla 2. Ítems contenidos en el instrumento utilizando en el estudio.**
 Table 2. Items contained in the instrument used in the study.

Sección	Ítem
Tangibles	6. Los equipos que se utilizan dentro de la papelería son modernos
	7. Las instalaciones en la papelería son visualmente atractivas
	8. Los empleados de la papelería tienen buena presentación
	9. La papelería está ordenada y limpia
Confiabilidad	10. Se cumplen con los tiempos de espera cuando solicita algún servicio dentro de la papelería
	11. Cuando usted tiene un problema el personal muestra interés genuino en resolverlo
	12. Los trabajadores proporcionan un buen servicio a la primera
	13. La atención al cliente dentro de la papelería se realiza en un tiempo razonable
Responsabilidad	14. Se esfuerzan para no cometer errores en el servicio
	15. El cliente sabe exactamente el tiempo en que tardarán en proporcionar el servicio
	16. El servicio en la papelería con relación al número de clientes es relativamente rápido
	17. Los trabajadores de la papelería siempre están dispuestos a proporcionar ayuda
Confianza	18. Los trabajadores de la papelería atienden las solicitudes de los clientes rápidamente
	19. Los trabajadores inspiran confianza a los clientes
	20. Te sientes seguro y tranquilo cuando interaccionas con los trabajadores de la papelería
	21. Los empleados son educados y corteses
Empatía	22. Los empleados de la papelería están capacitados
	23. La papelería brinda atención personalizada
	24. Los trabajadores de la papelería brindan atención personal
	25. Los trabajadores de la papelería atienden sus necesidades específicas
	26. Los trabajadores muestran interés genuino para atender
Satisfacción del cliente	27. Las horas de servicio que la papelería ofrece son adecuadas
	28. En general me encuentro satisfecho con el servicio que la papelería brinda
	29. La atención que brinda la papelería excede mis expectativas
Lealtad del cliente	30. El servicio en la papelería excede mis expectativas
	31. Tengo la intención de continuar asistiendo a la papelería en los próximos años
	32. Voy a recomendar la papelería a aquellas personas que me pregunten mi opinión
	33. Voy a decir cosas positivas de la papelería
	34. Prefiero acudir a esta papelería aun si otra papelería ofreciera el mismo trato o servicio

Posteriormente, el director autorizó la asignación de un espacio dentro de las instalaciones de la empresa (matriz) cercano al área de “cajas”, a fin de que el cliente encontrara un ambiente cómodo y agradable al recibir la propuesta para participar en el estudio y responder el instrumento.

Un total de 129 cuestionarios fueron aplicados del 10 al 28 de junio de 2019, con una tasa de participación de aproximadamente 25 %, consultándose en total a 516 clientes. El levantamiento del cuestionario se llevó a cabo por medio de 2 encuestadores previamente capacitados, de lunes a viernes en 3 horarios: de

9:00 a 11:00 a. m., de 1:00 a 3:00 p. m. y de 5:00 a 7:00 p. m. Los encuestadores invitaron a los clientes a participar en la encuesta después de concluir su proceso de compra. A los que aceptaron participar en el estudio se les proporcionó el cuestionario en formato impreso y los encuestadores solamente apoyaron en caso de que se presentara alguna duda sobre los ítems o su llenado.

Análisis estadístico

Con la finalidad de verificar la confiabilidad de la información recopilada, se calculó el coeficiente alfa de Cronbach para las tres variables de la investigación y para las dimensiones de la variable calidad en el servicio. Posteriormente, el análisis estadístico de los datos se llevó a cabo a través del cálculo de la matriz de correlación basada en el coeficiente de Spearman, la cual permite identificar la asociación entre las variables. En este caso, se utilizó el coeficiente de Spearman debido a la distribución no paramétrica de la que proceden los datos de la muestra.

Además del análisis mencionado, se consideró necesario llevar a cabo un planteamiento en términos de proporción de variabilidad explicada y no explicada. Lo anterior, debido a que permite distinguir claramente la magnitud de la relación que existe en cada dimensión de la calidad en el servicio con respecto a las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente.

Adicionalmente, con el objetivo de conocer la relación entre las variables satisfacción del cliente, lealtad del cliente y calidad en el servicio, así como de un conjunto de variables explicativas (dimensiones de calidad en el servicio), se realizó un análisis factorial utilizando el análisis de componentes principales y la rotación ortogonal varimax mediante el *software* estadístico SPSS versión 25. Antes de realizar el análisis factorial se determinó si los ítems (variables) se encontraban suficientemente interrelacionados, para lo cual se empleó la prueba de esfericidad de Bartlett y la medida de adecuación muestral Kaiser-Mayer-

Olkin (KMO). Se realizó un análisis factorial para obtener la matriz de comunalidades, varianza total explicada y la matriz de componentes rotados. A través de la matriz de comunalidades se obtuvo la proporción de varianza de las variables explicada por los factores comunes. La varianza total explicada permitió determinar el número de factores significativos en el estudio. Se utilizó la matriz de componentes rotados para obtener una estructura simple óptima, en la que cada variable participe en la menor cantidad de factores posibles, pero maximice el número de cargas altas en cada variable. Con base en las tres pruebas mencionadas se obtuvieron los nombres de los componentes a partir de la composición de las variables iniciales, y se describieron los puntajes de las cargas factoriales que conforman cada uno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los encuestados (clientes) que respondieron el instrumento corresponden en un 56.6 % al género femenino. En los datos de escolaridad destacan los niveles de licenciatura y preparatoria, con 63.6 % y 20.2 %, respectivamente. Los niveles de secundaria y de posgrado tienen una frecuencia de 8 clientes en cada nivel (6.2 % para cada uno) y los clientes con nivel de educación primaria representan un 3.8 % de la muestra.

En la Tabla 3 se muestran los valores generados para el coeficiente alfa de Cronbach. Se observó que el valor menor corresponde a la variable lealtad del cliente, con 0.886, y para las variables de calidad en el servicio y satisfacción del cliente pertenecen los valores superiores, con 0.906 y 0.907 cada una. Las puntuaciones más altas del coeficiente se obtuvieron al evaluar individualmente las dimensiones que integran la calidad en el servicio, con valores que oscilan entre 0.913 y 0.922. Los valores presentados del coeficiente alfa de Cronbach demuestran que existe una consistencia interna en todas las variables y en las dimensiones de la variable calidad en el servicio. Además, se comprobó que la escala del cuestionario tiene una confiabilidad importan-

■ **Tabla 3. Coeficiente de alfa de Cronbach.**
 Table 3. Cronbach's alpha coefficient.

Dimensión	Núm. ítems	Alfa de Cronbach	
Calidad en el servicio	22		0.906
Tangibles	4	0.918	
Confiabilidad	5	0.913	
Responsabilidad	4	0.919	
Confianza	4	0.917	
Empatía	5	0.922	
Satisfacción del cliente	3		0.907
Lealtad del cliente	4		0.886

te, debido a que los valores del alfa de Cronbach son superiores a 0.700 (Hair ycol., 2014).

En la Tabla 4 se muestra la matriz de correlación basada en el coeficiente de Spearman. Al analizar la información, a nivel general, se aprecia que existe una correlación altamente significativa, positiva y fuerte entre la variable calidad en el servicio y las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente, con valores de r de 0.820 y 0.803, respectivamente. Además, entre las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente se observa que mantienen una relación aún más estrecha, al obtener una r de 0.827. Por su parte, en las dimensiones que integran la calidad en el servicio con respecto a la variable de satisfacción del cliente se observa, en todos los casos, la existencia de una correlación positiva, con valores de r que oscilan entre 0.684 y 0.910. Esta variable presenta una relación fuerte y positiva con la dimensión de aspectos tangibles, mientras que con el resto de las dimensiones mantiene una relación moderada.

Por otro lado, al analizar el escenario de la calidad en el servicio con respecto a la variable lealtad del cliente, se identifica una tendencia general, similar a lo que se muestra en la in-

terpretación de los resultados ante la variable de satisfacción del cliente. En todas las dimensiones se aprecia la existencia de una correlación positiva, con valores de r que oscilan entre 0.673 y 0.919. Al igual que en la variable satisfacción del cliente, resalta la dimensión de aspectos tangibles, con una relación fuerte y positiva, y con las otras dimensiones mantienen una relación moderada.

Con apoyo de la variabilidad explicada, se confirmó para ambos casos su validez, al interpretarse que existe una incidencia de la satisfacción del cliente de 67 %, y de 64 % en la lealtad del cliente a partir del nivel de la prestación de la calidad en el servicio (Tabla 5). Los aspectos tangibles inciden con un 83 % sobre la percepción de la satisfacción del cliente. Las dimensiones de confiabilidad, confianza y empatía inciden con 58 %, 56 % y 53 %, respectivamente. Por su parte, la dimensión de responsabilidad es representada con el porcentaje menor de 47 %. En cuanto al grado de correlación sobre la lealtad del cliente, destacan igualmente los aspectos tangibles, con un 84 %, y las dimensiones de confianza y confiabilidad intercambian su posición en relación con su evaluación anterior, con 58 % y 57 %, respectivamente. En la dimensión empatía se presentó una asociación de un 48 %, y para la dimensión de responsabilidad con 45 %, que es el menor valor.

La dimensión aspectos tangibles ocupa un papel estratégico en la determinación de los niveles de satisfacción del cliente y lealtad del cliente, debido a que comparten un elevado porcentaje de información y variabilidad entre sí, 83 % y 84 % cada una (Tabla 5). Además, la diferencia existente entre el valor más alto y bajo de ambas variables corresponde a 36 % y 39 %, en el mismo orden. Por tanto, de acuerdo con los métodos estadísticos, se confirma que los elementos relacionados con la apariencia de las instalaciones de la empresa, del personal, del equipo, así como del material involucrado en la prestación del servicio constituyen aspectos altamente valorados en el proceso de la evaluación de los clientes. Tal

■ Tabla 4. Matriz de correlación de Spearman.

Table 4. Spearman correlation coefficient.

Variable	Calidad en el servicio	Satisfacción del cliente	Lealtad del cliente	Tangibles	Confiabilidad	Responsabilidad	Confianza	Empatía
Calidad en el servicio	1	0.820**	0.803**	0.891**	0.918**	0.892**	0.874**	0.867**
Satisfacción del cliente	0.820**	1	0.827**	0.910**	0.764**	0.684**	0.751**	0.731**
Lealtad del cliente	0.803**	0.827**	1	0.919**	0.756**	0.673**	0.763**	0.690**
Tangibles	0.891**	0.910**	0.919**	1	0.801**	0.715**	0.812**	0.732**
Confiabilidad	0.918**	0.764**	0.756**	0.801**	1	0.812**	0.728**	0.768**
Responsabilidad	0.892**	0.684**	0.673**	0.715**	0.812**	1	0.758**	0.720**
Confianza	0.874**	0.751**	0.763**	0.812**	0.728**	0.758**	1	0.740**
Empatía	0.867**	0.731**	0.690**	0.732**	0.768**	0.720**	0.740**	1

■ Tabla 5. Proporción de variabilidad explicada y no explicada.

Table 5. Proportion of explained and unexplained variance.

Variable	Variabilidad explicada		Variabilidad no explicada	
	Satisfacción del cliente	Lealtad del cliente	Satisfacción del cliente	Lealtad del cliente
Calidad en el servicio	67 %	64 %	33 %	36 %
Tangibles	83 %	84 %	17 %	16 %
Confiabilidad	58 %	57 %	42 %	43 %
Confianza	56 %	58 %	44 %	42 %
Empatía	53 %	48 %	47 %	52 %
Responsabilidad	47 %	45 %	53 %	55 %

pareciera que, al conceder una calificación superior sobre dichos aspectos, el cliente supone que obtiene, por añadidura, otra serie de aspectos que influyen de forma positiva en el funcionamiento de la empresa durante el proceso de la prestación del servicio.

Las variables satisfacción del cliente y lealtad del cliente, en términos de la variabilidad no explicada, se muestran en el lado derecho de la Tabla 5, identificándose que la dimensión

responsabilidad presenta los porcentajes más altos, con 53 % y 55 % en cada variable. Existe una contundente distancia, en la proporción de variabilidad no explicada, entre los aspectos tangibles con el resto de las dimensiones. Una situación interesante radica en el hecho de que la dimensión aspectos tangibles, es la única en el instrumento utilizado, de calidad en el servicio, que pone a consideración del cliente exclusivamente situaciones tangibles. Esto es en virtud de su naturaleza, es más evi-

dente percibir, apreciar y valorar a esta que al resto de las dimensiones.

La desproporción en los resultados, presentados en la Tabla 5, permite identificar una tendencia en el criterio utilizado por los clientes cuando se les solicita evaluar el nivel de la calidad durante la prestación de un servicio. En dicha tendencia se observó que las dimensiones están clasificadas en tres secciones, de acuerdo con el nivel de importancia asignado. En la primera sección, con un nivel de importancia alta, solamente están contemplados los aspectos tangibles. Con un grado de importancia moderada se agrupan las dimensiones de confianza, empatía y confiabilidad. Por último, con un nivel de importancia baja se encuentra la dimensión de responsabilidad, estimada por el tiempo de atención al cliente y la rapidez del servicio. Dicha situación afecta la percepción del cliente con respecto a la responsabilidad de los empleados de la empresa. Lo anterior, con base en la evaluación del cliente, constituye un aspecto relevante en la calidad en el servicio.

El comportamiento de una variable suele relacionarse con el comportamiento de un conjunto de variables (Tomaz-de-Aquino y col., 2018), permitiendo responder algunas preguntas relacionadas con el estudio planteado. Cabe mencionar que en esta sección, los 29 ítems que conforman el instrumento de investigación se denominan variables, pero siguiendo el mismo enfoque de dimensiones y aspectos relacionados con la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente. En la Tabla 6 se presenta la prueba de esfericidad

■ **Tabla 6. KMO y prueba Bartlett.**

Table 6. KMO and Bartlett's test.

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin		0.920
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	3 551.977
	Df	406
	Sig.	0.000

de Bartlett ($P < 0.000$), con una medida de adecuación muestral de $KMO = 0.920$, lo que confirma que los datos son adecuados para el tamaño de la muestra. Por tanto, se puede realizar un análisis factorial (Hancock y col., 2018) para la identificación del número de componentes y evaluación de su validez.

En la Tabla 7 se muestra la matriz de comunalidades, que expresa la proporción de varianza explicada por el conjunto de factores co-

■ **Tabla 7. Matriz de comunalidades.**

Table 7. Communalities matrix.

	Variable	Inicial	Factor de extracción
1	TAN06	0.651	0.662
2	TAN07	0.680	0.679
3	TAN08	0.655	0.569
4	TAN09	0.653	0.622
5	CON10	0.692	0.569
6	CON11	0.741	0.638
7	CON12	0.474	0.235
8	CON13	0.744	0.661
9	CON14	0.664	0.555
10	RES15	0.709	0.531
11	RES16	0.778	0.687
12	RES17	0.876	0.826
13	RES18	0.871	0.833
14	CONF19	0.738	0.622
15	CONF20	0.802	0.749
16	CONF21	0.832	0.850
17	CONF22	0.838	0.820
18	EMP23	0.772	0.748
19	EMP24	0.565	0.464
20	EMP25	0.765	0.619
21	EMP26	0.702	0.689
22	EMP27	0.838	0.764
23	SAT28	0.869	0.824
24	SAT29	0.835	0.758
25	SAT30	0.847	0.729
26	LEA31	0.803	0.640
27	LEA32	0.921	0.903
28	LEA33	0.905	0.899
29	LEA34	0.593	0.514
Método de extracción: Máxima verosimilitud			

TAN = Tangibles; CON = Confiabilidad; RES = Responsabilidad; CONF = Confianza; EMP = Empatía; SAT = Satisfacción del cliente; LEA = Lealtad del cliente.

munes resultantes. Por un lado, las variables LEA32 y LEA33 son las mejor explicadas por el conjunto de factores retenidos; en ambos casos, la varianza explicada supera un 89 %. Por otro lado, CON12 y EMP24 presentan las menores proporciones de varianza explicada por los factores, con un 0.235 y 0.464, respectivamente.

En la Tabla 8 se muestra la varianza total explicada, la cual permite realizar un análisis con mayor detalle estadístico. En la sección de la tabla “Valores propios iniciales – Initial Eigenvalues” se puede observar el “valor propio total”, que es la parte de la varianza de las variables inicialmente consideradas que explican cada uno de los factores del análisis factorial

■ **Tabla 8. Varianza total explicada.**
Table 8. Total variance explained.

Factor	Valores propios iniciales <i>Initial Eigenvalues</i>			Extracción de las sumas de cargas al cuadrado			Rotación de las sumas de cargas al cuadrado		
	Total	% de la varianza	% acumulado de la varianza	Total	% de la varianza	% acumulado de la varianza	Total	% de la varianza	% acumulado de la varianza
1	15.917	54.886	54.886	15.535	53.570	53.570	4.726	16.296	16.296
2	1.825	6.293	61.179	1.474	5.082	58.652	4.524	15.602	31.898
3	1.391	4.796	65.975	1.038	3.578	62.230	3.765	12.982	44.880
4	1.158	3.992	69.967	0.884	3.047	65.277	3.585	12.361	57.242
5	1.086	3.746	73.713	0.728	2.510	67.787	3.058	10.545	67.787
6	0.883	3.046	76.759						
7	0.721	2.488	79.247						
8	0.623	2.147	81.393						
9	0.619	2.135	83.528						
10	0.514	1.772	85.300						
11	0.469	1.617	86.917						
12	0.437	1.506	88.423						
13	0.428	1.474	89.897						
14	0.353	1.216	91.113						
15	0.311	1.071	92.184						
16	0.283	0.974	93.158						
17	0.258	0.891	94.049						
18	0.244	0.841	94.890						
19	0.230	0.792	95.681						
20	0.208	0.718	96.399						
21	0.195	0.671	97.070						
22	0.169	0.583	97.653						
23	0.150	0.517	98.170						
24	0.139	0.478	98.648						
25	0.118	0.405	99.053						
26	0.094	0.326	99.379						
27	0.078	0.268	99.647						
28	0.066	0.227	99.873						
29	0.037	0.127	100.00						

Método de extracción: Máxima verosimilitud

exploratorio. El valor propio expresa la cantidad de la varianza total que está explicada por un factor, por ejemplo, el “Factor 1” de la Tabla 8 expresa 15.917 de varianza, lo cual representa un 54.886 % de la varianza total. El valor propio es superior a 1.000 en los 5 primeros casos, lo que significa que, cada uno de estos factores explicaría la varianza de más de una variable del estudio. Es decir, el análisis asume que las 29 variables originales se pueden reducir a 5 factores subyacentes. También se puede apreciar que el “porcentaje de la varianza” alcanza su máximo valor en el primer factor, es decir, este factor explica 54.886 % de la varianza total del modelo; y del segundo al quinto factor la varianza acumulada alcanza un 73.713 %. Es decir, cuando se supone que existen estos 5 factores, se puede predecir el 73.713 % de la información en las 29 variables. Es de notarse que los factores en la Tabla 8 se ordenan de manera descendente, donde se observa que la varianza del modelo es menos explicada por los factores que se ubican en la parte final.

La matriz de componentes rotados, que se muestra en la Tabla 9, permite una mayor discriminación de las variables con respecto a los componentes. El proceso de rotación facilita la interpretación de las asociaciones entre variables y los componentes, al permitir que las variables fuertemente correlacionadas presenten pesos factoriales elevados y las variables con una correlación menor obtengan pesos factoriales bajos. El resultado contenido en la matriz de componentes rotados condujo a 28 variables (se eliminó la variable CON12) con una extracción de 5 componentes (coincidente con la varianza total explicada) convergiendo en 10 iteraciones. También se observa en la Tabla 9 que la mayoría de las variables del componente 1 muestran pesos factoriales superiores a 0.500, con excepción de las variables CON11, CON14 y LEA34, que registran un valor ligeramente inferior. En el componente 2 (Tabla 9), las variables presentan pesos factoriales elevados en todos los casos, destacando la variable CONF21, con un peso de 0.805. Este comportamiento es similar para los componentes 3,

■ **Tabla 9. Matriz de componentes rotados.**

Table 9. Rotated component matrix.

	Variable	Componente				
		1	2	3	4	5
1	RES17	0.692				
2	RES16	0.687				
3	CON13	0.634				
4	RES18	0.633				
5	CON10	0.587				
6	RES15	0.574				
7	CON11	0.465				
8	CON14	0.435				
9	LEA34	0.433				
10	CONF21		0.805			
11	CONF22		0.706			
12	CONF20		0.615			
13	CONF19		0.599			
14	EMP27		0.567			
15	EMP25		0.544			
16	LEA33			0.739		
17	LEA32			0.714		
18	SAT28			0.624		
19	LEA31			0.578		
20	SAT29			0.535		
21	EMP26				0.669	
22	EMP23				0.664	
23	EMP24				0.534	
24	SAT30				0.514	
25	TAN6					0.727
26	TAN7					0.701
27	TAN9					0.655
28	TAN8					0.522

Método de extracción: Máxima verosimilitud
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser

a. Rotación convergente en 10 iteraciones.

TAN = Tangibles; CON = Confiabilidad; RES = Responsabilidad; CONF = Confianza; EMP = Empatía; SAT = Satisfacción del cliente; LEA = Lealtad del cliente.

4 y 5, con valores de pesos factoriales elevados y únicamente con variaciones en la cantidad de variables que componen el componente. La variable CON12 no se incluye en la matriz de componentes rotados, debido a que no converge en ningún componente. Esta va-

riable obtiene una carga o peso factorial de 0.304, el cual es un valor alejado del resto de los componentes. Además, el punto de corte mínimo recomendado en el análisis factorial es una carga de 0.40 (Yong y Pearce, 2013). Con el fin de confirmar la no convergencia de la variable CON12, se ejecutó por segunda ocasión el análisis factorial considerando 28 variables (excluyendo la variable CON12), obteniendo un resultado similar en la matriz de componentes rotados con 5 componentes conformados por las mismas variables, carga factorial y convergencia en 10 iteraciones, lo cual valida que la variable CON12 no afecta en la convergencia de los componentes.

La rotación realizada permite incrementar de manera óptima las saturaciones de las variables sobre los componentes. Entonces, se puede inferir la existencia de cinco patrones subyacentes al conjunto de 29 variables (ítems) introducidos inicialmente en el análisis factorial exploratorio, mismos que pueden exponerse de la siguiente forma:

Componente 1. Denominado responsabilidad-confiabilidad, porque agrupa a todas las variables de la dimensión responsabilidad y 80 % de las variables de la dimensión confiabilidad. Lo que indica que el cliente percibe la responsabilidad que los empleados transmiten y la vincula con la confiabilidad del servicio prestado.

Componente 2. Identificado como confianza-empatía, debido a que se compone de todas las variables de la dimensión confianza y 40 % de las variables de la dimensión empatía. La característica de este componente se centra en que las variables EMP25 y EMP27 están fuertemente relacionadas con las variables de la dimensión confianza. Lo anterior, en virtud de que buscan determinar si el cliente identifica en los empleados las habilidades y profesionalismo con que lo atienden, en relación con el servicio requerido.

Componente 3. Llamado lealtad-satisfacción, se conforma por 75 % de las variables de leal-

tad del cliente y por 67 % de satisfacción del cliente. Los indicadores de este componente tienen que ver con la intención de que el cliente regrese a adquirir un producto o servicio a la empresa, así como recomendar y hacer comentarios positivos de la misma. Además de la satisfacción por el servicio o producto adquirido, las expectativas fueron superadas mediante el servicio.

Componente 4. Denominado empatía-satisfacción, se conforma por 60 % de las variables de la dimensión empatía y por 33 % de las variables de satisfacción del cliente. Se relaciona con la empatía que muestran los empleados hacia los clientes durante la prestación del servicio, aspectos tales como asistencia personalizada, horarios de atención, interés por atender al cliente o por superar el nivel de servicio esperado.

Componente 5. Identificado como tangibles, debido a que únicamente se integra por las cuatro variables de la dimensión de aspectos tangibles. Este componente se relaciona con el aspecto visual que el cliente identifica en la empresa, destacando las instalaciones o infraestructura, equipo y tecnología utilizados para prestar el servicio, así como la formalidad y vestimenta de los empleados.

En este sentido, al revisar el coeficiente de correlación entre las variables responsabilidad-confiabilidad (Tabla 4) se observó una relación altamente significativa, positiva y fuerte, con un valor de r de 0.812. En forma similar, la asociación entre las variables lealtad-satisfacción, con un valor de r de 0.827. Con respecto al coeficiente de correlación entre las variables confianza-empatía, se identificó un valor de r de 0.740. También en la asociación empatía-satisfacción se aprecia una relación positiva alta, con un valor de r de 0.731.

Lo anterior es coincidente con la existencia de cinco factores críticos identificados en la varianza total explicada y en la matriz de componentes rotados. Estos resultados se pueden considerar como un punto de referencia para

evaluar el grado de competitividad en términos del servicio proporcionado por las pequeñas y medianas empresas a sus clientes, considerando las limitaciones del estudio presentado y el contexto de aplicación.

Los resultados obtenidos se pueden comparar con trabajos previos del tema de investigación. Ibarra-Morales y Casas-Medina (2015) midieron la calidad en el servicio otorgado, a través de la percepción de los clientes. Aplicaron un instrumento basado en el modelo *Servperf*, considerando las 5 dimensiones, con valores en el coeficiente alfa de Cronbach entre 0.806 y 0.898, con una varianza total explicada utilizando el método varimax, de 74.49 % en el primer factor. En el presente estudio los valores de alfa de Cronbach fueron más altos, entre 0.913 y 0.922; y la varianza total explicada fue de 54.88 % en el primer factor. No obstante que la varianza total explicada de este trabajo es inferior a la reportada por los autores aludidos, en el segundo factor alcanza un 61.17 %, lo cual supera el criterio mínimo (60 %) recomendado en la literatura (Hair y col., 2014), con un porcentaje de varianza total explicada de 73.71 % en cinco factores con valor propio total superior a 1. Con respecto al coeficiente de correlación calculado para las 5 dimensiones, los resultados de este estudio concuerdan con Ibarra-Morales y Casas-Medina (2015) en la asociación entre las dimensiones aspectos tangibles, confiabilidad, responsabilidad y confianza. Sin embargo, la correlación entre empatía y confiabilidad observada en dicho trabajo no coincide con la relación fuerte identificada entre las variables de empatía y confianza en la presente investigación. Estos autores también observaron que las dimensiones aspectos tangibles, confianza y empatía intervienen en un 81.4 % en la satisfacción del cliente pero las dimensiones de confiabilidad y responsabilidad afectan en forma considerable la percepción del cliente con respecto al servicio prestado por la empresa. La dimensión de confiabilidad es la que menos aporta a la satisfacción del cliente, con un 76 %, relacionada con el interés que los empleados muestran para realizar su trabajo en forma rápida y preci-

sa, así como la aptitud para resolver los problemas expuestos por los clientes. En el presente trabajo la dimensión tangible contribuye un 83 % en la satisfacción del cliente, porcentaje similar al de la lealtad del cliente, mientras que la dimensión de responsabilidad es la que menos aporta a la satisfacción del cliente, con un 47 %.

Por otro lado, Kumar y Hundal (2019), mediante un análisis factorial, obtuvieron en su investigación un valor del coeficiente de alfa de Cronbach de 0.827, considerando los 22 ítems del enfoque *Servqual* para medir la calidad en el servicio de una empresa de energía solar, cuyos principales clientes son de zonas rurales; y reportaron un valor de 0.842 en la medida de adecuación muestral KMO. Los dos valores fueron más bajos que los del presente estudio. Además, la varianza total explicada se conforma de 5 factores con un valor de 82.74 %, donde el primer factor alcanza solo un 25.56 % de la varianza total y se requieren de 3 factores para superar el 50 % de la varianza total explicada. En el presente trabajo, el valor de la varianza explicada de el primer factor explica una cantidad significativamente mayor de la varianza. Este porcentaje acumulado de la varianza explicada en el primer factor sugiere un buen ajuste de la solución del componente. Por otro lado, los autores mencionados, también encontraron en su investigación que la brecha entre la expectativa y la percepción del cliente es mínima en las dimensiones de confiabilidad, responsabilidad, confianza y empatía; por ejemplo, en la dimensión de responsabilidad se encontró un 80.44 % de satisfacción del cliente, por la capacidad de respuesta que encontraron en la empresa. Sin embargo, en la dimensión de aspectos tangibles observaron una brecha muy alta entre la expectativa y percepción, solo un 56.66 % de los clientes percibe que se cumplen expectativas. Los ítems que se incluyeron en el instrumento para evaluar la dimensión de tangibilidad se relacionan con el diseño moderno de los productos de energía solar, el estado de las instalaciones de la empresa, la funcionalidad de las instalaciones del

área de ventas y atención a clientes, la variedad de productos y el rendimiento de los productos solares. También, en la matriz de componentes rotados, estos autores utilizaron un método de extracción de análisis de componentes principales; los componentes se conforman por las variables de cada dimensión con cargas factoriales superiores a 0.6 en el siguiente orden: confiabilidad, responsabilidad, confianza, empatía y tangibles. Los resultados obtenidos en la matriz de componentes rotados coinciden con el presente trabajo en la conformación del cuarto y del quinto componente.

Lai y Nguyen (2017) realizaron un análisis factorial similar al de este trabajo, pero aplicado en un estudio para evaluar la calidad en el servicio de los proveedores de telecomunicaciones. Los resultados estadísticos siguen la misma tendencia que los de la presente investigación, pero con un porcentaje acumulado de la varianza menor en los primeros cinco casos. En forma similar, concluyen que la calidad del servicio impactó positivamente en la satisfacción del cliente, toda vez que las dimensiones de empatía, confianza y aspectos tangibles fueron las que influyeron fuertemente en un 75.33 %, en la satisfacción del cliente. Lo anterior indica que cuando las compañías de telefonía móvil brindan una buena calidad de servicio, la satisfacción del cliente puede mejorarse. Por otro lado, las dimensiones de confiabilidad y responsabilidad tienen una percepción muy baja (69 %) con respecto a las expectativas del cliente.

En el presente estudio se pudo comprobar que los clientes que evaluaron la calidad en el servicio de la empresa papelera analizada se sintieron satisfechos y mostraron lealtad a la pyme, al percibir buena atención, por lo que se puede sugerir que la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa dependen de la calidad del servicio.

Las limitaciones de este trabajo incluyen el sesgo de los encuestados, que puede afectar el resultado en lo que respecta a los datos colectados. También, que la encuesta se aplicó

solamente en el edificio matriz de la empresa (establecimiento con el volumen de ventas más alto dentro de la organización). Debido a los sesgos de los encuestados, los resultados pueden no ser los mismos para todos los demás establecimientos (sucursales) de la empresa. Además, la encuesta se realizó únicamente en Ciudad Victoria y el tamaño de la muestra es solo de 129 encuestados, por lo que es posible que no refleje un panorama más amplio. En un estudio futuro es recomendable considerar no solo la venta directa en mostrador, también se deben incluir los clientes (normalmente empresas) que efectúan compras mediante el servicio por teléfono o por sistemas de comercio electrónico con entrega a domicilio, así como las ventas a distribuidores y no solo las directas al público. Por otro lado, es importante considerar el giro comercial, dedicado a la venta de artículos de oficina y papelería, clasificada en una estratificación de mediana empresa dentro las pymes, de acuerdo con el número de empleados y al volumen de ventas anuales. Los resultados se pueden tomar como referencia para futuras investigaciones, pero pueden variar por el giro de la empresa y el sector (manufacturas, servicios o comercio) al que pertenezca dentro la clasificación de las pymes.

CONCLUSIONES

Se confirmó que la calidad en el servicio se asocia positivamente con las variables de satisfacción del cliente y lealtad del cliente. Por su nivel de importancia, se clasifican en orden de mayor a menor en responsabilidad-confiabilidad, confianza-empatía, lealtad-satisfacción, empatía-satisfacción y tangibles. Además, se confirma una correlación fuerte en la variable de la calidad en el servicio, en primera instancia, entre los ítems correspondientes a las dimensiones responsabilidad y confiabilidad. También se observa este comportamiento entre los ítems de las dimensiones de confianza y empatía. De igual manera, los aspectos tangibles se concentran en un solo componente. Finalmente, los resultados del estudio presentado sugieren que las dimensiones aspectos tangibles, confiabilidad y confianza de la calidad en

el servicio tienen una relación significativa positiva con la satisfacción del cliente y en la

variación de la percepción del mismo con respecto al servicio recibido.

REFERENCIAS

- ACSI, American Customer Satisfaction Index (2018). Customer satisfaction reports. American Customer Satisfaction Index. [En línea]. Disponible en: <https://www.theacsi.org/news-and-resources/customer-satisfaction-reports/reports-2018>. Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2018.
- Ahrholdt, D. C., Gudergan, S. P., and Ringle, C. M. (2017). Enhancing service loyalty: The roles of delight, satisfaction, and service quality. *Journal of Travel Research*. 56(4): 436-450.
- Azman, S. and Gomiscek, B. (2015). Functional form of connections between perceived service quality, customer satisfaction and customer loyalty in the automotive servicing industry. *Total Quality Management*. 26(8): 888-904.
- Azman, I. and Yusrizal, S. (2016). Service quality as a predictor of satisfaction and customer loyalty. *Scientific Journal of Logistics*. 12(4): 269-283.
- Aznar, J. P., Bagur, L., and Rocafort, A. (2016). Impact of service quality on competitiveness and profitability: The hotel industry in the Catalan coast. *Intangible Capital*. 12(1): 147-166.
- Banwo, A. O., Du, J., and Onokala, U. (2017). The determinants of location specific choice: small and medium-sized enterprises in developing countries. *Journal of Global Entrepreneurship Research*. 7(16): 1-17.
- BLS, Bureau of Labor Statistics (2016). Business employment dynamics – Entrepreneurship and the U.S. economy. [En línea]. Disponible en: <https://www.bls.gov/bdm/entrepreneurship/entrepreneurship.htm>. Fecha de consulta: 21 de mayo de 2018.
- Blut, M., Frennea, C. M., Mittal, V., and Mothersbaugh, D. L. (2015). How procedural, financial and relational switching costs affect customer satisfaction, repurchase intentions, and repurchase behavior: A meta-analysis. *International Journal of Research in Marketing*. 32(2): 226-229.
- Bustamante, J. C. (2015). Uso de variables mediadoras y moderadoras en la explicación de la lealtad del consumidor en ambientes de servicios. *Estudios Gerenciales*. 31(136): 299-309.
- Cronin, J., Morris, M. H., and Taylor, S. (1994). Servperf vs. Servqual: reconciling performance based and perceptions minus expectations measurement of service quality. *Journal of Marketing*. 58(1): 125-131.
- El-Adly, M. I. (2019). Modelling the relationship between hotel perceived value, customer satisfaction, and customer loyalty. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 50: 322-332.
- Ferreira-de-Araújo, P., Crema, M., and Verbano, C. (2019). Risk management in SMEs: A systematic literature review and future directions, in *European Management Journal*. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263237319300751>. Fecha de consulta: 24 de agosto de 2019.
- Fourie, L. (2015). Customer satisfaction: a key to survival for SMEs? *Problems and Perspectives in Management*. 13(3): 181-188.
- Guatuzón, M., Canto, A. M. y Pereyra, A. (2020). Calidad en el servicio en micronegocios del sector artesanal de madera en una comisaría de Mérida, México. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*. 28(1): 120-132.
- Guesalaga, R. and Pitta, D. (2014). The importance and formalization of service quality dimensions: a comparison of Chile and the USA. *Journal of Consumer Marketing*. 31(2): 145-151.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., and Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Analysis Data*. (Seventh edition). USA: Pearson. 739 Pp.
- Hancock, G. R., Stapleton, L. M., and Mueller, R. O. (2018). *The reviewer's guide to quantitative methods in the social sciences* (Second edition). USA: Taylor & Francis Group. 514 Pp.
- Ibarra-Morales, E. y Casas-Medina, E. V. (2015). Aplicación del modelo Servperf en los centros de atención Telcel, Hermosillo: una medición de la calidad en el servicio. *Contaduría y Administración*. 60(1): 229-260.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). Esperanza de vida de los negocios, en *Boletín 087/15*. [En línea]. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_02_38.pdf. Fecha de consulta: 21 de mayo de 2018.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE), en *Secretaría de Economía*. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/especiales/ENAPROCE2018.pdf>. Fecha de consulta: 12 de octubre de 2019.
- Jain, P. and Aggarwal, V. S. (2017). The effect of perceived service quality on customer satisfaction and customer loyalty in organized retail chains. *Amity Business Review*. 18(2): 77-89.
- Kasiri, L. A., Guan-Cheng, K. T., Sambasivan, M., and Sidin, S. M. (2017). Integration of standardization and customization: Impact on service quality, customer satisfaction, and loyalty. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 35: 91-97.
- Kumar, V. and Hundal, B. S. (2019). Evaluating the service quality of solar product companies using SERVQUAL model. *International Journal of Energy Sector Management*. 13(3): 670-693.

- Lai, C. and Nguyen, M. (2017). Factors affecting service quality, customer satisfaction and loyalty of mobile phone service providers in Vietnam. *International Journal of Organizational Innovation*. 10(2): 75-85.
- López, L. I. y Díaz, J. D. (2012). Propuesta metodológica para la gestión del cliente. *Mercados y Negocios*. 25(13): 5-20.
- Malhotra, N. K., Agarwal, J., and Shainesh, G. (2018). Does country or culture matter in global marketing? An empirical investigation of service quality and satisfaction model with moderators in three countries. In J. Agarwal and T. Wu (Eds.), *Emerging Issues in Global Marketing* (pp. 61-91). Switzerland: Springer.
- Michna, A. (2018). The mediating role of firm innovativeness in the relationship between knowledge sharing and customer satisfaction in SMEs. *Engineering Economics* 29(1): 93-103.
- Murali, S., Pugazhendhi, S., and Muralidharan, C. (2016). Modelling and investigating the relationship of after sales service quality with customer satisfaction, retention and loyalty - A case study of home appliances business. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 30(1): 67-83.
- Nyadzayo, M. W. and Knajehzadeh, S. (2016). The antecedents of customer loyalty: A moderated mediation model of customer relationship management quality and brand image. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 30(1): 262-270.
- OCDE, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2018). Declaration on strengthening SMEs and entrepreneurship for productivity and inclusive growth, in *OECD Ministerial Conference on SMEs*. Mexico City. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd.org/cfe/smes/ministerial/SME-Ministerial-Declaration-ENG.pdf>. Fecha de consulta: 17 de marzo de 2019.
- Palese, B. and Usai, A. (2018). The relative importance of service quality dimensions in E-commerce experiences. *International Journal of Information Management*. 40: 132-140.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., and Berry, L. L. (1988). Servqual: a multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*. 64(1): 12-40.
- Saleem, S. S., Moosa, K., Imam, A., and Khan, R. A. (2017). Service quality and student satisfaction: The moderating role of university culture, reputation and Price in education sector of Pakistan. *Iranian Journal of Management Studies*. 10(1): 237-258.
- Salinas-Reyes, M., Badillo-Piña, I. y Tejeida-Padilla, R. (2018). Determinantes sistémicos de viabilidad en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en México. *Científica*. 22(2): 147-156.
- Sandada, M. and Matibiri, B. (2016). An investigation into the impact of service quality, frequent flier programs and safety perception on satisfaction and customer loyalty in the airline industry in Southern Africa. *South East European Journal of Economics and Business*. 11(1): 41-53.
- Sarmiento, R., Whelan, G., and Sprenger, J. (2018). Estudios de caso y la falsificación Popperiana: una nota de investigación sobre el artículo de Flyvbjerg titulado "Cinco malentendidos acerca de la investigación mediante los estudios de caso". *Forum: Qualitative Social Research*. 19(1): 14.
- SBA, Small Business Administration (2017). Small business GDP. The United States Small Business Administration. [En línea]. Disponible en: <https://www.sba.gov/>. Fecha de consulta: 17 de marzo de 2018.
- SE, Secretaría de Economía (2009). Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresa, en *Marco Normativo*. [En línea]. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/files/marco_normativo/A539.pdf. Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2020.
- Shah, S. N. U. and Baloch, Q. B. (2017). Comparative analysis on service quality & customer satisfaction: Empirical evidence from Pakistan hotel industry. *Journal of Business and Tourism*. 3(2): 159-174.
- Shah, S. N. U., Jan, S., and Baloch, Q. B. (2018). Role of service quality and customer satisfaction in firm's performance: Evidence from Pakistan hotel industry. *Journal of Commerce and Social Sciences*. 12(1): 167-182.
- Shi, Y., Prentice, C., and He, W. (2014). Linking service quality, customer satisfaction and loyalty in casinos, does membership matter. *International Journal of Hospitality Management*. 40: 81-91.
- Srivastava, M. and Rai, A. K. (2013). Investigating the mediating effect of customer satisfaction in the service quality - customer loyalty relationship. *Journal of Consumer Satisfaction, Dissatisfaction & Complaining Behavior*. 26(3): 95-109.
- Srivastava, M. and Rai, A. K. (2018). Mechanics of engendering customer loyalty: A conceptual framework. *IIMB Management Review*. 30(3): 207-218.
- Tomaz-de-Aquino, J., Valença-de-Souza, J., Lima-da-Silva, V., Jerônimo, T., and Melo, F. (2018). Factors that influence the quality of services provided by the bus rapid transit system. *Benchmarking: An International Journal*. 25(9): 4035-4057.
- Usman, M., Shafiq, M., Savino, M., Rashid, Z., Yehya, M. I., Naqvi, A. A., ..., and Menanno, M. (2019). Investigating the role of QMS implementation on customers' satisfaction: A case study of SMEs. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13): 2032-2037.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research design and methods*. (Fifth edition). California: SAGE publications. 282 Pp.
- Yong, A. G. and Pearce, S. (2013). A beginner's guide to factor analysis: Focusing on exploratory factor analysis. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 9(2): 79-94.
- Zhang, S. and Hou, Y. (2013). A SERVQUAL model for assessment of service quality in supply chain. *Information Technology Journal*. 12(15): 3472-3475.



Imagen de: Lic. Kenneth Smith Ramos

“Cuarto de Junto en Washington durante una de las rondas finales de negociación”

La colaboración del sector privado en la renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Análisis de la industria automotriz mexicana

The collaboration of the private sector in the North American Free Trade Agreement renegotiation. Analysis of the Mexican automotive industry

Karla Maria Nava-Aguirre

RESUMEN

La renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte entre México, Estados Unidos y Canadá inició en 2017 como medida proteccionista de Estados Unidos. La importancia del acuerdo comercial implicó la participación activa del sector privado mexicano a través del mecanismo “Cuarto de Junto”, que funciona como órgano de consulta en negociaciones de acuerdos comerciales. La industria automotriz fue un tema sensible, por el grado de integración de las cadenas de suministro y su impacto para la región de Norteamérica. El objetivo de este trabajo fue analizar la colaboración del sector privado, de la industria automotriz, en los procesos de consulta pública del gobierno mexicano para la definición de su política de apertura comercial, durante la renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Esta investigación es cualitativa, con alcance descriptivo-exploratorio. Se realizaron 9 entrevistas semiestructuradas a representantes clave del gobierno mexicano, expertos en la disciplina o miembros activos del “Cuarto de Junto”. El mecanismo de consulta, a través del “Cuarto de Junto”, único en su género, permitió al gobierno mexicano alinear, en gran medida, los intereses del sector privado con los intereses de la política comercial de México. Los acuerdos alcanzados sobre reglas de origen y el incremento en el valor de contenido regional de autopartes si bien exigen mayor participación de la macro región de Norteamérica, otorgan nuevas oportunidades para desarrollar la industria nacional mexicana. La experiencia del sector privado mexicano, las habilidades de negociación e interacción a través del “Cuarto de Junto” y, sobre todo, el intenso cabildeo en Estados Unidos con la cúpula empresarial, legisladores y funcionarios públicos, antes y durante la renegociación, favorecieron al gobierno mexicano para cerrar satisfactoriamente las negociaciones. La transparencia del proceso de consulta pública-privada permitió consolidar alianzas dentro y fuera del país, aunque con retos complejos.

PALABRAS CLAVE: colaboración público-privada, renegociación, TLCAN, industria automotriz, Norteamérica.

ABSTRACT

The renegotiation of the North American Free Trade Agreement between Mexico, the United States and Canada began as a protectionist measure of United States in 2017. The importance of this agreement involved the active participation of the Mexican private sector through the “Side Room” a mechanism that functions as a consulting body for negotiation of international agreements. The automotive industry was a sensitive issue due to the integration level of the supply chains and their impact for the North American region. The objective of this research was to analyze the collaboration of the private sector automotive industry in the public consultation processes of the Mexican government for the definition of Mexico’s trade policy during the North American Free Trade Agreement renegotiation period. This is a qualitative research with a descriptive-exploratory scope. Nine semi-structured interviews were carried out with representatives of the Mexican government, experts, or active members of the “Side Room”. The “Side Room” consulting mechanism allowed the Mexican Government to align most of the private sector interests to the country’s trade policy. Although the agreements reached regarding the rules of origin, and the increment on the regional value content of auto parts may require greater participation from the North American macro region, they allow new opportunities for the development of the domestic industry in Mexico. The experience of the Mexican private sector, the negotiation skills and interaction through the “Side Room” and above all, the intense lobbying in the with the private sector, legislators, and governors before and during renegotiation, had a positive impact for the Mexican government in order to satisfactorily conclude the negotiations. The transparency of the public-private consulting process consolidated alliances inside and outside Mexico, albeit with complex challenges.

KEYWORDS: public-private collaboration, renegotiation, NAFTA, automotive industry, North America.

*Correspondencia: karla.nava@udem.edu/ Fecha de recepción: 26 de mayo de 2020/ Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2020/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

Universidad de Monterrey, Escuela de Negocios, Departamento de Economía, Avenida Morones Prieto núm. 4500, Zona Valle Poniente, San Pedro Garza García, Nuevo León, México, C. P. 66238.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la colaboración pública-privada es fundamental para el diseño de políticas públicas que contribuyan al desarrollo de los países. Más allá de una necesidad, la colaboración se convierte también en una oportunidad (Donahue y Zeckhauser, 2011), donde los tomadores de decisiones en el sector público requieren del conocimiento, habilidades, experiencia e información del sector privado para el diseño de programas, iniciativas y acciones efectivas para el país (Rodríguez y Oddone, 2015). Las alianzas pública-privadas tienen la finalidad de obtener mejores y más productivos resultados que los que se pueden lograr de forma independiente. El sector privado incluye a las empresas, instituciones, organismos y asociaciones que persiguen un fin lucrativo y cuyas actividades no están controladas por el Estado (Duarte, 2015), mientras que el sector público abarca a las instituciones y dependencias de gobierno, así como las autoridades de los tres niveles gubernamentales (Rodríguez y Oddone, 2015).

El gobierno federal, no posee el conocimiento completo de la realidad y necesidades del sector privado. La razón principal es que es este último quien lo tiene (Rodrik, 2004). Las empresas enfrentan diariamente los problemas vinculados a sus procesos tanto operativos como administrativos, no solo en México, sino en países a donde exportan sus productos o servicios. Son los empresarios quienes enfrentan los obstáculos para crecer y modernizarse (Oxford Business Group, 2017). Las asociaciones de empresarios son un actor más que fortalece al sector a través de su organización, representación ante el sector público y el manejo de la información (Botero, 2017). La participación multiactor permite a un gobierno generar las políticas públicas como una estrategia de desarrollo para el país (Donahue y Zeckhauser, 2011).

Los ejemplos de la experiencia de la industria de la moda y el *software* en Argentina y de los clústeres de tecnología en Chile han comprobado que el trabajo alineado entre el sector pú-

blico y el privado hacia un objetivo común es posible, y que este tipo de colaboración puede llevarse a cabo en otros países de América Latina (Polack y col., 2019). De acuerdo con expertos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la colaboración pública-privada ha sido el común denominador en las políticas de desarrollo productivo exitosas. Sin embargo, algunas limitantes en esta colaboración han sido la falta de entendimiento y capacidad de los gobiernos para entender las necesidades del sector productivo y generar respuestas puntuales desde el sector público (Fernández-Arias y col., 2016).

Diferentes estudios abordan la participación del sector privado en los procesos de consulta para acuerdos internacionales. Entre ellos, resalta el de Olea (1993), quien, desde una perspectiva industrial, analiza la importancia de la industria automotriz en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), y hace una descripción de los principales participantes. Se enfoca en los proveedores de autopartes mexicanos, y reconoce que no ganaron en la negociación del tratado.

Desde una visión norteamericana, destaca el estudio de Teichman (1993), quien reflexiona sobre la nueva participación del empresariado en la dinámica económica-comercial a partir de los noventa. El abordaje que realiza se convierte en un antecedente importante para este trabajo. Así mismo, una de las publicaciones más completas es la de Grinspun y Cameron (1993), quienes desarrollan, desde un enfoque multidisciplinario, temas económicos, sociales, políticos y ambientales a partir de la negociación del TLCAN.

Por su parte, Alba (1997) explica a detalle la organización del sector empresarial de México en los noventa a través de la Coordinadora de Organizaciones Empresariales de Comercio Exterior (COECE). El autor describe los actores y asociaciones participantes en la dinámica colaborativa del sector público-privado que marcaría el futuro del modelo económico del país a partir de esa fecha.

Años más tarde, Puga (2004) estudia la nueva era de México hacia al exterior, donde los consensos y la nueva forma de organización de los empresarios, al lado del Estado y otros actores, es vista como un mecanismo de gobernanza en las sociedades contemporáneas, y retoma el análisis de la COECE.

Posteriormente, Alba (2006) expone que la negociación del TLCAN entre México, Estados Unidos y Canadá fue la oportunidad de aprendizaje para el cabildeo, que los empresarios necesitarían tanto en el Congreso de los Estados Unidos como en la sociedad.

A pesar de que Alba (1997); Puga (2004) y Alba (2006) hacen mención al “Cuarto de Junto” como órgano integrado por directivos empresariales o dueños de empresas con vasta experiencia en su sector, el tema no ha sido analizado a profundidad en otros estudios académicos.

En el proceso de renegociación del TLCAN, el sector empresarial fue fundamental para su modernización y cierre de acuerdos de la industria automotriz. En opinión de Smith-Ramos (2020), exnegociador del TLCAN, la figura de consulta más representativa de este proceso lo constituyó el “Cuarto de Junto”, coordinado por el Consejo Coordinador Empresarial (CCE), cúpula del sector privado.

Después de 23 años de la entrada en vigor del TLCAN inició un proceso de renegociación que consistió en 7 rondas trilaterales y 6 sesiones bilaterales, de 2017 a 2018. El mecanismo de colaboración y consulta del sector empresarial marcó en gran medida la pauta y el destino de los capítulos renegociados (SE, 2017b). Se modernizaron los 22 capítulos del TLCAN, que dieron como resultado 34 capítulos al final del proceso. El Capítulo 4, sobre Reglas de Origen (RO), fue uno de los temas más delicados y de confrontación entre los equipos negociadores, ya que las RO son determinantes en la cadena de suministro de la industria automotriz en la macro región de Norteamérica (Gereffi y col., 2005;

Folson, 2014; Gobierno de México, 2017; Forbes, 2018).

En México, la industria automotriz se ha convertido en uno de los sectores más dinámicos e importantes para el país. Es considerada uno de los motores e impulsores de la economía nacional (ProMéxico, 2015). Según datos internos de la Industria Nacional de Autopartes (INA) facilitados para este trabajo, en 2019 la industria automotriz contribuyó con el 20.8 % del producto interno bruto (PIB) manufacturero. Así mismo, la INA señala que las autopartes representan el sector que más activamente participa en las exportaciones mexicanas. En 2019 México ocupó el sexto lugar como productor y el cuarto como exportador de vehículos ligeros en el mundo, el 89 % de su producción se destina al mercado extranjero.

La colaboración pública-privada, para fines de este estudio, se analizará desde la perspectiva de un proceso de negociación que contempla posiciones, compromisos, responsabilidades y concesiones entre las partes, en tiempo presente y a futuro (Alfredson y Cungu, 2008). El proceso de consulta al sector privado a través del “Cuarto de Junto” es parte de este tipo de colaboración. Callista (2018) define la consulta pública como una actividad de doble vía entre el gobierno y el sector privado para la negociación e implementación de acuerdos de libre comercio de forma transparente, sistemática y continua a través de varios instrumentos.

El objetivo de este trabajo fue analizar la colaboración del sector privado de la industria automotriz en los procesos de consulta pública del gobierno mexicano, para la definición de la política de apertura comercial de México durante la renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de tipo cualitativa con un alcance descriptivo exploratorio. Las etapas en esta clase de investigación son iterativas, sobre todo en la relación que guardan las fases de

recolección de datos y el análisis. La flexibilidad en la recolección de datos implica que surjan nuevas interrogantes para el investigador, por lo que existe la oportunidad de hacer ajustes para fortalecer el estudio (Eisenhardt, 1989). Como primer instrumento de recolección de información se hizo una revisión de literatura de fuentes secundarias sobre estudios previos relacionados al TLCAN, las alianzas y cooperación entre el sector público y el privado, el rol del sector empresarial en el desarrollo de políticas públicas, sitios webs de asociaciones y grupos empresariales, principalmente de México y los Estados Unidos, así como notas periodísticas.

Para la revisión de literatura se consideraron dos periodos importantes del TLCAN. El primero, de 1990 a 1993, que fue la etapa de negociación para la firma del acuerdo comercial y donde surge por primera vez la figura “Cuarto de Junto” como órgano de consulta. El segundo inició en 2017, con el proceso de renegociación del TLCAN. La consulta de fuentes secundarias y recolección de datos cubren desde ese año hasta principios de 2020.

La búsqueda de artículos científicos se hizo en las bases de datos de la Biblioteca de la Universidad de Monterrey (UDEM), ubicada en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León. En la sección de descubridor del portal se inició una exploración básica utilizando las palabras clave TLCAN, Norteamérica, industria automotriz, renegociación, tratados comerciales, colaboración pública-privada, alianzas y negociación, tanto en español como en inglés. Posteriormente, se efectuó una búsqueda avanzada mediante la combinación de dos o más palabras clave, donde se seleccionaron los documentos con acceso completo, aproximadamente veinte textos. Las bases de datos utilizadas fueron principalmente *Business Source Complete*, a través de EBSCO, y *ABI INFORM Collection*, de Proquest y *Emerald*.

De manera paralela, se consultaron alrededor de doce documentos en Google Scholar vinculados al TLCAN, procesos de consulta pública en otros países, colaboración pública-privada

y política comercial. Se examinó la sección del TLCAN en el portal de la Secretaría de Economía del gobierno mexicano (SE, 2017a). Se revisó una interesante publicación digital del Banco Interamericano de Desarrollo (Fernández-Arias y col., 2016). Finalmente, se consultaron los periódicos *Excelsior* (Arteaga, 2018); *Milenio* (2017) y *El Economista* (Jiménez, 2017), así como las revistas *Expansión* (Estañol y col., 2017) y el portal *Forbes* (2018) a través del buscador Google, para el seguimiento de las rondas de renegociación de 2017 a 2018. Es importante señalar que durante esta búsqueda se observó que tanto los medios nacionales (*Milenio*, 2017; *Forbes*, 2018) como los locales (*El Norte*, 2017; *Multimedios*, 2018) informaron sobre el tema, prácticamente en los mismos términos: la descripción de las rondas. Entre los organismos y fuentes consultadas, en virtud del enfoque del trabajo, destacan la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), la Industria Nacional de Autopartes (INA) y el CCE. Además, la Organización Internacional de Constructores de Autos (OICA), Clúster Automotriz de Nuevo León (CLAUT), Gobierno de México y Secretaría de Economía, que proporcionaron para este trabajo la información ejecutiva que presentaron en las reuniones con la industria.

Participantes

Se diseñaron y realizaron entrevistas a una muestra no probabilística de 9 expertos representantes de los sectores público y privado, miembros del “Cuarto de Junto” y un académico de la Universidad de Georgetown, Estados Unidos (Tabla 1), este último con experiencia en comercio internacional, política económica y organismos internacionales como la Organización Mundial de Comercio (OMC). En el caso particular de la industria automotriz, los únicos representantes como asociación en el “Cuarto de Junto” son AMIA (automóviles), INA (autopartes) y ANPACT (tractocamiones). Es importante, señalar que los integrantes del “Cuarto de Junto” son representantes acreditados por las cámaras, asociaciones, consejos e institutos. No existe un número definido de participantes por ronda de negociación, pues

■ Tabla 1. Entrevistas por sector.

Table 1. Interviews by sector.

Participantes						
Nombre	Sector	Organización	Puesto	“Cuarto de Junto”	Lugar	Fecha
Manuel Montoya Ortega	Privado	Clúster Automotriz de Nuevo León	Director general	No	CLAUT en San Pedro Garza García, Nuevo León	3 de agosto de 2018
Jennifer Hillman	Académico	Universidad Georgetown	Profesora de Negocios Internacionales	No	Universidad de Monterrey	9 de agosto de 2018
Luis Ibarra Castillo	Privado	Metalsa (Autopartes Tier 1)	Coordinador TLCAN	No	Vía telefónica	16 de agosto de 2018
Alberto Bustamante González	Privado	Industria Nacional de Autopartes (INA)	Director de Comercio Exterior	Sí	Vía telefónica	7 de septiembre de 2018
Eduardo Solís Sánchez	Privado	Asociación Mexicana de Industria Automotriz (AMIA)	Presidente	Sí	Vía telefónica	16 de octubre de 2018
Moisés Kalach Mizrahi	Privado	Consejo Coordinador Empresarial	Coordinador general del “Cuarto de Junto”	Sí	Club Industrial Monterrey, Nuevo León	12 de noviembre de 2018
Kenneth Smith Ramos	Público	Secretaría de Economía	Exjefe del equipo negociador del TLCAN	No	Vía telefónica	22 de junio de 2020
Guillermo Malpica Soto	Público	Secretaría de Economía	Exjefe de mesas de negociación del TLCAN y jefe de la oficina del TLCAN en Estados Unidos	No	Vía telefónica	22 de junio de 2020
Pablo Enríquez Rodríguez	Público	Gobierno de Nuevo León. Oficina de representación en la Ciudad de México	Coordinador de Gestión Internacional	No	Vía telefónica	23 de junio de 2020

esto depende del tema o capítulo a tratar, y son convocados por la Secretaría de Economía vía CCE, del que son socios.

Para las entrevistas se preparó una guía de preguntas semiestructurada, que fue la base para la conversación con los entrevistados. “En ciertos estudios es necesaria la opinión de expertos en un tema. Estas muestras son frecuentes en estudios cualitativos y exploratorios para generar hipótesis más precisas o la materia del diseño de cuestionarios” (Hernández y col., 2014: 387). En la investigación cualitativa el entrevistado se convierte en un elemento clave y no solo en participante, ya que en muchos casos, da acceso a otros expertos y a fuentes adicionales de obtención de datos. Sin embargo, como señala Yin (2014), la investigación se trata de preguntas y no necesariamente de respuestas, por lo que las buenas preguntas son determinantes en la recolección de información valiosa.

La estrategia de acercamiento con el sector privado se dio a partir del vínculo de la UDEM, institución de adscripción del autor, con el CLAUT, y la participación en las reuniones del Comité de Comercio Exterior, donde la UDEM y otras universidades de la región participan bajo el modelo triple hélice. Posteriormente se solicitó por correo electrónico una cita con Manuel Montoya Ortega, director general del CLAUT. Para llevar a cabo la entrevista previamente se expuso el objetivo y alcance de la investigación. A partir de este encuentro se contó con la disposición para colaborar con información y contactos. Fue el CLAUT quien abrió las puertas con AMIA, INA y Metalsa para que a través de correos electrónicos y llamadas telefónicas se agendaran las entrevistas. Así, el director de AMIA puso al alcance el contacto con Moisés Kalach Mizrahi, líder del “Cuarto de Junto”, con quien después de un par de llamadas y exponer la finalidad de la investigación se acordó la fecha de la entrevista.

La participación del autor en varias reuniones de industriales y empresarios facilitó el acceso

a los entrevistados, a quienes previamente se les explicó el propósito de la investigación.

Para el acercamiento con el sector público se solicitaron tres entrevistas vía telefónica. Dos de ellas a exmiembros de primer nivel del equipo negociador del gobierno mexicano. El acercamiento con la profesora Hillman, fue a partir de una reunión en la UDEM, con exalumnos de la Universidad de Georgetown, Estados Unidos. Todas las entrevistas fueron grabadas, previo consentimiento de los participantes. Posteriormente se realizaron las transcripciones en documentos de Word y se elaboraron manualmente tablas de trabajo digitales, donde se consolidó la información. Se detectaron palabras clave y se identificaron consensos por categorías, para su análisis.

Es destacable que se participó además en sesiones, foros y talleres para industriales, empresarios y el sector público. Se acudió a sesiones de la INA en Monterrey, Nuevo León, así como a otras, con algunos miembros del “Cuarto de Junto”, de lo cual se tomaron registros. Estas participaciones fueron por invitación personal a partir de las entrevistas.

La revisión de literatura, entrevistas e información empírica basada en la observación facilitaron la interpretación de los hallazgos. Así como la disposición de la cúpula empresarial mexicana, miembros del “Cuarto de Junto” y del jefe del equipo negociador mexicano, Kenneth Smith, quienes colaboraron directamente al compartir sus experiencias.

RESULTADOS

El “Cuarto de Junto” en la renegociación del TLCAN

Como lo señala Smith-Ramos (2020) en su entrevista, el antecedente del “Cuarto de Junto” se remonta a la COECE y sus vínculos con el sector privado mexicano. La COECE fue pieza determinante para la cooperación entre el sector público y privado de México, y antecedente importante en la negociación del TLCAN en los noventa (Alba, 1997). El objetivo fue agrupar en un solo organismo a las diferentes aso-

ciaciones, cámaras y cabezas de sector, con intereses en ocasiones dispersos.

El proceso de creación de la COECE inició en 1988, cuando el gobierno federal invitó a los organismos empresariales y representantes del sector privado, en el ámbito del comercio exterior, a una serie de reuniones para analizar la situación del país y plantear escenarios futuros, además de formular políticas y planes de acción (Alba, 1997). Aunque al principio un grupo importante de empresarios dudaba y desconfiaba de la iniciativa, al final se sumó al proyecto. La COECE nace del CCE, que en 1975 se creó como el grupo representante de los intereses del sector privado (CCE, 2018). En poco tiempo, la COECE, presidida por Juan Gallardo Thurlow, se convirtió en su organización cúpula, basado en el consenso de sus integrantes (Puga, 2004).

Una de las primeras actividades de la COECE fue participar en la negociación del TLCAN, la Tabla 2 muestra a sus integrantes. Según datos de la COECE, para la negociación del TLCAN se organizaron 461 seminarios, 3 056 reuniones

y 401 estudios, con la participación de tiempo completo de más de 1 300 empresarios de alto nivel (Alba, 1997).

Previo a la negociación del acuerdo, el CCE decidió integrar a la COECE a todos sus miembros, por lo que se conformó la Coordinación Empresarial para el Tratado de Libre Comercio México-Canadá-Estados Unidos (Alba, 1997). La estrategia de trabajo tomó como referencia la utilizada en la consulta de los Estados Unidos y Canadá, a través de comités. Al inicio quedó claro que el gobierno mexicano carecía de información completa y oportuna sobre la realidad empresarial y características de los sectores industriales del país. De acuerdo con Fernández-Arias y col. (2016), los legisladores y autoridades del sector público necesitan el acceso a información que solo el sector privado tiene y conoce. A partir de esta situación, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), dependencia del gobierno federal al frente del equipo negociador, determinó que no negociaría ninguna ronda sin la colaboración del sector privado (Alba, 1997). Es en este momento que surge la figura del “Cuarto

■ **Tabla 2. Integrantes de la COECE en la negociación del TLCAN en 1990.**

Table 2. COECE members in the 1990 NAFTA negotiation.

Confederación de Cámaras Industriales de México (CONCAMIN)	Confederación de Cámaras de Comercio de México (CONCANACO)	Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX)	Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS)	Consejo Mexicano de Hombres de Negocios (CMHN)
Consejo Nacional Agropecuario (CNA)	Asociación Mexicana de Casas de Bolsa (AMCB)	Cámara Nacional de Comercio de la Ciudad de México (CANACO)	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA)	Consejo Empresarial Mexicano para Asuntos Internacionales (CEMAI)
Asociación Nacional de Importadores y Exportadores de la República Mexicana (ANIERM)	Consejo Nacional para el Comercio Exterior (CONACEX)	Cámara de Comercio México-Estados Unidos	Capítulo Mexicano de la Cámara Internacional de Comercio (ICI)	

Fuente: modificado a partir de Alba (1997).

de Junto”. Al respecto, Kalach-Mizrahi (2018) enfatizó que la colaboración y cercanía entre los sectores público y privado es más fuerte en México que en los Estados Unidos y Canadá, y que el mecanismo “Cuarto de Junto” es único en su género entre los miembros del TLCAN.

La participación y colaboración del sector privado, con el equipo negociador del tratado fue una iniciativa del gobierno federal que al final fue bien recibida y aceptada. Hoy en día, la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones (2019) en su artículo 4 establece que:

“Las Cámaras y sus Confederaciones representan, promueven y defienden nacional e internacionalmente las actividades de la industria, el comercio, los servicios y el turismo, y colaboran con el gobierno para lograr el crecimiento socioeconómico, así como la generación y distribución de la riqueza. Son, además, órganos de consulta y colaboración del Estado. El gobierno deberá consultarlas en todos aquellos asuntos vinculados con las actividades que representan”.

En entrevista, Smith-Ramos (2020) puntualizó que el gobierno federal delegó a la Secretaría

de Economía los trabajos de negociación internacional que definirían el futuro de la política comercial del país y de la región, siguiendo el patrón de 1990 (Figura 1). Para el efecto, la SE formó un equipo encabezado por el secretario de Economía y tres funcionarios de la misma dependencia con amplia experiencia en el tema desde la época de los noventa. Se conformaron 16 mesas de trabajo para los 34 capítulos a tratar. Además, se integró un grupo de acompañamiento del Senado de la República Mexicana como observadores. Como en sus orígenes, el “Cuarto de Junto” también se sumó y acompañó al equipo negociador mexicano previa convocatoria de la SE a través del CCE.

Con la intención de ampliar la membresía de sus agremiados mediante la participación de más cámaras, asociaciones, exnegociadores del TLCAN y expertos en la materia, el CCE instaló por primera vez el Consejo Consultivo Estratégico para las Negociaciones Internacionales (CCENI), que se convertiría en el organismo encargado de coordinar los trabajos del “Cuarto de Junto” y pieza clave en la defensa de los intereses de la industria. Está compuesto por cuarenta a cincuenta personas e incluye a lí-



■ Figura 1. Proceso de consulta en México en la renegociación del TLCAN.

Figure 1. Mexican consulting process at NAFTA renegotiation.

deres empresariales y expertos, y retomó la función y estructura que se utilizó entre 2012 y 2015 bajo la Coalición Empresarial Mexicana del CCE para la renegociación del Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica, como lo señala Malpica-Soto (2020) en entrevista para este trabajo. El CCENI tuvo reuniones regulares con la SE y revisó los avances del acuerdo, mientras que a nivel técnico y operativo estaba el “Cuarto de Junto”, así lo comentó Smith-Ramos (2020).

Los mecanismos de cooperación entre el sector público y el privado durante la renegociación del TLCAN fueron muy diferentes a los manejados en el tratado de los noventa. Después de más de 23 años se retoma el objetivo del “Cuarto de Junto”, con la participación de los negociadores originales del TLCAN (Tabla 3).

El sector privado, a través del CCENI, propuso una estructura formal, que fue la base para la renegociación del TLCAN (Figura 2). Dos comités adicionales apoyarían los trabajos del “Cuarto de Junto”: el Cuarto de Comunicación y el Cuarto de Inteligencia. Este último fue el encargado de generar toda la información estratégica necesaria para respaldar la continuidad del TLCAN. Estuvo conformado por aproximadamente cuarenta expertos y liderado por Herminio Blanco, jefe negociador del gobierno mexicano en los noventa. La estructura de “cuartos” sería supervisada por un Comité de gobierno o *Steering Committee* (Estañol y col., 2017). El “Cuarto de Junto” se consolidó como un instrumento de diálogo y consulta permanente, que permitió la conformación de alianzas en dos tipos.

En primer lugar, se consolidó una alianza hacia el interior del sector privado mexicano, con la intención de mostrar un solo frente y no intereses individuales. Además, el cabildeo del Gobierno mexicano se enfocó al Congreso federal, Asociación Nacional de Gobernadores, Confederación de Presidentes Municipales y diálogo con universidades locales. Esta alianza entre los distintos sectores del país

y el gobierno mexicano se mantuvo en gran parte de la renegociación. La estructura que promovió la CCENI tuvo un fuerte respaldo de funcionarios públicos. En entrevista, Kallach-Mizrahi (2018) explicó que México ha crecido tanto en el comercio internacional en los últimos 25 años, que cuenta con la gran experiencia de los empresarios y de los mismos exfuncionarios públicos para formar un equipo con gran talento.

En segundo lugar, el “Cuarto de Junto” retomó la relación con el sector privado de los Estados Unidos, construyendo una gran alianza hacia el exterior, sumamente importante, con los sectores industriales y empresariales del país. Estas relaciones se fueron fortaleciendo durante toda la renegociación y permitieron ser el puente o enlace directo e indirecto con el sector público de los Estados Unidos, principalmente con gobernadores o congresistas “clave” para la continuidad del tratado. Las alianzas clave que se crearon a través del “Cuarto de Junto” fueron con la *National Association of Manufacturers, Farm Bureau Insurance, Business Roundtable* y *US Chamber of Commerce* (Estañol y col., 2017). A través de esta estructura se dio una comunicación permanente con el sector privado americano a través de reuniones mensuales en los Estados Unidos y el intercambio de información. Así mismo, se aprovecharon las redes de contactos de muchos años que cada empresario ya había construido en el giro al que pertenece.

La estrategia de acercamiento y cabildeo en los Estados Unidos fue factor determinante en la renegociación del TLCAN (Gawande y col., 2012). La comunidad empresarial y la sociedad civil norteamericana pudieron comprender las consecuencias negativas para su país en términos de pérdida de competitividad, cierre de fábricas, desempleo y productos más caros para los consumidores norteamericanos en caso de no apoyar o cancelar el tratado de libre comercio, lo que favoreció el avance de las propuestas del “Cuarto de Junto”. Smith-Ramos (2020) comentó también durante su entre-

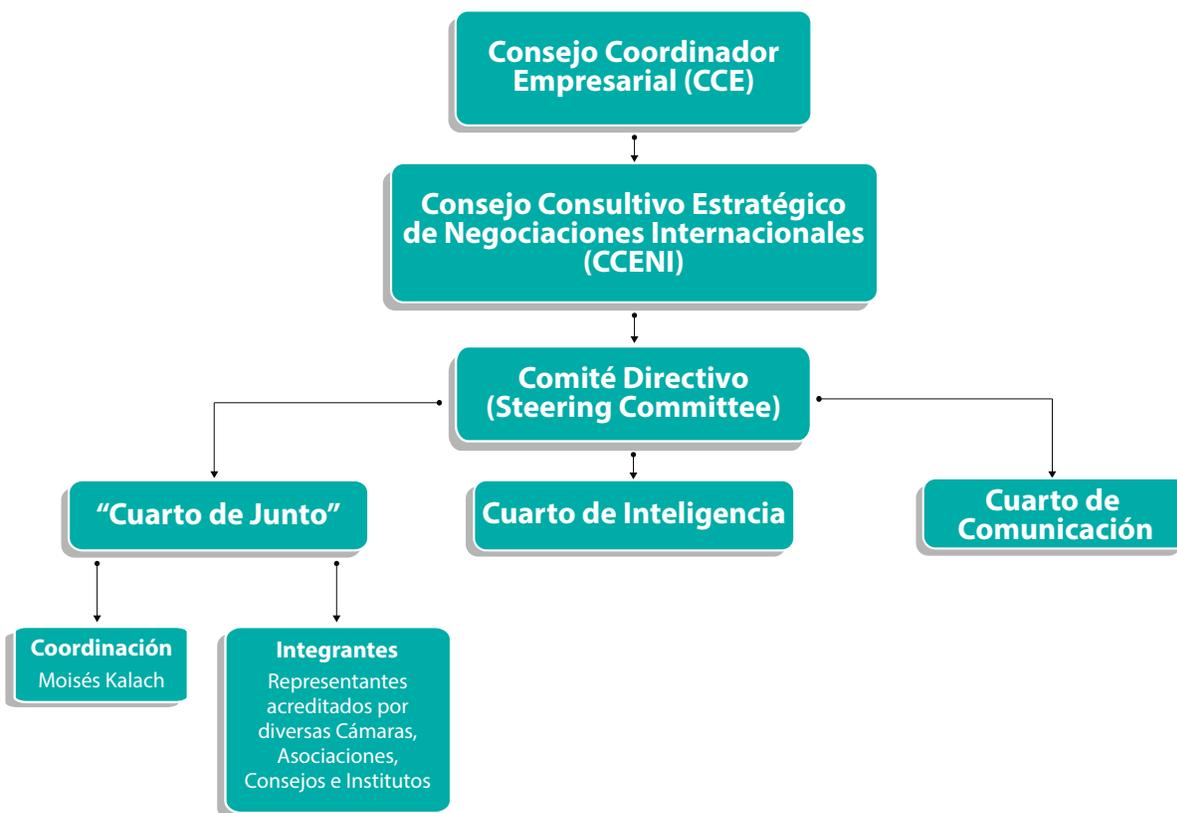
vista, que el gobierno mexicano pedía al “Cuarto de Junto” cabildar con sus pares en Estados Unidos y que estos, a su vez, lo hicieran con legisladores y gobernadores para explicarles que alguna temática en discusión no solo afectaba a México sino también a Estados Unidos.

■ **Tabla 3. Instalación del “Cuarto de Junto” en la renegociación del TLCAN en 2017.**

Table 3. “Side Room” establishment at NAFTA renegotiation in 2017.

Consejo Consultivo Estratégico de Negociaciones Internacionales “Cuarto de Junto” Moisés Kalach coordinador general	
Organismo	Representante
Consejo Coordinador Empresarial	Juan Pablo Castañón
Coordinador del Cuarto de Junto	Eugenio Salinas
CONCAMIN, presidente	Manuel Herrera
CONCANACO, vicepresidente	Ricardo Navarro
COPARMEX, presidente	Gustavo de Hoyos Walther
CANACINTRA, presidente	Enrique Guillen Mondragón
Consejo Nacional Agropecuario (CNA), presidente	Bosco de la Vega
Asociación de Bancos de México (ABM), presidente	Marcos Martínez
Cultiba, presidente	Juan Gallardo Thurlow
CONMEXICO, presidente ejecutivo	Jaime Zabludovsky
Ex subsecretario de Comercio Internacional de la SECOFI; exnegociador del NAFTA 1994 y hoy presidente de Consultora IQOM	Herminio Blanco
Miembro del equipo negociador NAFTA 1993-1994 y exdirector de Acuerdos Comerciales Internacionales de México. <i>General Director of IQOM</i>	Sergio Gómez Lora
Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO) TENARIS TAMSA, vicepresidente del Consejo	Guillermo Vogel
PRODENSA, CEO	Emilio Cadena
Consejo Nacional de la Industria Maquiladora y Manufacturera de Exportación (INDEX), presidente	Federico Serrano
Rassini (CEO) autopartes tier 1	Eugenio Madero
Zimat, socia fundadora	Martha Mejía
AMIA, presidente	Eduardo Solís
American Chamber (México), presidente AMCHAM	Mónica Flores
Confederación de Asociaciones de Agentes Aduanales de la República Mexicana (CAAAREM), presidente	Ricardo Zaragoza Ambrosi
CAAAREM expresidente	José Antonio Vidales
Abogados White & Case Socios	Francisco de Rosenzweig Ismael Reyes Retana

Fuente: modificado a partir de Jiménez (2017).



■ **Figura 2. Organización del sector privado mexicano.**

Figure 2. Mexican private sector organization.

De acuerdo con Kalach-Mizrahi (2018), en total se realizaron cerca de 300 reuniones con *key players* en los Estados Unidos: La Casa Blanca (20), Senado (25), Cámara de Representantes y medios (54), gobernadores (50), sector privado (106) y empresarios y funcionarios públicos (más de 40). Por otra parte, Smith-Ramos (2020) señaló que a través de la Coalición Comercial Texas-México (TMTC, por sus siglas en inglés: Texas-Mexico Trade Coalition), los representantes del “Cuarto de Junto” y equipo negociador del TLCAN lograron un acercamiento positivo con Greg Abbott, gobernador de Texas; Rick Perry, secretario de Energía de los Estados Unidos; John Cornyn, senador; Rolando Pablos, secretario de Estado, y otros representantes, incluyendo a Henry Cuellar, de Texas. La Coalición Comercial Texas-México tiene como objetivo demostrar la importancia del TLCAN en la economía de los dos países y movilizar a líderes en ambos lados de la frontera.

Para el sector privado mexicano era fundamental explicar el impacto del tratado en las economías de ambos países y, en lo particular, en algunos estados. En Texas, Iowa y Michigan, Estados Unidos no se tenía información específica sobre el impacto económico del TLCAN en sus territorios. Kalach-Mizrahi (2018) argumentó que el trabajo de cabildeo antes y durante la renegociación permitió que el equipo mexicano tuviera más información que incluso sus contrapartes canadienses y americanas.

La importancia de la industria automotriz en México

La industria automotriz en México está representada por el sector privado e incluye a la Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores (AMDA), que fue constituida en 1945, tiene un alcance nacional y representa a las agencias de venta de automóviles y distribución; a la Asociación Mexicana de la Indus-

tria Automotriz (AMIA), establecida en 1951 como la oficina de representación y conciliación con las autoridades del gobierno; a la Industria Nacional de Autopartes (INA), fundada en 1962 como resultado del Decreto Nacional de ese mismo año, y a la Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT), creada en 1992.

La industria automotriz se divide en la producción de automóviles ligeros, autopartes y vehículos pesados, así como una rama de venta y distribución de vehículos a nivel nacional. La producción de vehículos pesados creció 3 veces, desde la crisis económica de 2009. En 2019 se fabricaron 3 751 millones de vehículos ligeros. México contribuye con más del 4.2 % de la producción mundial (ProMéxico, 2016; Oxford Business Group, 2017; AMIA, 2018). En entrevista para esta investigación, Montoya-Ortega (2018) precisó que México cuenta con 22 plantas armadoras de vehículos ligeros ubicadas en 11 estados de la república, principalmente en la zona centro y norte del país.

En la entrevista con Solís-Sánchez (2018), explicó que para entender el desarrollo del sector automotriz es importante considerar algunos elementos en México que contribuyeron al éxito de esta industria, principalmente con el establecimiento de empresas fabricantes de equipo original o armadoras, llamadas en inglés *Original Equipment Manufacturers* (OEM), y las empresas proveedoras nivel 1, 2 y 3, llamadas en inglés *Tier 1*, *Tier 2* y *Tier 3*, “prácticamente todos los participantes de primer nivel del mundo están presentes en unas de estas industrias en el país”.

Las ventajas competitivas de México, como la disponibilidad de mano de obra especializada, costos operacionales atractivos, acuerdos y tratados con más de 45 países, ubicación geográfica privilegiada y cercana al mercado de los Estados Unidos, una cadena de suministro integrada y la experiencia exportadora desde hace muchos años fueron determinantes en la llegada de inversión extranjera directa y la consolidación de la industria automotriz en

el país (ProMéxico, 2016; CEFP, 2017; Klier y Rubenstein, 2017; Mexico Business Publication, 2017; SE, 2017b; Oxford Business Group, 2018). La industria está tan integrada que ya no solo es un tema de impuestos y aranceles cuando se cruza la frontera, sino también la cadena de servicios logísticos que se genera cada vez que un producto cruza la frontera antes de convertirse en un producto final (Hillman, 2018). Sin embargo, el elemento clave en la definición del desarrollo de la industria automotriz en México, además de las ventajas competitivas para producir en el país, fueron las políticas comerciales enfocadas a la industria (ProMéxico, 2016).

Definitivamente, una de las estrategias implementadas por el gobierno de México, para participar en la economía internacional fue la firma del TLCAN. Este acuerdo fue determinante para la consolidación de la industria automotriz en Norteamérica (Eden y Molot, 1993) y punto de partida y modelo de negocio para los países de Latinoamérica. Hoy en día, la industria automotriz es el mejor ejemplo de éxito y consolidación de una industria dentro del TLCAN. Representó una gran oportunidad para la inversión, crecimiento de exportación de vehículos ligeros, pesados y autopartes, así como generador de empleo en México.

Desde la firma del TLCAN y hasta el cierre de 2019, la dinámica de producción y de las exportaciones de la industria automotriz no es la misma, y la región de Norteamérica está completamente integrada en su cadena de suministro, principalmente entre México y los Estados Unidos. La cadena de valor, clientes, proveedores niveles 1 y 2, ensambladoras y las alianzas entre compañías han generado un caso de éxito en Norteamérica, así lo expresa Montoya-Ortega (2018) en entrevista, cuando afirma que esta integración es más de lo que ellos pudieron hacer como asociación o gobierno.

La producción total de vehículos ligeros en la región TLCAN fue de 15.68 millones de unidades en 1994 a 18.2 millones en 2017, es decir,

se elevó 13.8 % en ese lapso. Específicamente en México, el crecimiento fue de 7 % (1.12 millones) en 1994 a 23 % (4.1 millones) en 2017. De acuerdo con datos de la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos de Motor (OICA, por sus siglas en inglés: International Organization of Motor Vehicle Manufacturers) (OICA, 2017), la región aportó el 17.9 % de la producción global de automóviles.

Según Bustamante-González (2018), en esta industria mexicana los grupos más activos en la exportación son las autopartes, vehículos ligeros y vehículos pesados. De ellos, las autopartes son el sector de exportación más importante. En 2017 sus exportaciones fueron de 65 249 millones de dólares. México es un socio esencial para la industria automotriz de los Estados Unidos. En 2017 las exportaciones de autopartes norteamericanas a México fueron de 23 721 millones de dólares.

La relevancia del sector de autopartes mexicanas, en términos de producción, ventas de exportación y generación de empleo ocasionó que se convirtiera en uno de los temas controversiales dentro del TLCAN, debido a la insistencia del Presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, de imponer medidas proteccionistas que favorecieran a Estados Unidos, en respuesta al supuesto déficit comercial con México. Sin embargo, después de meses de confrontación entre los equipos negociadores del TLCAN, el gobierno mexicano logró finalmente defender los intereses de la industria automotriz, con el apoyo y acompañamiento del “Cuarto de Junto”. Principalmente, mantener el porcentaje de Valor de Contenido Regional (VCR) similar al 62.5 % vigente en el acuerdo, además, no incrementar los salarios en México; de esta manera se mantendrían los costos competitivos de la industria. En entrevista con Bustamante-González (2018), comentó que se establecieron compromisos con las contrapartes norteamericanas y del propio país, pero también se cedió finalmente ante algunas propuestas, como el aumento a 75 % del VCR. Entre los acuerdos y compromisos alcanzados destacan: disminuir de 5 a 3 cate-

gorías los componentes de automóviles, es decir, autopartes esenciales (75 %), principales (70 %) y complementarias (65 %) en un plazo de 3 años; aprovechar el margen de producción que tiene México sin afectación en salarios y eliminar el requerimiento de acero y aluminio en autopartes (INA, 2020). La interacción tan intensa con el sector privado y la consulta permanente permitió alinear la postura de México con las necesidades de la industria automotriz, con un consenso a largo plazo.

En entrevista, Bustamante-González (2018) mencionó que la colaboración pública-privada logró disminuir la propuesta de los Estados Unidos de un 80 % a un 75 % de VCR y que si bien el ideal es que se hubiera quedado en 62.5 %, el 75 % acordado fue mejor que la propuesta original de los Estados Unidos.

Los representantes de la AMIA e INA aseguran que las empresas mexicanas están conscientes que este acuerdo abre la posibilidad para la inversión extranjera en la zona TLCAN y permite el incremento de proveedores locales; el 70 % de compras de acero y aluminio para la región no afecta a las autopartes y para las armadoras es posible mantener ese porcentaje, sobre todo en el acero, de una forma gradual; el 40 % de costo en región salario de \$ 16 dólares no aplica para autopartes aunque, para la fabricación de vehículos ligeros es gradual y hay un margen todavía de producción por alcanzar. México no incrementará sus salarios, eso nunca estuvo en la mesa de discusión. Finalmente, cada automóvil fabricado en México deberá contener las 7 partes esenciales y cada una ellas deberá incluir, a su vez, sus partes clave, siempre respetando el VCR del 75 % para gozar de los beneficios arancelarios del tratado. Esta última regla favorece la inversión extranjera en el país y oportunidades para empresas locales. Sin embargo, de no cumplir con las nuevas reglas del ahora llamado Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), se deberá pagar el arancel correspondiente al establecido por la OMC de 2.5 % para automóviles ligeros y 2.2 % para autopartes (INA, 2020).

DISCUSIÓN

La colaboración entre el sector público y el privado está presente en las negociaciones de acuerdos internacionales, en la mayoría de los países. Hoy en día, en una búsqueda de transparencia y de hacer políticas públicas incluyentes, los gobiernos procuran la consulta pública a través de diferentes mecanismos e instrumentos de colaboración, y con acciones muy diferentes.

En México, la participación del sector privado se ha consolidado a través de los años con la experiencia en las diferentes negociaciones comerciales mediante el “Cuarto de Junto”. Si bien este mecanismo existe desde la negociación original del TLCAN en los noventa, su trabajo se ha fortalecido desde entonces. Por ejemplo, la negociación del Acuerdo Estratégico Transpacífico de Asociación Económica (TPP) en 2015 y su intenso trabajo con la comunidad empresarial fue precedente importante del éxito del “Cuarto de Junto”.

Smith-Ramos (2020) fue enfático al afirmar que el “Cuarto de Junto” es un modelo de consulta único en su género, pues el acompañamiento e interacción entre los sectores público y privado se da antes, durante y posterior a los procesos de negociación, con el objetivo de alcanzar consensos. Por ejemplo, previo a la renegociación del acuerdo, el gobierno mexicano lanzó por primera vez una consulta pública vía internet por un mes, al mismo tiempo que se realizaron tres meses de foros y reuniones con la sociedad civil y empresarios para estudiar y preparar las propuestas de salida del gobierno que se sumarían a los trabajos del “Cuarto de Junto”.

Por su parte, la Unión Europea (UE) impulsa la inclusión de la sociedad civil en los temas de política comercial. El mecanismo de participación más importante que utiliza la Comisión Europea es el “Diálogo con la Sociedad Civil” a través de reuniones y procesos de consulta pública, que incluye una gran mayoría de integrantes del sector de negocios, ya sea de compañías europeas o de asociaciones

de profesionales (Europe Commission, 2015). De alguna manera se cumplen los objetivos de transparencia de la UE, sin embargo, otros procesos de consulta, como el Comité de Política Comercial del Consejo Europeo, son reservados para funcionarios o miembros del gabinete de los países miembros de la UE (Velut, 2016), a diferencia de lo que sucede en México, donde se convoca al “Cuarto de Junto” para participar. En la UE, la colaboración depende en muchos de los casos del poder político de las cúpulas empresariales, como sucede en Reino Unido, Alemania y Francia, así lo comentó Smith-Ramos (2020) en entrevista para este estudio, recordando su experiencia en el acuerdo comercial México-UE.

En Asia, un caso interesante es Indonesia, donde los procesos de consulta pública-privada (PCPP) son limitados a los acuerdos y acercamientos que tiene el secretario de comercio del país como líder negociador y dos organismos que representan al sector privado, KADIN (Cámara de Comercio de Indonesia) y APINDO (Asociación de Empresarios de Indonesia), además de algunos empresarios que ocasionalmente participan (APINDO, 2020; KADIN, 2020). Los únicos mecanismos de consulta e información son a través de reuniones esporádicas y eventos como seminarios o talleres, enfocados principalmente a los pequeños empresarios. Sin embargo, la participación del sector privado no representa los intereses de todos los empresarios, quienes carecen de información oportuna sobre los acuerdos comerciales (Callista, 2018). Esta falta de representatividad es una de las críticas más fuertes que tienen los PCPP, sobre todo en países con escasa capacidad de negociación y limitado conocimiento de comercio exterior o acuerdos comerciales (Monreal, 2018). A pesar de lo anterior, actualmente la Cámara de Comercio de Indonesia o KADIN es la única asociación reconocida por el gobierno como agente de los intereses del sector privado (KADIN, 2020). Japón, por su parte, es un país hermético, pues a diferencia de lo que pasa en las negociaciones comerciales en México, el Gobierno japonés toma las decisiones y después in-

forma a la sociedad civil, así lo señaló Smith-Ramos (2020) durante su entrevista.

En Norteamérica, los PCPP son más dinámicos, con características muy particulares y han evolucionado a lo largo del tiempo. En Canadá, los PCPP iniciaron en la década de los ochenta. El primer órgano de consulta lo constituyeron los Grupos de Asesoría Sectorial para el Comercio Internacional (Sectorial Advisory Groups for International Trade) y un Comité de Asuntos Generales (International Trade Advisory Committee) (Alba, 1997). Hasta 2015, las operaciones de estos grupos fueron confidenciales; sus miembros, aunque expertos y representantes de la sociedad civil, eran elegidos por el gobierno (Alba, 1997; Callista, 2018). En la actualidad, Canadá basa la consulta de temas de política comercial en el enfoque de las tres “C”, que consiste básicamente en la coordinación con los tres niveles de gobierno, consulta con el sector privado y comunicación con la sociedad civil (Callista, 2018; ITC, 2020). A pesar de lo anterior, no se ha formalizado este mecanismo bajo ninguna ley, decreto o reglamento. Los instrumentos para llevar la consulta consisten en la *Gaceta Canadiense*, revista oficial del gobierno; el sitio oficial Asuntos Globales de Canadá, medios electrónicos, reuniones, conferencias y la consulta abierta (Callista, 2018). En todos estos instrumentos se informa y se recibe información de los diferentes sectores de la sociedad. En las entrevistas con Smith-Ramos (2020) y Malpica-Soto (2020), mencionaron que en la renegociación del TLCAN, Canadá usó un sistema similar al de Estados Unidos, basado en asesores y con la participación de la Cámara de Comercio de Canadá y el Consejo Canadiense de Directores Ejecutivos (Canadian Council of Chief Executives), sin embargo, fue mucho menos intenso y muy específico en sus temas prioritarios. No tienen una estructura definida, como el “Cuarto de Junto” en México.

En el caso de los Estados Unidos, el Congreso, a través de la Sección 135 de la Ley de Comercio de 1974, desde hace muchos años es-

tableció un sistema público privado de asesoría comercial que tiene como objetivo garantizar que la política al respecto atienda los intereses económicos y comerciales del país. El sistema está conformado por 26 comités, con participación de más de 700 consejeros de la sociedad civil. La Oficina de Comercio de los Estados Unidos es la dependencia del gobierno federal que administra el sistema de comités. En esta red, los Comités de Industria y Comercio (ITAC, por sus siglas en inglés: Industry Trade Advisory Committee) son las alianzas públicas-privadas administradas por el Departamento de Comercio y la Oficina de Representación del Gobierno, que impulsa e involucra a líderes empresariales y de negocios en la formulación de la política comercial de ese país.

A diferencia de Canadá, en Estados Unidos son 14 comités, con más de 300 asesores comerciales, que formulan propuestas y dialogan acerca de los temas puestos sobre la mesa de negociaciones (ITAC, 2020). Los asesores se adhieren a los comités mediante convocatoria abierta, para permanecer por un periodo de cuatro años, y pueden volver a postularse. Contrario a lo que sucede en México, los asesores son elegidos a discreción del secretario y el representante de comercio del país. En promedio, cada ITAC se reúne 6 veces al año en Washington, sin tener un número definido de reuniones (Trade Representative Office of the United States, 2018). Si bien es cierto que existe un mecanismo de consulta con el sector privado, no cuentan con un “Cuarto de Junto” como México, que acompaña al gobierno antes y durante los procesos de renegociación. En las entrevistas con Malpica-Soto (2020) y Smith-Ramos (2020), exnegociadores del TLCAN, comentan que la colaboración en ese país no es tan intensa ni incluyente; el hecho que sea el gobierno quien administra los comités de asesores limita la participación y representatividad del sector privado. Los exfuncionarios recuerdan que los empresarios de Estados Unidos y Canadá no tuvieron información en tiempo real sobre lo que pasaba en las rondas de negociación; en

México, en cambio, se le informaba a diario al sector privado.

Como sucede en los Estados Unidos, en México la participación del “Cuarto de Junto” es voluntaria, sin pago de honorarios ni gastos de representación, pero su elección no depende del gobierno, una gran diferencia con los Estados Unidos. La estructura, organización e iniciativa del “Cuarto de Junto” es una responsabilidad del sector privado a través del CCE; sin embargo, la Secretaría de Economía, responsable de la renegociación del país, es quien convoca e informa al CCE, y este a su vez al CCENI y al “Cuarto de Junto”, sobre el inicio de las negociaciones (Milenio, 2017). Se establece un plan de trabajo con anterioridad, para que el sector privado participe en las mesas respectivas. Por ejemplo, al inicio de la renegociación del TLCAN, se conformaron 23 mesas de trabajo por sector, con la participación de más de 300 expertos (Jiménez, 2017).

El acompañamiento del sector privado como socio y colaborador en la negociación (Rodrik, 2004) fue un factor importante en el éxito de los acuerdos alcanzados en la industria automotriz, principalmente por la capacidad de negociación con los grupos de interés en los Estados Unidos y Canadá y, sobre todo, para impulsar la postura de México.

Las alianzas exitosas entre el gobierno y la industria automotriz han contado con el apoyo del sector privado como el Consejo Mexicano de Comercio Exterior (COMCE), CCE, AMIA, INA, Asociación de Maquiladoras y el Clúster de Nuevo León (CLAUT). Metalsa, como proveedor de autopartes nivel 1, apoyó estas asociaciones al empujar iniciativas y hacer el cabildeo necesario para los negocios con sus socios comerciales, como en el tema de reglas de origen (Ibarra-Castillo, 2018).

La integración de la industria automotriz en Norteamérica obligó a sus representantes en México a mantener una estrecha relación con sus homólogos en los Estados Unidos. AMIA e INA tienen una fuerte presencia y forman

parte de distintos consejos automotrices tanto en Estados Unidos como en Canadá (MEMA, 2018), lo que permitió tener la información y la capacidad suficiente para tratar temas específicos, como las reglas de origen y el VCR de autopartes. En entrevista, Bustamante-González (2018) consideró que esta relación también favoreció las alianzas entre empresas armadoras y sus proveedores, independientemente de las alianzas entre las asociaciones.

El “Cuarto de Junto”, a través del Cuarto de Inteligencia, preparó los estudios suficientes para explicar y justificar las posibles consecuencias de la oposición al TLCAN mediante reuniones antes y durante las rondas de renegociación. El objetivo fue informar el impacto negativo que tendría en Estados Unidos un incremento de las reglas de origen, sobre todo a proveedores, el empleo y, por supuesto, el costo para el consumidor final. Muchos estados de la Unión Americana desconocían las posibles repercusiones si no se llegaba a un acuerdo. Se realizaron veinte reuniones con gobernadores de Estados Unidos, decenas de funcionarios y representantes comerciales; se asistió a reuniones muy exclusivas con líderes empresariales, como las que hubo entre el Consejo Mexicano de Negocios y el *Business Round Table*, el *US Mexico CEO Dialogue* y el *National Governors Association* (Estañol y col., 2017). Se podría inferir que el trabajo de cabildeo en los Estados Unidos influyó en la decisión tomada por el presidente Donald Trump de modernizar el acuerdo, no de cancelarlo.

Finalmente, el mecanismo de consulta en México permitió llegar a la mesa de negociación con Estados Unidos y Canadá una vez exploradas las distintas posibilidades y propuestas del sector privado en todos los capítulos negociados. Como expuso Kalach-Mizrahi (2018) al final de la entrevista, “el apoyo del sector privado fue fundamental en la definición de una política comercial para hacer frente a las exigencias de la economía mundial”.

Es importante señalar que la renegociación del TLCAN culminó con el cierre de las ron-

das entre los tres países y la firma de un nuevo acuerdo el 30 de noviembre de 2018 (SE, 2019). En el marco de la reunión del G20 en Buenos Aires, Argentina, y en su último día como presidente de México, Enrique Peña Nieto y sus homólogos de Estados Unidos y Canadá, Donald Trump y Justin Trudeau, respectivamente, dieron luz verde para someter a sus congresos respectivos la ratificación del tratado. Posteriormente, las observaciones del partido demócrata en el Congreso de los Estados Unidos en 2019 condujeron a la nueva administración mexicana a atender observaciones, principalmente en el aspecto laboral y medio ambiental, así como en las temáticas del acero y aluminio. Sin embargo, la SE no convocó al CCE ni al “Cuarto de Junto”. Jesús Seade Kuri, nuevo subsecretario para América del Norte de la Secretaría de Relaciones Exteriores, fue designado responsable para atender las modificaciones al T-MEC. El presidente de México, Andrés Manuel López Obrador, Robert H. Lightizer, representante comercial de los Estados Unidos, y Chrystia Freeland, viceprimera ministra de Canadá, firmaron el Protocolo Modificatorio del T-MEC en Palacio Nacional el 10 de diciembre de 2019 (Presidencia de la República, 2019).

Lo anterior generó descontento e incertidumbre en el sector privado mexicano, que hasta la fecha sigue vigente. A principios de 2020, inconforme con la actitud de la nueva administración mexicana y su indiferencia hacia el sector privado, Moisés Kalach presentó al CCE su renuncia al cargo en el “Cuarto de Junto” (Hernández y Usla, 2020). El T-MEC entró en vigor el 1° de julio de 2020 y, con motivo de ello, el CCE emitió un comunicado de prensa en conjunto con las Cámaras de Comercio de los Estados Unidos y Canadá, haciendo un llamado a la unidad y manifestando la importancia del trabajo colaborativo entre los gobiernos y la comunidad empresarial de los tres países para lograr consolidar la competitividad de la región de Norteamérica (CCE, 2020). Al día de hoy, el CCE espera que el gobierno mexicano revalorice el mecanismo de consulta “Cuarto de Junto” y poder continuar con la colabora-

ción pública-privada que impulse el desarrollo económico del país.

CONCLUSIONES

La participación del sector privado de la industria automotriz fue determinante en los acuerdos alcanzados a favor de una política de apertura comercial del país y de integración para Norteamérica, promoviendo el fortalecimiento de las cadenas de suministro globales y favoreciendo la proveeduría y oportunidades de inversión nacional y extranjera para la industria automotriz y el sector de autopartes en México. El Consejo Coordinador Empresarial se mantiene firme en su rol de representación del sector, y el “Cuarto de Junto”, único en su género en Norteamérica, se consolida como el mecanismo de consulta pública-privada caracterizado por su flexibilidad y transparencia para atender las necesidades y prioridades del sector sin procesos largos y burocráticos, además de que no es regulado por el gobierno, lo que lo hace atractivo. La intensa interacción y consulta permanente entre el equipo negociador del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y el “Cuarto de Junto” permitió construir consensos antes y durante el proceso de renegociación 2017 a 2018, fomentando alianzas en México y en el extranjero. La información solicitada y generada por el sector privado fue precisa y muy oportuna para fortalecer la postura del país e incrementar la capacidad de negociación. Los avances y acuerdos fueron difundidos en tiempo real a todos los grupos de interés por medios oficiales de comunicación. Entre los retos se destaca la continuidad de proyectos en la actual administración de gobierno, sobre todo, seguir fortaleciendo de manera inclusiva, transparente y representativa los procesos de consulta pública-privada. Será interesante analizar la dinámica de participación del sector privado durante la administración del presidente de la República, Lic. Andrés Manuel López Obrador, la colaboración entre ambos sectores y la vigencia del mecanismo de consulta “Cuarto de Junto”.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación se deriva del proyecto RG-K1198 “*The political economy of trade po-*

licity in the Mexico-United States border region” financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2018. Un agradecimiento especial al Lic. Kenneth Smith, exjefe negociador

del TLCAN del gobierno mexicano, y al Lic. Moisés Kalach, máximo representante del sector privado mexicano, piezas clave en el proceso de renegociación del TLCAN.

REFERENCIAS

- Alba, C. (1997). La COECE: un caso de cooperación entre los sectores públicos y privado en México, en *Revista Comercio Exterior*. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/332/7/RCE7.pdf>. Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018.
- Alba, C. (2006). Los empresarios y la democracia en México. *Foro Internacional*. 46(1):122-149.
- Alfredson, T. and Cungu, A. (2008). Negotiation theory and practice. A review of literature, in *EASYPol*. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/docs/up/easypol/550/4-5_negotiation_background_paper_179en.pdf. Fecha de consulta: 10 de junio de 2020.
- AMIA, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (2018). Presentación ejecutiva conociendo la industria automotriz. [En línea]. Disponible en: <http://www.amia.com.mx/>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018.
- APINDO, Employers' Association of Indonesia (2020). History. [En línea]. Disponible en: <http://apindo.or.id/en/about/sejarah>. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020.
- Arteaga, A. (2018). Estos son los temas espinosos de la renegociación del TLCAN, en *El Excelsior*. [En línea]. Disponible en: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2018/02/26/1222844>. Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.
- Botero, C. (2017). Importancia y perspectivas de las alianzas público-privadas en el mundo, Latinoamérica y Colombia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*. 9(17): 133-159.
- Bustamante-González, A. (2018). Director de Comercio Exterior de la Industria Nacional de Auto-partes (INA) y miembro activo del “Cuarto de Junto”. Ciudad de México.
- Callista, J. (2018). Public-private consultation for free trade agreements negotiations in Canada and Indonesia, in *Trade and Private Sector Assistance Project (TPSA)*. [En línea]. Disponible en: <http://www.tpsaproject.com/wp-content/uploads/2017-11-01-Report-1213.01j.pdf>. Fecha de consulta: 13 de junio de 2020.
- CCE, Consejo Coordinador Empresarial (2018). Historia del Consejo. [En línea]. Disponible en: <http://www.cce.org.mx/historia/>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.
- CCE, Consejo Coordinador Empresarial (2020). El T-MEC está aquí, pero el trabajo apenas comienza. [En línea]. Disponible en: <https://www.cce.org.mx/el-t-mec-esta-aqui-pero-el-trabajo-empieza/>. Fecha de consulta: 1 de julio de 2020.
- CEFP, Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2017). Publicación sobre la industria automotriz en México y el Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN). [En línea]. Disponible en: <http://www.cefp.gob.mx/publicaciones/boletico/2017/becefp0072017.pdf>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018.
- Donahue, J. and Zeckhauser, R. (2011). *Collaborative governance*. New Jersey: Princeton University Press. 26 Pp.
- 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. *URBS, Revista Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*. 5(2): 127-142.
- Eden, L. and Molot, M. (1993). Continentalizing the North American auto industry. In R. Grinspun and M. Cameron (Eds.), *The political economy of North America free trade* (pp. 297-313). Londres: Palgrave Macmillan.
- Eisenhardt, K. (1989). Building theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*. 4(4): 532-550.
- El Norte (2017). “Acompaña Cuarto de Junto negociaciones”. 17 de noviembre de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://elnorte.com/Gyne5n/acompaa-cuarto-de-junto-negociaciones/>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2020.
- Enríquez-Rodríguez, P. (2020). Coordinador de Gestión Internacional de la Oficina de Representación del gobierno del Estado de Nuevo León en México. Monterrey, Nuevo León, México.
- Estañol, A., García, G., Lara, R., Rodríguez, I., Sánchez, S. y Valle, A. (2017). TLCAN entre bastidores, en *Revista Expansión*, No. 1217. [En línea]. Disponible en: <https://www.pressreader.com/mexico/expansion-mexico/20170815/282531543508973>. Fecha de consulta: 10 de junio de 2020.
- Europe Commission (2015). Trade for all. Towards a more responsible trade and investment policy. Comisión Europea. [En línea]. Disponible en: https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2015/october/tradoc_153846.pdf. Fecha de consulta: 5 de junio de 2020.
- Fernández-Arias, E., Sabel, Ch., Stein, E., and Trejos, A. (2016). *Public-Private collaboration for productive development policies*. Washington, DC: Inter-American Development Bank. [En línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/publication/12488/two-tango-public-private-collaboration-productive-development-policies>. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2018.
- Folson, R. (2014). *NAFTA. Free Trade and Foreign Investment*

in the Americas. USA: West Academy. 21 Pp.

Forbes (2018). Negociaciones sobre autos se reprogramaría entre rondas del TLCAN, en *Forbes México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/negociaciones-sobre-autos-se-reprogramarian-entre-rondas-del-tlcan/>. Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.

Gawande, K., Krishna, P., and Olarreaga, M. (2012). Lobbying competition over trade policy. *International Economic Review*. 53(1): 115-132.

Gereffi, G., Humphrey, J., and Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*. 12(1): 78-104.

Gobierno de México (2017). Prioridades de México en las negociaciones para la modernización del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/prioridades-de-mexico-en-las-negociaciones-para-la-modernizacion-del-tratado-de-libre-comercio-de-america-del-norte>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018.

Grinspun, R. and Cameron, M. (1993). *The political economy of North America free trade agreement*. Londres: Palgrave Macmillan. 3-5 Pp.

Hernández, L. y Usla, H. (2020). “Moisés Kalach deja el Cuarto de Junto, grupo que asesoró a México en el T-MEC”, en *El Financiero*. 6 de marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: https://amp-elfinanciero-com-mx.cdn.ampproject.org/v/samp.elfinanciero.com.mx/economia/mois-es-kalach-deja-el-cuarto-de-junto-grupo-que-asesoro-a-mexico-en-el-tmec?usqp=mq331AQFKAGwASA%3D&_js_v=0.1#aoh=15979366939359&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=De%20%251%24s&share=https%3A%2F%2Fwww.elfinanciero.com.mx%2Feconomia%2Fmoises-kalach-deja-el-cuarto-de-junto-grupo-que-asesoro-a-mexico-en-el-tmec. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2020.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta edición). México: McGraw Hill. 387 Pp.

Hillman, J. (2018). Profesora de Negocios Internacionales de la Universidad de Georgetown. San Pedro Garza García, Nuevo León, México.

Ibarra-Castillo, L. (2018). Coordinador TLCAN de Metalsa, empresa de autopartes. Monterrey, Nuevo León, México.

INA, Industria Nacional de Autopartes (2020). T-MEC reglas de origen automotriz. [En línea]. Disponible en: https://ina.com.mx/?page_id=1771. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020.

ITAC, Industry Trade Advisory Center (2020). International Trade Administration. Gobierno de los Estados Unidos. [En línea]. Disponible en: <https://legacy.trade.gov/itac/>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2020.

sulta: 12 de junio de 2020.

ITC, International Trade Centre (2020). Canada-trade policy consultation mechanisms. [En línea]. Disponible en: <https://www.intracen.org/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-licensing5/>. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020.

Jiménez, A. (2017). “El Cuarto de Junto, el brazo negociador de la IP en el TLCAN”, en *el Economista.es*. 16 de agosto de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.economiahoy.mx/economia-eAm-mexico/noticias/8553870/08/17/-Cuarto-de-Junto-el-brazo-negociador-de-la-IP-en-el-TLCAN.html>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2018.

KADIN, Chamber of Commerce (2020). Business Service Desk. [En línea]. Disponible en: <https://bsd-kadin.org/kadin-indonesia/>. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020.

Kalach-Mizrahi, M. (2018). Coordinador General del Consejo Consultivo Estratégico de Negocios Internacionales (CCENI) y Coordinador General del “Cuarto de Junto”. Monterrey, Nuevo León, México.

Klier, T. and Rubenstein, J. (2017). Mexico’s growing role in the auto industry under NAFTA: Who makes what and what goes where. Federal Reserve Bank of Chicago. *Economic Perspective*. 6: 1-29.

Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones (2019). Última reforma, en *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LCEC_120419.pdf. Fecha de consulta: 30 de mayo de 2019.

Malpica-Soto, G. (2020). Ex jefe de mesas de negociación del TLCAN y ex jefe de la Oficina del TLCAN del Gobierno de México en Estados Unidos. Monterrey, Nuevo León, México.

MEMA, Motor and Equipment Manufacturers Association (2018). Renegociación del TLCAN y los grupos de interés participantes. [En línea]. Disponible en: <https://www.mema.org/trade#nafta>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018.

Mexico Business Publication (2017). Mexico automotive review. [En línea]. Disponible en: https://issuu.com/mexicobusinesspublishing/docs/mar_2017_complete_book_issuu_-_new. Fecha de consulta: 18 de junio de 2018.

Milenio (2017). “Por negociación del TLCAN se instala Cuarto de Junto en Washington”, en *Milenio Digital*. 26 de agosto de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.milenio.com/negocios/por-negociacion-del-tlcan-se-instala-cuarto-de-junto-en-washington>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2018.

Monreal, B. (2018). La influencia del sector privado en los nuevos acuerdos comerciales. Agenda Pública, en *El País*. [En línea]. Disponible en: <http://agendapublica.elpais.com/la-influencia-del-sector-privado-los-nuevos-acuerdos-comerciales/>. Fecha de consulta: 13 de junio de 2020.

Montoya-Ortega, M. (2018). Director General del Clúster

Automotriz, AC (CLAUT). San Pedro Garza García, Nuevo León, México.

Multimedios (2018). "CAINTRA en Nuevo León celebra nuevo acuerdo comercial USMCA". 2 de octubre de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.multimedios.com/local/caintra-en-nl-celebra-nuevo-acuerdo-comercial-usmca>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2020.

OICA, International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2017). Producción de automóviles en región TLCAN. [En línea]. Disponible en: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2017-statistics/>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2018.

Olea, M. (1993). The mexican automotive industry in the NAFTA negotiation. In M. Molot (Ed.), *Driving continentally. National practices and the North America auto industry* (pp. 355-370). Ottawa: Carleton University Press.

Oxford Business Group (2017). The report Mexico. México: Oxford Business Group. [En línea]. Disponible en: <https://oxfordbusinessgroup.com/mexico-2017>. Fecha de consulta: 18 de junio de 2018.

Oxford Business Group (2018). The report Mexico. México: Oxford Business Group. [En línea]. Disponible en: <https://oxfordbusinessgroup.com/mexico-2018>. Fecha de consulta: 18 de junio de 2018.

Polack, A., Martínez, S. y Ramírez, Ch. (2019). Las asociaciones público-privadas como instrumento de gobernanza colaborativa: apuntes para el debate y retos para la gestión. *Reflexión Política*. 21(43): 171-183.

Presidencia de la República (2019). "En Palacio Nacional presidente López Obrador celebra firma de protocolo modificatorio al TMEC". 10 de diciembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/presidencia/prensa/en-palacio-nacional-presidente-lopez-obrador-celebra-firma-de-protocolo-modificatorio-al-t-mec?idiom=es>. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2020.

ProMéxico (2015). The automotive industry: leading the world, en *Negocios*. [En línea]. Disponible en: <https://books.apple.com/gb/book/prom%C3%A9xico-abril-mayo-the-mexican-automotive-industry/id1015458439>. Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2018.

ProMéxico (2016). La Industria Automotriz Mexicana: Situación Actual, Retos y Oportunidades, en *Secretaría de Economía*. [En línea]. Disponible en: <http://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-automotriz-mexicana.pdf>. Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2018.

Puga, C. (2004). *Los empresarios organizados y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. México: Universidad Nacional Autónoma de México/Miguel Ángel Porrúa. 288 Pp.

Rodríguez, H. y Oddone, N. (2015). Alianzas público-privadas como motor de la innovación local transfronteriza. En K. M.

Ramírez, M. Reyes y A. Figueroa (Eds.), *Gobernanza y políticas públicas* (pp. 155-181). Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California.

Rodrik, D. (2004). Industrial policy for the Twenty-First Century. KSG working paper No. RWP04-047. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.617544>. Fecha de consulta: 15 de abril de 2020.

SE, Secretaría de Economía (2017a). *Declaración trilateral sobre la conclusión de la primera ronda de negociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/declaracion-trilateral-sobre-la-conclusion-de-la-primera-ronda-de-negociaciones-del-tratado-de-libre-comercio-de-america-del-norte-122167?idiom=es>. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2019.

SE, Secretaría de Economía (2017b). *Mexico's Auto Industry. 23 years since NAFTA and beyond*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/08/Sandoval.pdf>. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018.

SE, Secretaría de Economía (2019). TLCAN: inicia el año 26 de su entrada en vigor. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/prensa/tlcan-inicia-el-ano-26-de-su-entrada-en-vigor>. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2020.

Smith-Ramos, K. (2020). Ex jefe negociador del TLCAN del gobierno mexicano. Ciudad de México.

Solís-Sánchez, E. (2018). Presidente de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) y miembro activo del "Cuarto de Junto". Ciudad de México.

Teichman, J. (1993). Dismantling the mexican state and the role of the private sector. In R. Grinspun and M. Cameron (Eds.), *The Political Economy of North America Free Trade*. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-349-13325-3_11. Fecha de consulta: 8 de enero de 2018.

Trade Representative, Office of the United States (2018). Notice of continuation and request for nominations for the industry trade advisory committee. [En línea]. Disponible en: <https://www.federalregister.gov/documents/2018/05/10/2018-09966/notice-of-continuation-and-request-for-nominations-for-the-industry-trade-advisory-committees>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2020.

Velut, J. (2016). What role for civil society in cross-regional mega-deals? A comparative analysis of EU and US Trade Policies, in *Revue interventions économiques*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4000/interventionseconomiques.2839>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2020.

Yin, R. (2014). *Case study research. Design and Methods*. (Fifth edition). California: SAGE. 111 Pp.



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

Estrategias de flexibilidad y su relación con el ambiente laboral, la dedicación y el reto intelectual

Flexibility strategies and their relationship with workplace environment, dedication and intellectual challenge

Sergio Madero-Gómez¹, Oscar Eliud Ortiz-Mendoza^{2*}, Eva María Guerra-Leal¹

RESUMEN

Las empresas han integrado estrategias de flexibilidad como parte importante en los procesos de recursos humanos, principalmente como un componente más de su salario emocional. El objetivo de esta investigación fue establecer de qué manera la flexibilidad laboral se relaciona con la dedicación, el reto intelectual y el ambiente laboral que perciben las personas en su lugar de trabajo. Se realizó una investigación de tipo cuantitativo durante el mes de noviembre de 2018, en el que se aplicó un cuestionario en línea de 38 reactivos, obteniendo una muestra de 282 trabajadores mexicanos de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México. El 95.4 % de los entrevistados manifestaron interés por al menos una de las variantes de trabajo flexible. La modalidad de trabajo en espacios abiertos fue la opción menos aceptada, con una preferencia del 7.8 %. Se encontró correlación positiva entre el ambiente laboral y el balance positivo por trabajo flexible. El ambiente laboral también mostró alta correlación positiva con la dedicación y el reto intelectual. Lo anterior resulta de interés en el contexto actual para las estrategias de recursos humanos y el ambiente empresarial.

PALABRAS CLAVE: flexibilidad, ambiente laboral, dedicación, reto intelectual, recursos humanos.

ABSTRACT

Currently, there are many companies in the world that have been integrating flexibility strategies as an important part in the human resources processes, mainly as an additional component of their emotional salary. The aim of this research is to understand the correlation between job flexibility and dedication, intellectual challenge and the work environment that people perceive in their workplace. A quantitative research was carried out during November 2018. An online questionnaire of 38 items was administered to a sample of 282 Mexican workers from the city of Monterrey, Nuevo León in Mexico. Findings indicate that 95.4 % of interviewees showed an interest for at least one of the flexible work variants. The open space work modality was the least desirable with a 7.8 % preference. A positive correlation between work environment and a positive balance due to flexible work was found. The working environment similarly showed a high positive correlation with dedication and intellectual challenge. The foregoing findings are of interest to the current context for human resource strategies and the business environment.

KEYWORDS: flexibility, workplace environment, dedication, intellectual challenge, human resources.

*Correspondencia: a007877780@itesm.mx / Fecha de recepción: 14 de septiembre de 2020 / Fecha de aceptación: 25 de enero de 2021 / Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Tecnológico de Monterrey, Escuela de Negocios, Monterrey, Nuevo León, México. ²Tecnológico de Monterrey, EGADE Business School, Rufino Tamayo y Eugenio, Avenida Eugenio Garza Lagüera, Valle Oriente, San Pedro Garza García, Nuevo León, México, C. P. 66269.

INTRODUCCIÓN

A través de los años se han presentado cambios demográficos, culturales, económicos y sociales que han modificado diferencialmente las condiciones laborales tradicionales (Pérez-Pérez, 2002; Gabinil, 2016; Ovando-Aldana y col., 2018). Las organizaciones se han vuelto más competitivas y se ha hablado sobre la importancia que tienen los empleados dentro de la misma, ya que juegan un papel muy importante para lograr tener éxito. Es así que, muchas organizaciones han comenzado a ofrecer a sus empleados diferentes propuestas que ayuden a beneficiarlos de manera personal y profesional, llamándolos “arreglos de trabajo flexible” (Werther y col., 2019: 306).

Históricamente, los arreglos de trabajo flexible (TF) o también conocidos como opciones de TF se remontan a la era de la pre-industrialización en los Estados Unidos, en el que muchos eran trabajadores autónomos o campesinos, determinando sus propios horarios de trabajo (Ronen, 1981). Después de este periodo, en la era de la industrialización, se establecen reglamentos y políticas relacionadas con los procesos de la administración de personal, como la conciliación entre la vida y el trabajo y el esquema de equidad de género (Armiño, 2018). Por otra parte, Lakshmi (2020), así como Ugargol y Patrick (2018) revelaron que, con el TF, se puede lograr un impacto positivo en la moral de los empleados, en la satisfacción por el trabajo, en la reducción de los costos de producción y en un menor número de accidentes.

En México, Contreras (2000) indicó que en la década de los años noventa, el tema de la flexibilidad tuvo mayor atención en los estudios acerca del trabajo, destacando una serie de aspectos relevantes a considerar, por ejemplo, que existe una diversidad de problemas que se basan en aspectos relacionados con el concepto de flexibilidad, debido a que se observa un uso indiscriminado del término, sin llegar a un consenso, además de las interpretaciones que cada una de las personas hace mediante los instrumentos de medición que utilizan, y final-

mente reveló que existe ausencia de trabajos debidamente estructurados, pues en ocasiones, se basan en percepciones subjetivas, que hacen aportaciones sin un rigor metodológico exigente. Posteriormente, Ovando-Aldana y col. (2018), hacen una revisión del tema, en la década de 2005 a 2015, abordando la problemática salarial por el trabajo que se realiza con tiempo parcial en la industria manufacturera en México, lo que confirma la relevancia de elaborar trabajos de investigación en los temas relacionados con las prácticas de recursos humanos, para poder apoyar a los responsables de esas áreas a diseñar estrategias que mejoren las condiciones y el ambiente de trabajo en sus instalaciones.

El término TF, es referido como un arreglo de trabajo, en el cual se pone a disposición de los empleados la opción de decidir cuándo, dónde, y durante cuánto tiempo realizan tareas relacionadas con el trabajo (Hall y Atkinson, 2006; Grzywacz y col., 2008; Hill y col., 2008; Arancibia-Fernández, 2011; Román-Sánchez y Ovando-Aldana, 2016; Lakshmi, 2020). Dicho de otra manera, un arreglo de TF podría clasificarse en cuatro categorías o clasificaciones: 1) las que incluyen un cambio en las horas de trabajo (trabajando menos horas o cambiando las horas de inicio y salida), conocido como horario flexible; 2) un cambio de lugar de trabajo, es decir, realizar las actividades laborales desde casa o en algún otro lugar fuera de las instalaciones de la empresa; 3) teniendo un esquema de trabajo en espacios abiertos, es decir, compartiendo espacios de trabajo (Halpern, 2005; Méndez-Sosa y col., 2013; Bhalla, 2015), y 4) se pueden considerar como esquemas de pagos flexibles, es decir, aspectos de compensación variable, ofrecer una remuneración a los empleados para fortalecer el cumplimiento de ciertos objetivos laborales, asignando un incentivo económico fuera de su ingreso salarial determinado (Hoyos y col., 2005). Para la presente investigación se decidió considerar como aspectos de TF a los 4 citados anteriormente que se mencionan en Madero y Barboza (2015), y son los que las empresas utilizan como una estrategia de la función de recursos humanos.

Hoy en día, son muchas las empresas en el mundo que han integrado esta práctica de la flexibilidad como parte de su salario emocional y se ha vuelto un factor esencial para comprender las tendencias que existen hacia el futuro de los ambientes de trabajo (Eaton, 2003; Barney y Elias, 2010; Deloitte, 2017), pues si las organizaciones no logran apoyar a sus empleados, creando un puente sobre su trabajo y la vida familiar, se pudiera generar un grave conflicto (Dollard y Bakker, 2010; Armijo, 2018). Por su parte, Pérez-Pérez (2002), Ibarra-Cisneros y González-Torres (2010) y Madero-Gómez y Barboza (2015), señalaron que, en México, el reto que enfrenta el aparato productivo es principalmente en aspectos de flexibilidad, con la finalidad de mejorar el ambiente y las condiciones generales de trabajo.

Debido a que la flexibilidad es una de las tendencias en la actualidad, en los lugares de trabajo, por parte de las áreas de recursos humanos (Añez-Hernández, 2016; Deloitte, 2017; Martín-Fiorino y Reyes, 2020) y forma parte de los procesos de cambio y modernización, existe un debate en lo que respecta a los efectos que tienen los cambios en el ambiente de trabajo, ocasionados principalmente por la implementación de estrategias de flexibilidad, pues así como existen acciones de mejora en las condiciones de trabajo, teniendo efectos en los resultados individuales y colectivos de la empresa, también se señala que, el ambiente de trabajo es uno de los principales afectados, cuando las estrategias de flexibilidad no son implementadas de la mejor manera posible, ya que generan en el personal malestar, enojo, frustración, así como otras actitudes negativas, que con el paso del tiempo se van corrigiendo (Nakrošienė y col., 2019; Barzilay y col., 2020), pero de todas maneras, el proceso de estabilidad y aceptación a las nuevas condiciones es más lento y en ocasiones doloroso, y finalmente afecta la satisfacción del colaborador y su permanencia.

En lo que respecta a la dedicación, se puede mencionar que es un estado mental positivo, satisfactorio y relacionado con el trabajo que

se caracteriza por la inspiración, el vigor, el orgullo y el reto, entre algunos otros aspectos más (Schaufeli y col., 2002). En este sentido, De-la-Cruz y col. (2017) realizaron una investigación para adaptar y validar la Escala de Utrecht de *engagement* (involucramiento) en el trabajo (UWES, por sus siglas en inglés: Utrecht Work Engagement Scale) de Schaufeli y col. (2002), en estudiantes mexicanos. Por su parte Flores-Jiménez y col. (2015) reportaron que la dedicación evalúa el sentido o significado del trabajo, el sentirse entusiasmado y orgulloso por su labor. Destacaron que: “la dedicación se refiere a estar fuertemente motivado en el trabajo y experimentar un sentido de significancia, entusiasmo, inspiración, orgullo y desafío” (p. 196), por lo que se puede destacar que, todo trabajo bien realizado requiere de dedicación y empeño para poder realizarlo.

Finalmente, es importante mencionar que, la realización de actividades en espacios flexibles o espacios abiertos, representa un reto intelectual para los principales involucrados, debido a que requiere de mayores esfuerzos de concentración, dedicación, esfuerzo realizado, atención y disposición para trabajar, ya que existe una gran variedad de distractores, como el ruido (Mak y Lui, 2012) y el uso de las redes sociales; es muy fácil que las personas sean víctimas de estos detalles que existen en el ambiente laboral y de alguna manera afectan el rendimiento y la productividad de las personas en su lugar de trabajo (Fílardí y col., 2020).

El objetivo de la presente investigación fue determinar la percepción que tienen las personas en su lugar de trabajo hacia los aspectos de flexibilidad, e identificar la relación que existe entre estos aspectos del trabajo flexible con el ambiente laboral, la dedicación y el reto intelectual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio tiene un enfoque descriptivo, cuantitativo y correlacional. Se siguió el diseño propuesto por Ugargol y Patrick (2018), quienes analizaron la importancia de la utilización de las ofertas de arreglos flexibles en el trabajo y las implicaciones que tiene en el

comportamiento de las personas. En la Figura 1 se presenta el diagrama conceptual utilizado en este trabajo.

Diseño del instrumento de medida

Para definir el instrumento de este estudio se utilizaron 4 constructos: aspectos de trabajo flexible, ambiente laboral, dedicación y reto intelectual, que fueron la base para el diseño de las escalas de medición. El instrumento aplicado se integró con 38 reactivos, 6 correspondientes a la sección de datos demográficos, 2 relacionados con las actividades de trabajo flexible que realizan y 30 que miden los constructos mencionados. En estos 30 reactivos se utilizaron escalas de medición tipo Likert de 1 a 5 puntos, donde 1 es completamente en desacuerdo y 5 es completamente de acuerdo.

La evaluación de los diferentes constructos y las dimensiones de las diferentes variables que los componen se integró como se describe a continuación.

Aspectos del trabajo flexible (TF)

Se midió a través del cuestionario de opciones de trabajo flexible (FWOQ, por sus siglas en inglés: Flexible Work Options Questionnaire, versión 2) (Albion, 2004), compuesto por 10 reactivos y se identificaron dos dimensiones: el balance que proporciona el trabajo flexible (TF BAL) y los efectos negativos del trabajo

flexible (TF NEG) (Tabla 1), utilizando en el proceso de adaptación la estrategia de traducción inversa, como lo mencionan Alcaraz-Ibáñez y col. (2017); Trigueros y col. (2017) y también Luján-Tangarife y Cardona-Arias (2015).

Ambiente laboral (AMBLAB)

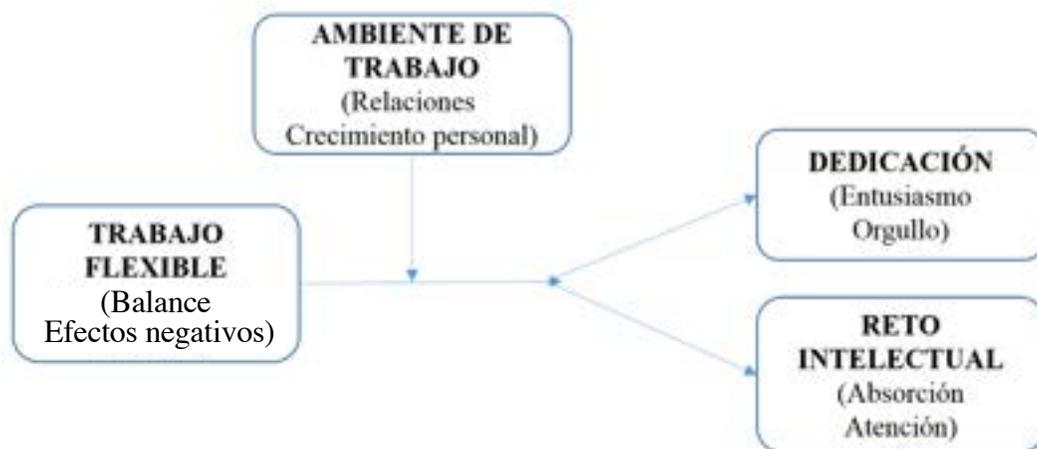
Se adaptó y se diseñó una escala de 8 reactivos a partir de los atributos que se refieren en Pérez-Perea y col. (2009), seleccionando dos subdimensiones: relaciones interpersonales (RELAC) y crecimiento personal (CR PER) (Tabla 2).

Dedicación (DEDIC)

Para este constructo se seleccionaron y se adaptaron dos subdimensiones del instrumento de Escala de Compromiso Laboral de Utrecht, de Schaufeli y col. (2002) y De-la-Cruz y col. (2017), que son entusiasmo (ENTUS) y orgullo (ORGULL), medidos a través de 6 reactivos (Tabla 3), utilizando en el proceso de adaptación la estrategia de traducción inversa como lo refieren Alcaraz-Ibáñez y col. (2017); Trigueros y col. (2017) y también Luján-Tangarife y Cardona-Arias (2015).

Reto intelectual (RETO INT)

Se empleó la Escala del Compromiso Intelectual, Social y Afectivo (ISA, por sus siglas en inglés: Intellectual, Social, Affective Engagement Scale) (Soane y col., 2012), para medir absorción (ABSOR) y atención (ATENC), seleccionando



■ **Figura 1. Diagrama conceptual de la presente investigación.**

Figure 1. Conceptual diagram of the present investigation.

■ **Tabla 1. Reactivos de los aspectos del trabajo flexible.**

Table 1. Items of the flexible-work aspects.

TF BAL1	Los arreglos de trabajo flexibles me ayudan a equilibrar los compromisos de vida.
TF NEG1	Las opciones de trabajo flexibles no me satisfacen porque tienden a hacerme sentir desconectado del lugar de trabajo.
TF NEG2	Trabajar menos horas tendría un impacto negativo en el progreso de mi carrera dentro de la organización.
TF BAL2	Trabajar más horas flexibles es esencial para mí para atender las responsabilidades familiares.
TF BAL3	Los arreglos de trabajo flexibles son esenciales para mí para participar en eventos familiares y sociales.
TF BAL4	Los arreglos de trabajo flexibles me permiten concentrarme más en el trabajo que cuando estoy en el lugar de trabajo.
TF NEG3	Las personas en mi lugar de trabajo reaccionan negativamente a las personas que utilizan arreglos de trabajo flexibles.
TF NEG4	Las personas que usan arreglos de trabajo flexibles generalmente tienen menos compromiso con su rol de trabajo.
TF NEG5	Las personas que utilizan arreglos de trabajo flexibles a menudo pierden importantes eventos de trabajo o comunicaciones, como reuniones de personal, sesiones de capacitación, avisos y mensajes, etc.
TF NEG6	No podría hacer un trabajo remunerado en absoluto, si no pudiera usar arreglos de trabajo flexibles.

Fuente: modificado a partir de Albion (2004).

■ **Tabla 2. Reactivos de los aspectos de ambiente laboral.**

Table 2. Items of the workplace environment aspects.

RELAC1	Mi supervisor se preocupa por mi persona.
RELAC2	Mis compañeros de trabajo son comprometidos a hacer un trabajo de calidad.
RELAC3	Me siento animado por los demás en el desarrollo de mi trabajo.
RELAC4	Tengo una buena relación con mis compañeros de trabajo.
CR PER1	Recibo retroalimentación de mi progreso.
CR PER2	Tengo la oportunidad de realizar lo que mejor se hacer todos los días.
CR PER3	He tenido la oportunidad de crecer y aprender dentro de la empresa.
CR PER4	He recibido reconocimiento o elogio por hacer un buen trabajo últimamente.

Fuente: modificado a partir de Pérez-Perea y col. (2009).

■ **Tabla 3. Reactivos de los aspectos de dedicación.**

Table 3. Dedication aspects Items.

ENTUS1	Mi trabajo me inspira.
ENTUS2	Estoy entusiasmado con mi trabajo.
ENTUS3	Espero con ansias ir a trabajar.
ORGULL1	Estoy orgulloso del trabajo que hago.
ORGULL2	Estoy satisfecho con los resultados de mi esfuerzo.
ORGULL3	Me encuentro feliz con mi rendimiento laboral.

Fuente: modificado a partir de Schaufeli y col. (2002).

y adaptando 6 reactivos (Tabla 4). Utilizando en el proceso de adaptación la estrategia de traducción inversa, como lo refieren Alcaraz-Ibáñez y col. (2017); Trigueros y col. (2017) y también Luján-Tangarife y Cardona-Arias (2015).

La versión final del instrumento de medida se compuso de 38 reactivos, 6 correspondientes a la sección de datos demográficos, 2 relacionados con las actividades de trabajo flexible que realizan y 30 que son los que se mencionan anteriormente, en estos reactivos se utilizaron escalas tipo Likert de 1 a 5 puntos, donde 1 es completamente en desacuerdo y 5 es completamente de acuerdo.

Muestra y recolección de datos

Las encuestas se realizaron dentro del área metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México, durante el periodo comprendido del 16 al 30 de noviembre de 2018. Se trabajó con un muestreo de conveniencia, utilizando los criterios de que los participantes estuvieran trabajando formalmente en una empresa y fueran mayores de edad. Mediante las redes de contacto de los autores se envió la encuesta de manera digital, la cual fue elaborada por medio de Google Forms, obteniendo un total

■ **Tabla 4. Reactivos de los aspectos de reto intelectual.**

Table 4. Intellectual challenge aspects items.

ABSOR1	Cuando realizo mis actividades el tiempo pasa rápidamente.
ABSOR2	Cuando estoy trabajando olvido todo lo que pasa alrededor de mí.
ABSOR3	Por lo general, me encuentro inmerso en mi trabajo.
ATENC1	Raramente me distraigo cuando realizo mi trabajo.
ATENC2	Por lo general, se me facilita concentrarme en mi trabajo.
ATENC3	Por lo general, presto atención a los detalles en mi trabajo.

Fuente: modificado a partir de Soane y col. (2002).

de 282 encuestas válidas para poder participar (Tabla 5). Es conveniente señalar que, ninguna persona recibió algún tipo de recompensa por el llenado del instrumento aplicado. Posteriormente, para el análisis de los datos, se utilizó el *software* estadístico IBM-SPSS versión 24.

Validación del instrumento de medida

Para la validación del instrumento, se realizó un análisis factorial exploratorio y para medir la confiabilidad se utilizó el alfa de Cronbach, para verificar la factibilidad de estos análisis. Se obtuvieron los estadísticos KMO = 0.890 y el coeficiente de esfericidad de Bartlett de 4 047.67 con un nivel de significancia de 0.00. El mo-

■ **Tabla 5. Características de los participantes.**

Table 5. Characteristics of the participants.

Datos demográficos	N	Porcentaje
Género		
Masculino	129	45.7 %
Femenino	153	54.3 %
Estado Civil		
Soltero	161	57.1 %
Casado	108	38.3 %
Otro/prefiero no contestar	13	4.6 %
Año de nacimiento		
Antes de 1963	12	4.3 %
Entre 1964 y 1980	57	20.2 %
Después de 1981	213	75.5 %
Nivel académico		
Preparatoria	38	13.5 %
Carrera profesional	183	64.9 %
Posgrado	61	21.6 %
Experiencia laboral		
Entre 1 y 5 años	109	38.7 %
Entre 6 y 10 años	113	40.1 %
Más de 10 años	60	21.3 %
Capital de la empresa		
Nacional	170	60.3 %
Extranjero	112	39.7 %
	n = 282	100 %

delo factorial resultante de las pruebas de validez de convergencia y divergencia se muestra en la Tabla 6, en donde se observa que cada reactivo presenta carga mayor de 0.500 en una dimensión, y no presenta carga mayor a 0.400 en algún otro lugar. Los cinco constructos identificados fueron: 1. Dedicación (integrado por ENTUS: entusiasmo y ORGULL: orgullo); 2. Ambiente laboral (integrado por RELAC: relaciones interpersonales y CR PER: crecimiento personal); 3. Reto intelectual (integrado por ABSOR: absorción y ATENC: atención); 4. Efectos negativos del trabajo flexible (TF NEG); y 5. Balance que proporciona el trabajo flexible (TF BAL).

■ **Tabla 6. Matriz rotada de componentes.**
Table 6. Rotated matrix components.

	1	2	3	4	5
TF BAL1					0.588
TF NEG1				0.645	
TF NEG2				0.551	
TF BAL2					0.736
TF BAL3					0.769
TF BAL4					0.655
TF NEG3				0.535	
TF NEG4				0.731	
TF NEG5				0.734	
ENTUS1	0.775				
ENTUS2	0.830				
ENTUS3	0.695				
ORGULL1	0.787				
ORGULL2	0.719				
ORGULL3	0.702				
RELAC1		0.696			
RELAC2		0.747			
RELAC3		0.686			
RELAC4		0.577			
CR PER1		0.768			
CR PER2		0.478			
CR PER3		0.618			
CR PER4		0.639			
ABSOR1			0.459		
ABSOR2			0.708		
ABSOR3			0.782		
ATENC1			0.701		
ATENC2			0.665		
ATENC3			0.511		
Metodo de extracción: análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.					

Se realizaron las pruebas de confiabilidad de cada uno de los constructos resultantes, obteniendo los índices de confiabilidad correspondientes. En el balance que proporciona el trabajo flexible (TF BAL) se obtuvieron 4 reactivos y un alfa de Cronbach ($\alpha = 0.682$), mientras que para los efectos negativos del trabajo flexible (TF NEG) permanecieron solo 5 reactivos, con un $\alpha = 0.693$, eliminándose el ítem TF NEG6 (No podría hacer un trabajo remunerado en absoluto, si no pudiera usar arreglos de trabajo flexibles) por no cumplir estadísticamente con los porcentajes de las cargas factoriales correspondientes. Para el apartado de ambiente de trabajo, se obtuvo un $\alpha = 0.888$ con los 8 reactivos utilizados. Por su parte, para el constructo de dedicación, se registró un $\alpha = 0.906$ con los 6 reactivos que se utilizaron en el instrumento, y finalmente para el reto intelectual se obtuvo un índice de confiabilidad de 0.793 con los 6 reactivos respectivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 76.2 % de la población encuestada reportó que en su lugar de trabajo existe flexibilidad laboral, perteneciendo el 48.6 % al esquema de tiempo flexible (horarios personalizados), es decir, tienen preferencias en sus horarios de entradas y de salida, mientras que el 15.2 % trabajaba en espacios abiertos, que son aquellos lugares disponibles para realizar su trabajo en áreas comunes, donde no hay oficinas cerradas o cubículos asignados; mientras el 12.4 % tenía la opción actual de trabajar desde casa o bien la disponibilidad de hacer una parte de sus actividades fuera del lugar de trabajo. El 23.8 % de los participantes no laboraba bajo ninguno de estos esquemas flexibles, por lo que se consideró para términos de este estudio como una “empresa tradicional”.

Respecto a la opinión de los participantes, en cuanto a si les parecía más atractivo (deseado) tener un esquema de TF, el 73.4 % respondió que sí, principalmente en la categoría de horarios personalizados y trabajo a distancia o trabajo en casa (Tabla 7). Sin embargo, entre los 66 participantes que manifestaron que deseaban conservar su actual forma de empleo,

■ **Tabla 7. Preferencias del tipo de flexibilidad.**

Table 7. Flexibility type preferences.

	Frecuencia	Porcentaje
Tiempo flexible	100	35.5 %
Espacios abiertos	13	4.6 %
Trabajo desde casa o a distancia	94	33.3 %
Quedarse con el mismo	66	23.4 %
No les gustaría tener flexibilidad	9	3.2 %
	282	100 %

62 laboraban bajo alguna de las condiciones de flexibilidad, por lo que el 95.4 % prefiere este tipo de arreglo laboral. Pero es importante que las empresas consideren que la flexibilidad laboral no sea obligatoria, ya que, en ocasiones, los arreglos de TF tienen resultados negativos. Al respecto, Kaduk y col. (2019), reportaron que, cuando el trabajo flexible se realiza de manera involuntaria, produce conflicto trabajo-familia, intención de rotación e insatisfacción laboral. En el presente estudio, el 3.2 % reportó que no le gustaría tener un arreglo de TF y 4 de las 66 personas que deseaban conservar su situación laboral actual trabajaban en situaciones de no flexibilidad (1.4 %), lo que indica que al 4.6 % de la población no le agrada este tipo de esquema.

Los espacios abiertos fueron el esquema flexible menos atractivo entre los encuestados, con una preferencia por ellos de sólo 13 (4.6 %), que sumados a los 9 que actualmente trabajan en ese modelo y desean conservarlo se tiene una preferencia global de solo 7.8 %. Esto coincide con la literatura, ya que se ha reportado que existe disminución de la productividad cuando se trabaja en espacios abiertos, debido al ruido generado en el ambiente de trabajo (Mak y Lui, 2012).

De acuerdo con lo que Pérez-Pérez (2002) mencionó, el reto que enfrenta el aparato productivo mexicano sigue siendo la modernización

de las condiciones generales de trabajo. Mediante los procesos de flexibilidad se podrán lograr una serie de beneficios, tanto para las personas como para las empresas, como la reducción de tiempos muertos en los traslados casa-lugar de trabajo-casa, ahorro en gastos para las empresas, al no tener toda la plantilla laboral en el lugar de trabajo asignado; y para los empleados, el ahorro en gastos se podría dar cuando las distancias son mayores o se ocupa uno o dos servicios de transporte público, que pudieran ser más costosos que el gasto de la energía eléctrica en casa, por realizar el trabajo en ese lugar. Además, de mejorar en los niveles de calidad de vida, debido a que las personas tendrían más tiempo para poder realizar algunas otras actividades, como mayor interacción con su familia, más tiempo para realizar actividades de distracción, como ejercicio o algún otro pasatiempo, entre otras más. Como lo refirió también Contreas (2000), es conveniente resaltar la relevancia que tiene el tema de flexibilidad como un aspecto estratégico en el diseño de los procesos de trabajo en el corto y mediano plazo, con la finalidad de poder entender el impacto que pudiera tener en el entorno social y económico.

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para identificar si existían diferencias en los promedios de las diversas variables estudiadas. Para estas comparaciones se utilizaron los datos demográficos para observar si sus percepciones respecto a cada variable presentan diferencias que puedan relacionarse con el género (masculino y femenino), estado civil (soltero y casado), edad (nacidos antes de 1981 y nacidos después de 1981), experiencia laboral (menos de 5 años y más de 5 años), origen del capital de la empresa (nacional y extranjero) y si cuentan con arreglos de flexibilidad en el trabajo. En la Tabla 8 se muestra que únicamente cinco variables presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los constructos analizados.

Se puede observar que para el balance que genera el trabajo flexible (TF BAL), únicamente se muestra diferencia significativa en la percep-

■ **Tabla 8. Diferencias significativas en las variables de la investigación.**

Table 8. Significant differences in the research variables.

	Género	Edo. Civil	Edad	Experiencia	Capital	Flexibilidad
TF BAL	-	-	-	-	-	0.03*
TF NEG	-	-	-	-	-	-
AMBLAB	-	-	-	-	-	0.00*
DEDIC	-	0.01*	-	-	0.00*	0.00*
RETO INT	-	-	-	-	-	-

*Corresponde al nivel de significancia obtenido en la ANOVA.

ción de los entrevistados ($F = 4.904$, $sign. = 0.03$) cuando se presentan arreglos de flexibilidad en el trabajo ($Prom = 4.23$, desviación estándar $[DE] = 0.68$) y cuando no se presentan este tipo de arreglos ($Prom = 4.01$, $DE = 0.71$). Las percepciones negativas del TF no muestran diferencias entre los diferentes grupos demográficos seleccionados. Es conveniente recordar que un valor de 5 significa que el entrevistado está totalmente de acuerdo con el aspecto evaluado.

En lo que respecta a la variable ambiente laboral (AMBLAB), existe diferencia significativa ($F = 9.399$, $sign. = 0.00$) cuando se presentan esquemas de flexibilidad en el trabajo ($Prom = 4.18$, $DE = 0.74$) y cuando las personas no lo tienen ($Prom = 3.85$, $DE = 0.81$), implicando que existe un mejor ambiente laboral cuando se presentan los esquemas flexibles en el trabajo.

En la variable dedicación (DEDIC), se registró el mayor número de diferencias significativas, con tres aspectos, el estado civil ($F = 6.12$, $sign. 0.01$), donde la percepción que tienen los solteros ($Prom = 4.04$, $DE = 0.76$) es diferente a la percepción de los casados ($Prom = 4.26$, $DE = 0.63$), lo que parece indicar que los participantes casados reportaron mayor dedicación en su trabajo. Otra diferencia se presentó en el origen del capital de la empresa ($F = 9.105$, $sign = 0.00$), quienes trabajaban para empresas con capital nacional reportaron una mayor dedicación ($Prom = 4.24$, $DE= 0.67$), comparado con quienes laboraron para las empresas con capital extranjero ($Prom = 3.98$, $DE= 0.78$). Finalmente, se puede observar en los resulta-

dos que, también existe diferencia estadística ($F = 7.078$, $sign = 0.01$) en la percepción de dedicación de las personas que tenían esquemas de flexibilidad en su trabajo ($Prom = 4.20$, $DE = 0.66$) y las que no lo tenían ($Prom = 3.94$, $DE= 0.87$), percibiendo una mayor dedicación los primeros. La percepción del reto intelectual no presentó diferencias significativas entre los diferentes grupos seleccionados.

Los resultados de la matriz de correlación, obtenida de los análisis estadísticos realizados, se muestra en la Tabla 9. Se puede observar que no existe evidencia de una relación estadísticamente significativa entre los aspectos de TF y la dedicación de las personas en su lugar de trabajo, es decir, para los participantes en la presente investigación, no es necesario tener propuestas de TF para mantener la dedicación en el trabajo.

Es importante destacar que se encontraron evidencias respecto a las relaciones esperadas entre el TF y el ambiente laboral, tanto de manera positiva como negativa, al parecer y de acuerdo al coeficiente mostrado, el efecto negativo puede ser mayor cuando la estrategia del TF presenta algunas deficiencias en el diseño y es mal percibida, mal planteada o mal implementada, que cuando se hace lo contrario, se observa un efecto positivo en las personas y en sus comportamientos.

Por otro lado, se muestran resultados estadísticamente significativos entre el ambiente laboral y el TF, es decir, en los lugares donde se tienen propuestas de TF con la finalidad de fa-

■ **Tabla 9. Matriz de correlaciones.**

Table 9. Correlations matrix.

		TF BAL	TF NEG	AMBLAB	DEDIC	RETO INT
TF BAL	Pearson C.	1				
	Sig. (2-tailed)					
	N	282				
TF NEG	Pearson C.	-0.244**	1			
	Sig. (2-tailed)	0.000				
	N	282	282			
AMBLAB	Pearson C.	0.176*	-0.224**	1		
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.000			
	N	282	282	282		
DEDIC	Pearson C.	0.071	-0.099	0.702**	1	
	Sig. (2-tailed)	0.234	0.097	0.000		
	N	282	282	282	282	
RETO INT	Pearson C.	0.034	-0.034	0.508**	0.554**	1
	Sig. (2-tailed)	0.572	0.573	0.000	0.000	
	N	282	282	282	282	

*Nivel de significancia de correlación al 0.05.

**Nivel de significancia de correlación al 0.01.

vorecer el balance entre las actividades personales y laborales existe una relación positiva, aunque de valor bajo, fue significativa ($r = 0.176$) con el ambiente de trabajo, mientras que cuando se tienen efectos negativos en el diseño o implementación del TF se observa una relación inversa ($r = -0.224$) con el ambiente de trabajo, mostrando los efectos principalmente con las relaciones interpersonales y con el crecimiento y desarrollo profesional.

En lo que respecta a la percepción sobre el TF y el reto intelectual, no existe evidencia de una relación estadísticamente significativa, es decir, para los participantes en la investigación, el TF no tiene impactos en las actividades de absorción en su lugar de trabajo ni en los procesos utilizados para estar atentos y concentrados en sus actividades de trabajo.

El ambiente laboral presentó una relación positiva con la dedicación al trabajo ($r = 0.702$), que fue estadísticamente significativa, que sugiere que, cuando se tienen las condiciones y el ambiente de trabajo requerido, las personas

en su lugar de trabajo reaccionan con entusiasmo y orgullo al realizar sus actividades diarias. Así mismo, se muestra la evidencia de que, cuando se tiene un buen ambiente laboral, las personas tienen mejor disposición para alcanzar sus metas de trabajo, al mostrar atención a lo que se está realizando, evitando distracciones y permaneciendo atento a las indicaciones de sus líderes.

De acuerdo a los resultados encontrados, es conveniente analizar e incluir el tema de compromiso organizacional, ya que para las empresas es un elemento sustancial en la estrategia de retención del talento, pues este permite estabilidad laboral, como afirman Soberanes y De-la-Fuente (2009: 126) "...impacta en las prestaciones, jubilación, beneficios sociales, garantiza cubrir necesidades materiales y psicológicas (reconocimiento, desarrollo de habilidades, socialización, estatus) beneficiando así a las familias y la economía del país". De esta manera, se vuelve un elemento importante, ya que puede ser una herramienta para mantener y retener a los empleados de manera pro-

ductiva (Muñoz-Araya y Mayta-Tristán, 2017; Aquije-Niño-de-Guzmán, 2018).

Existen una variedad de estudios que se han dedicado a investigar las consecuencias que el TF ocasiona y que pueden servir de base para continuar desarrollando aportaciones sobre esta tendencia del futuro del trabajo, con repercusiones tanto en aspectos personales como organizacionales, como lo es la oportunidad de combinar múltiples roles (Stavrou y Kilaniotis, 2010), bajos niveles de estrés, aumento en la productividad (Giannikis y Mihail, 2011; Grobler y de-Bruyn, 2011), satisfacción laboral (McNall y col., 2010) y rendimiento laboral individual (Shagvaliyeva y Yazdanifard, 2014; Njiru y col., 2015), a nivel personal, y menos ausentismos e intenciones de renuncia a nivel organizacional (Glauber, 2011) y retos de los líderes en las empresas (Martín-Fiorino y Reyes, 2020). Sin embargo, es un área que aún falta explorar, debido a las modalidades de TF, y a que, en algunos países, como México, es de reciente implementación, por lo que no se tienen suficientes avances en el estudio de su efectividad. De acuerdo con Madero-Gómez y col. (2020), es importante considerar como posibles líneas de investigación en el futuro, el tema de flexibilidad, debido al contexto que se tiene por la pandemia del COVID-19, pues la implementación de las estrategias de recursos humanos, principalmente las que se relacionan con el trabajo a distancia, se realizaron prácticamente de un día para otro, sin una planeación y un entrenamiento adecuado. Por lo que, sería interesante utilizar esta investigación, desde una perspectiva longitudinal, para observar el comportamiento de las diversas variables involucradas antes y después del aislamiento, tomando en consideración la cultura organizacional, el estilo de dirección y las características personales, como factores importantes en la influencia para el éxito de la integración de estrategias de flexibilidad en el ambiente laboral.

En lo que respecta a las limitaciones de esta investigación, se puede mencionar que los resultados obtenidos, con la información recolectada en el trabajo de campo, son únicamente para esta muestra en particular y por el momento no pueden ser generalizados para toda la población, ya que no se indican los sectores industriales específicos, por eso es necesario seguir desarrollando estos temas de investigación en diversos contextos, ya sea considerando las brechas generacionales o el sector industrial.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación se logró identificar, mediante los diversos análisis estadísticos realizados con los datos obtenidos, que los distintos constructos utilizados en el instrumento de medida muestran indicadores para confirmar que es válido y confiable, aunque se recomienda seguir utilizándolos en otros contextos, para confirmar su objetividad y consistencia. Esto permitiría alertar sobre el efecto negativo que puede resultar de la implementación de trabajo flexible (TF), sin la debida estrategia. Al mismo tiempo, se cuenta con evidencia de que los efectos positivos del TF impactan favorablemente al ambiente laboral y este a su vez afecta positivamente a la dedicación y a la percepción del reto intelectual. Por lo que en cada organización se debería reflexionar para seleccionar los esquemas flexibles, de acuerdo al perfil de sus colaboradores, sus actividades, modelo de negocio y estructura organizacional.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación de Mariana Morales, Mónica Medina y Cassandra Willman, alumnas de la carrera de Lic. en Psicología Organizacional y de Alexis Carrasco, alumna de la carrera de Lic. en Psicológica Clínica y de la Salud del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, por su participación en este trabajo.

REFERENCIAS

- Albion, M. J. (2004). A measure of attitudes towards flexible work options. *Australian Journal of Management*, 29(2): 275-294.
- Alcaraz-Ibáñez, M., Cren-Chiminazzo, J. G., Sicilia, Á., and Teixeira-Fernandes, P. (2017). Examining the psychometric

- properties of the Body Appreciation Scale-2 in Brazilian adolescents. *Psychology, Society, & Education*. 9(3): 505-515.
- Añez-Hernández, C. (2016). Flexibilidad laboral: ¿fin del trabajo permanente? *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. 18(2): 250-265.
- Aquije-Niño-de-Guzmán, C. P. (2018). Home office como estrategia para la motivación y eficiencia organizacional. *Palermo Business Review*. (18): 337-351.
- Arancibia-Fernández, F. (2011). Flexibilidad laboral: Elementos teóricos-conceptuales para su análisis. *Revista de Ciencias Sociales*. (26): 39-55.
- Armijo, G. L. (2018). Las políticas de conciliación de la vida familiar y laboral en España y sus avances en la equidad de género. *Revista Interdisciplinaria de Estudios de Género de El Colegio de México*. (4): 1-29.
- Barney, C. E. and Elias, S. M. (2010). Flex-time as a moderator of the job stress-work motivation relationship: A three nation investigation. *Personnel Review*. 39(4): 487-502.
- Barzilay, R., Moore, T. M., Greenberg, D. M., DiDomenico, G. E., Brown, L. A., White, L. K., ..., and Gur, R. E. (2020). Resilience, COVID-19-related stress, anxiety and depression during the pandemic in a large population enriched for healthcare providers. *Translational Psychiatry*. 10(291): 1-8.
- Bhalla, J. (2015). Impact of Flexible Work Arrangements on Productivity in Indian IT Sector: A Study. *IPE Journal of Management*. 6(1): 80-104.
- Contreras, O. (2000). Los estudios de la flexibilidad laboral en México: algunas observaciones críticas. *Estudios Sociológicos*. 18(54): 727-735.
- De-la-Cruz, P. M., Resendiz, C. J., Romero, P. A. y Domínguez, A. G. (2017). Adaptación y validación mexicana de la UTRECH work engagement scale, versión para estudiantes. *Psicología Iberoamericana*. 25(2): 35-43.
- Deloitte (2017). Flexibilidad, el atractivo laboral más valorado. [En línea]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/paginas/dnoticias/articulos/flexibilidad-laboral.html>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2019.
- Dollard, M. F. and Bakker, A. B. (2010). Psychosocial safety climate as a precursor to conducive work environments, psychological health problems, and employee engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*. 83(3): 579-599.
- Eaton, S. C. (2003). If you can use them: Flexibility policies, organizational commitment, and perceived performance. *Industrial Relations: A Journal of Economy and Society*. 42(2): 145-167.
- Filardí, F., Castro, R. M. P., and Zaníní, M. T. F. (2020). Advantages and disadvantages of teleworking in Brazilian public administration: analysis of SERPRO and Federal Revenue experiences. *Cadernos EBAPE. BR*. 18(1): 28-46.
- Flores-Jiménez, C., Fernández-Arata, M., Juárez-García, A., Merino-Soto, C. y Guimet-Castro, M. (2015). Entusiasmo por el trabajo (engagement): un estudio de validez en profesionales de la docencia en Lima, Perú. *Liberabit*. 21(2): 195-206.
- Gabinil, S. (2016). Trabajo Flexible: Conceptualización y estado del arte del constructo. *Investigación Administrativa*. 46(118).
- Giannikis, S. K. and Mihail, D. M. (2011). Flexible work arrangements in Greece: A study of employee perceptions. *The International Journal of Human Resource Management*. 22(2): 417-432.
- Glauber, R. (2011). Limited access: Gender, occupational composition, and flexible work scheduling. *The Sociological Quarterly*. 52(3): 472-494.
- Grobler, P. A. and de-Bruyn, A. J. (2011). Flexible work practices (FWP) - an effective instrument in the retention of talent: A survey of selected JSE-listed companies. *South African Journal of Business Management*. 42(4): 63-78.
- Grzywacz, J., Carlson, D., and Shulkin, S. (2008). Schedule flexibility and stress: Linking formal flexible arrangements and perceived flexibility to employee health. *Community, Work and Family*. 11(2): 199-214.
- Halpern, D. (2005). How time-flexible work policies can reduce stress, improve health, and save money. *Stress and Health*. 21(3): 157- 168.
- Hall, L. and Atkinson, C. (2006). Improving working lives: Flexible working and the role of employee control. *Employee Relations*. 28(4): 374-386.
- Hill, J. E., Grzywacz, J. G., Allen, S., Blanchard, V. L., Matz-Costa, C., Shulkin, S., and Pitt-Catsoupes, M. (2008). Defining and conceptualizing workplace flexibility. *Community, Work and Family*. 11(2): 149-163.
- Hoyos, J. E., Restrepo, L. S. y Mejía, S. E. (2005). Sistema de compensación variable para empresas del sector de alimentos. *Scientia et Technical*. 11(29): 63-68.
- Ibarra-Cisneros, M. y González-Torres, L. (2010). La flexibilidad laboral como estrategia de competitividad y sus efectos sobre la economía, la empresa y el mercado de trabajo. *Contaduría y Administración*. 231: 33-52.
- Kaduk, A., Genadek, K., Kelly, E. L., and Moen, P. (2019). Involuntary vs. voluntary flexible work: insights for scholars and stakeholders. *Community, Work & Family*. 22(4): 412-442.
- Lakshmi, M. (2020). Influence of Employees' Perception on the use of flexible work arrangements. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 9(3): 4135-4142.
- Luján-Tangarife, J. y Cardona-Arias, J. (2015). Construcción y validación de escalas de medición en salud: revisión de propiedades psicométricas. *Archivos de Medicina*. 11(3:1): 1-10.
- Madero-Gómez, S. M. y Barboza, G. A. (2015). Interrelación de la cultura, flexibilidad laboral, alineación estratégica, innovación

- y rendimiento empresarial. *Contaduría y Administración*. 60(4): 735-756.
- Madero-Gómez, S., Ortiz, O., Ramírez, J., and Olivas-Luján, M. (2020). Stress and myths related to the COVID-19 pandemic's effects on remote work. *Management Research, Journal of the Iberoamerican Academy of Management*. 18(4): 401-420.
- Mak, C. M. and Lui, Y. P. (2012). The effect of sound on office productivity. *Building Services Engineering Research & Technology*. 33(3): 339-345.
- Martín-Fiorino, V. y Reyes, G. (2020). Desafíos y nuevos escenarios gerenciales como parte de la herencia del Covid-19. *Revista Venezolana de Gerencia*. 25(90): 710-722.
- McNall, L. A., Nicklin, J. M., and Masuda, A. D. (2010). A meta-analytic review of the consequences associated with work-family enrichment. *Journal of Business and Psychology*. 25(3): 381-396.
- Méndez-Sosa, M., Rodríguez-Pichardo, O., Osorio-García, M. y Salgado-Vega, M. (2013). La flexibilidad laboral en el sector turístico en México: Una interpretación teórica. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 22(4): 705-728.
- Muñoz-Araya, V. y Mayta-Tristán, P. (2017). Balance trabajo-vida: un nuevo indicador del bienestar de profesionales de la salud. *Revista Médica de Chile*. 145(10): 1361-1362.
- Nakrošienė, A., Bučiūnienė, I., and Goštautaitė, B. (2019). Working from home: characteristics and outcomes of telework. *International Journal of Manpower*. 40(1): 87-101.
- Njiru, P. M., Kiambati, K., and Kamau, A. (2015). The influence of flexible work practices on employee performance in public sector in the ministry of interior and coordination of national government, Embu County. *Scholars Bulletin*. 1(4): 102-106.
- Ovando-Aldana, W., Román-Sánchez, Y. y Salgado-Vega, M. (2018). Trabajo a tiempo parcial y desigualdad salarial en la industria manufacturera en México (2005-2015). *Ciencia ergo-sum*. 25(3).
- Pérez-Perea, L., Soler-Cárdenas, S. y Díaz-Hernández, L. (2009). Ambiente laboral en los policlínicos universitarios. *Educación Médica Superior*. 23(2): 1-18.
- Pérez-Pérez, G. (2002). Flexibilidad laboral y modernización de las condiciones generales de trabajo en México de 1996 a 2000: análisis de una revisión de contratos colectivos de trabajo efectuada por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. *Contaduría y Administración*. 204: 33-53.
- Román-Sánchez, Y. y Ovando-Aldana, W. (2016). Flexibilidad laboral de la población ocupada: un análisis espacial en México, 2005 y 2014. *Revista Sociedad y Economía*. 31: 193-213.
- Ronen, S. (1981). *Flexible working hours: An innovation in the quality of work life*. New York, NY: Ed. McGraw-Hill Companies. 353 Pp.
- Schaufeli, W. B., Salanova, M., González-Romá, V., and Bakker, A. B. (2002). The measurement of engagement and burnout: A two sample confirmatory factor analytic approach. *Journal of Happiness Studies*. 3(1): 71-92.
- Shagvaliyeva, S. and Yazdanifard, R. (2014). Impact of flexible working hours on work- life balance. *American Journal of Industrial and Business Management*. 4(1): 20-23.
- Soane, E., Truss, C., Alfes, K., Shantz, A., Rees, C., and Gatenby, M. (2012). Development and application of a new measure of employee engagement: the ISA Engagement Scale. *Human Resource Development International*. 15(5): 529-547.
- Soberanes, L. y De-la-Fuente, A. (2009). El clima y el compromiso organizacional en las organizaciones. *Revista Internacional la Nueva Gestión Organizacional*. 9: 120- 127.
- Stavrou, E. and Kilaniotis, C. (2010). Flexible work and turnover: An empirical investigation across cultures. *British Journal of Management*. 21(2): 541-554.
- Trigueros, R., Sicilia, A., Alcaraz-Ibáñez, M. y Dumitru, D. (2017). Adaptación y validación española de la escala revisada del locus percibido de causalidad (PLOC-R) en educación física. *Cuadernos de Psicología del Deporte*. 17(1): 25-32.
- Ugargol, J. D. and Patrick, H. A. (2018). The relationship of workplace flexibility to employee engagement among information technology employees in India. *South Asian Journal of Human Resources Management*. 5(1): 40-55.
- Werther, Jr. W., Davis, K. y Guzmán, P. (2019). *Administración del Capital Humano*. (Octava edición). México: Ed. McGraw-Hill. 454 Pp.



Imagen de: Fernando González Cerón y Eliseo Sosa Montes

Efecto antioxidante de la miel de abeja sobre la carne de conejo almacenada en refrigeración

Antioxidant effect of bee honey on rabbit meat stored under refrigeration

Daniel Salvador López-Velasco¹, Eliseo Sosa-Montes^{1*}, Arturo Pro-Martínez², Fernando González-Cerón¹, Artemio Jovanny Vargas-Galicia²

RESUMEN

La oxidación de lípidos deteriora los alimentos, por lo que se usan antioxidantes sintéticos para disminuirla, sin embargo, estos compuestos en exceso poseen efectos carcinogénicos. Algunas plantas como el orégano, así como la miel de abeja, contienen antioxidantes naturales que no dañan la salud. Hasta el momento no se han encontrado registros del uso de la miel de abeja para disminuir la oxidación lipídica en carne de conejos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la miel de abeja como antioxidante en la carne cruda de lomo de conejo almacenada en refrigeración a 4 °C. Se evaluó la actividad antioxidante (AA) de tres tipos de miel: oscura, ámbar y clara, para mezclarla con la carne de conejo. Se seleccionó la miel oscura por su mayor efecto antioxidante. Se prepararon 64 muestras de 100 g de carne cruda, 32 se mezclaron con 2 g de miel oscura y las otras 32 se dejaron sin miel (control). Las muestras se almacenaron a 4 °C y se evaluó la AA y la concentración de malondialdehído (MDA) a los 0 d, 3 d, 6 d y 9 d de almacenamiento. La AA disminuyó y la concentración de MDA aumentó ($P < 0.05$) con el tiempo de refrigeración (cambios que indican deterioro de la carne). A los 3 d y 6 d, las muestras de carne cruda con miel exhibieron mayor AA ($P < 0.05$), y a los 6 d, menores valores de MDA ($P < 0.05$) comparadas con las muestras control (indicando que no hubo deterioro de la carne). La miel oscura de abeja contiene altas concentraciones de antioxidantes naturales que protegen a la carne cruda molida de lomo de conejo contra el daño oxidativo que puede presentarse durante la refrigeración, por lo que se recomienda su uso para este fin.

PALABRAS CLAVE: oxidación de lípidos, refrigeración, lomo de conejo.

ABSTRACT

Lipid oxidation deteriorates foods; therefore, synthetic antioxidants are used to decrease it. However, excess synthetic antioxidants have carcinogenic effects. Some plants such as oregano, as well as bee honey, contain natural antioxidants which are not harmful to health. No reports were found on the use of bee honey to decrease lipid oxidation in rabbit meat. The objective of this study was to assess the effect of bee honey as antioxidant on raw rabbit loin, refrigerated at 4 °C. The antioxidant activity (AA) of three types of honey was evaluated: dark, amber and clear, to be mixed with rabbit meat. Dark honey was selected for its higher antioxidant effect. 64 samples of 100 g of raw meat were prepared, 32 samples were mixed with 2 g dark honey and the other 32 were left without honey (control). The samples were stored at 4 °C and AA as well as malondialdehyde (MDA) concentrations were evaluated at 0 d, 3 d, 6 d and 9 d of storage. The AA decreased, and the MDA concentration increased ($P < 0.05$) with refrigeration time (changes that indicate meat spoilage). After 3 d and 6 d, the raw meat samples with honey showed higher AA ($P < 0.05$) and after 6 d, they showed lower MDA values ($P < 0.05$) compared to the control samples (these changes indicate no spoilage of meat). Dark bee honey contains high concentrations of natural antioxidants that protect ground raw rabbit loin against oxidative damage that can occur during refrigeration, therefore, its use is recommended for this purpose.

KEYWORDS: lipid oxidation, refrigeration, rabbit loin.

*Correspondencia: eliseososa@yahoo.com.mx/ Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2019/ Fecha de aceptación: 27 de agosto de 2020/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, km 38.5, carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México, C. P. 56230. ²Colegio de Postgraduados, Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

INTRODUCCIÓN

La oxidación de lípidos deteriora los alimentos cárnicos, cuyo color y olor se alteran cuando se almacenan, causando una disminución en la preferencia del consumidor (Alasnier y col., 2000; Carvalho y col., 2017). Además, el proceso oxidativo produce radicales libres a partir de ácidos grasos poliinsaturados y finalmente malondialdehído (MDA), una molécula que puede causar problemas de salud en humanos (Tao, 2015). En una revisión hecha por Kumar y col. (2015) se muestra que para disminuir la oxidación de las grasas sobre la carne, en estudios experimentales se usan antioxidantes sintéticos como butilhidroxianisol (BHA) y butilhidroxitolueno (BHT), sustancias que retardan o previenen la oxidación, la formación de radicales libres y el MDA (Galano, 2015). Sin embargo, el uso de antioxidantes sintéticos está restringido debido a su efecto carcinogénico (Nobuyuki y Masao, 1989; Shasha y col., 2014; Xiang y col., 2019). Por esta razón, muchos consumidores evitan productos alimenticios que contengan antioxidantes sintéticos (Soltani y col., 2016; Carvalho y col., 2017). Los antioxidantes naturales como tocoferoles, ácido ascórbico, ácidos fenólicos y flavonoides de algunas plantas como orégano, romero y salvia (Velasco y Williams, 2011; Ghorbani y Esmailizadeh, 2017; Gutiérrez-Grijalva y col., 2018; Nieto y col., 2018) disminuyen la oxidación de la carne (Sampaio y col., 2012) y no dañan la salud.

Se ha reportado que los antioxidantes naturales reducen la concentración de MDA en la carne de pollo (Sampaio y col., 2012) y en el plasma humano (Nagyova y col., 2004). La miel de abeja tiene abundantes flavonoides y ácidos fenólicos (Pichichero y col., 2009; Cianciosi y col., 2018) y se ha usado como un antioxidante natural para disminuir la oxidación de la carne de pavos, pollos y bovinos (Antony y col., 2006; Avila-Ramos y col., 2013; Rabaa y col., 2013). Sin embargo, la miel de abeja no se ha usado como antioxidante en carne de conejo.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la miel de abeja como antioxidante en car-

ne cruda de lomo de conejo almacenada en refrigeración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio y origen geográfico de las mieles

Este estudio se realizó en la estación experimental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, estado de México, localizada a 19°29' N, 98°53' W y 2 250 msnm. La miel provino de Ecatzingo y Amecameca, estado de México (mieles oscura y clara, respectivamente), y de Jiutepec, estado de Morelos (miel ámbar). Estas poblaciones se conocen por su alta calidad y gran diversidad de mieles de abeja en la región central de México.

Actividad antioxidante de las mieles

La actividad antioxidante (AA) se evaluó por medio de la capacidad captadora de radicales del DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), de acuerdo con el método de Brand-Williams y col. (1995). Para ello, se mezclaron 2 g de miel con 10 cm³ de metanol (Sigma Aldrich) y se dejó reposar en baño de agua a 30 °C durante 30 min (Baño con agitación, Thermo Fisher Scientific, modelo 2870, Waltham, MA, USA). La mezcla se agitó usando un equipo vortex (Genie 2, Scientific Industries, modelo G560, NY, USA) y se filtró a través de papel filtro Whatman No. 4. Posteriormente, a 1 cm³ del filtrado y a 1 cm³ de agua destilada se les agregaron por separado 3 cm³ de solución de DPPH (0.042 g de DPPH, Sigma Aldrich, más 100 cm³ de metanol), y cada solución se agitó durante 10 s. Estas dos soluciones se denominan DPPH con filtrado y DPPH con agua, respectivamente. Las soluciones se dejaron en la oscuridad a temperatura ambiente por 20 min y se centrifugaron a 2 000 rpm durante 10 min (Centrífuga Clínica serie 428-7181 Damon/IEC, Needham, MA, USA). Finalmente, se midió la absorbancia a 515 nm contra un blanco de metanol (Espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific, Modelo Genesis 10S VIS, Madison WI, USA). Todos los reactivos usados fueron grado analítico o grado HPLC (por sus siglas en inglés: High Pressure Liquid Chromatographic). La actividad antioxidante (AA)

se calculó como porcentaje de inhibición de la absorbancia del DPPH usando la siguiente ecuación:

$$AA = (\text{absorbancia del DPPH con agua} - \text{absorbancia del DPPH con filtrado}) \times 100 / (\text{absorbancia del DPPH con agua})$$

La miel de abeja con la mayor actividad antioxidante se empleó para adicionarla a las muestras de carne cruda molida de conejo.

Procesamiento de la carne

Para obtener la carne de conejo, a fin de elaborar las muestras se obtuvieron aleatoriamente 8 conejos de un lote de 80 (un conejo por jaula de 30 cm de ancho \times 60 cm de largo \times 40 cm de alto), los que se engordaron con una dieta comercial de 30 d a 69 d de edad. Consumieron alimento y agua *ad libitum* en comederos de tolva y en bebederos automáticos. Al final del periodo de engorda, los 8 conejos se sacrificaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014) e inmediatamente las canales se identificaron y almacenaron a 4 °C durante 24 h. Posteriormente, el músculo *longissimus dorsi* (lomo) se removió de cada canal, se empacó al vacío, y por razones de mercado, se almacenó a - 20 °C. Después de 10 meses de almacenamiento, la carne se descongeló a temperatura ambiente y se molió usando malla de 3.18 mm (Torrey M-12-FS, Monterrey, México). Posteriormente, se prepararon las muestras de carne de conejo adicionando y homogenizando 0 g de miel/100 g de carne molida (control) o 2 g de miel/100 g de carne molida; para cada tratamiento se obtuvieron 32 réplicas (32 muestras de carne con miel y 32 sin miel provenientes de 8 canales diferentes). Finalmente, las muestras se envasaron en bolsas negras de polietileno dentro de un contenedor de polipropileno y se almacenaron a 4 °C durante 0 d, 3 d, 6 d y 9 d. Toda manipulación se realizó con la limpieza y desinfección apropiadas. Las temperaturas de - 20 °C para 10 meses y de 4 °C para 0 d a 9 d de almacenamiento concuerdan con lo recomendado por Agustini y col. (2001) y James y James (2014).

Actividad antioxidante y concentración de malondialdehído de la carne

La AA se midió, como en el caso de las mieles, de acuerdo con el método de Brand-Williams y col. (1995). Se usaron 5 g de muestra de carne cruda provenientes de cada una de las muestras de carne molida para el día correspondiente de almacenamiento, mezclando y homogenizando con 5 cm³ de metanol.

El MDA se midió por duplicado de acuerdo a la técnica de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, por sus siglas en inglés: thiobarbituric acid reactive substances), con algunas modificaciones (Shin y col., 2011). Se agregaron 50 cm³ de agua grado HPLC y 0.2 cm³ de solución con 7.2 g/100 cm³ de butilhidroxitolueno (BHT) (0.72 g BHT + 10 cm³ de metanol) a 10 g de muestras de carne cruda. La mezcla se homogenizó usando una licuadora convencional (Sunbeam-Oster, modelo 465-42, 0462-13, Fort Lauderdale, FL) y se dejó reposar en la oscuridad a temperatura ambiente por 15 min. Después, 1 cm³ de esta mezcla se dejó reaccionar con 2 cm³ de una solución 2 M de TBA/TCA o ácido tiobarbitúrico/ácido tricloroacético (0.1154 g de TBA + 40 cm³ de una solución con 15 g de TCA/100 cm³ = 15 cm³ de TCA aforados a 100 cm³ con agua grado HPLC). Los tubos de ensayo se mezclaron con vortex (GENIE2, Scientific Industries, modelo G560, NY, USA) y se incubaron en baño de agua a 50 °C durante 10 min. Inmediatamente después, los tubos se enfriaron y se centrifugaron a 2 000 rpm durante 10 min (Centrífuga Clínica serie 428-7181 Damon/IEC, Needham, MA, USA) y finalmente, la absorbancia del sobrenadante se midió a 530 nm (Espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific, Modelo Genesis 10S VIS, Madison WI, USA). Con base en una curva estándar de metoxipropano, el cual se convierte a malondialdehído cuando reacciona con la solución de TBA/TCA, los datos se expresaron como mg de MDA por kg de carne fresca.

Debido a que la formación de MDA es directamente proporcional a la oxidación de lípidos (Velasco y Williams, 2011; El-Gogary y

col., 2018), una menor concentración de MDA indica una mayor estabilidad oxidativa.

Análisis estadístico

Los datos de actividad antioxidante de los tipos de miel fueron analizados usando un diseño completamente al azar, con tres tratamientos: miel oscura, ámbar y clara, y una muestra de miel se consideró la unidad experimental que se corrió con 8 repeticiones. Se usó el Paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences) (SPSS, 2011) versión 8.0, bajo el procedimiento del modelo general lineal.

Los datos de las muestras de carne se analizaron bajo un diseño completamente al azar de 8 tratamientos: 0 g de miel/100 g de carne a 0 d, 3 d, 6 d y 9 d y 2 g de miel/100 g de carne a 0 d, 3 d, 6 d y 9 d de almacenamiento a 4 °C.

Una muestra de carne fue la unidad experimental (32 unidades experimentales con 2 g de miel y 32 con 0 g de miel). En cada muestra de carne se evaluaron AA y MDA por duplicado en el laboratorio, cuyo promedio se asignó a cada unidad experimental.

Todas las comparaciones de medias se realizaron empleando la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

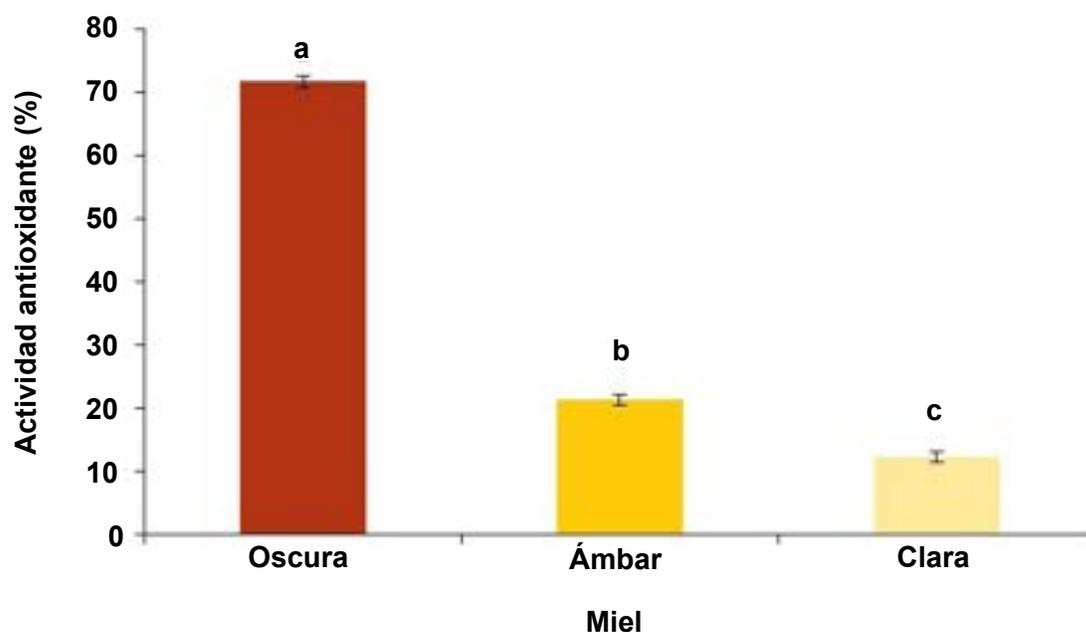
RESULTADOS

Actividad antioxidante en mieles

La miel oscura mostró la más alta AA, como porcentaje de inhibición de la absorbancia del DPPH, en comparación con las mieles clara y ámbar (Figura 1).

Actividad antioxidante de la carne

Tanto en la carne control como en aquella con 2 g de miel (Figura 2), al avanzar los días de almacenamiento refrigerado disminuyó la AA.



■ Figura 1. Actividad antioxidante como porcentaje de inhibición de la absorbancia del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracil) en tres muestras de miel: oscura, ámbar y clara.

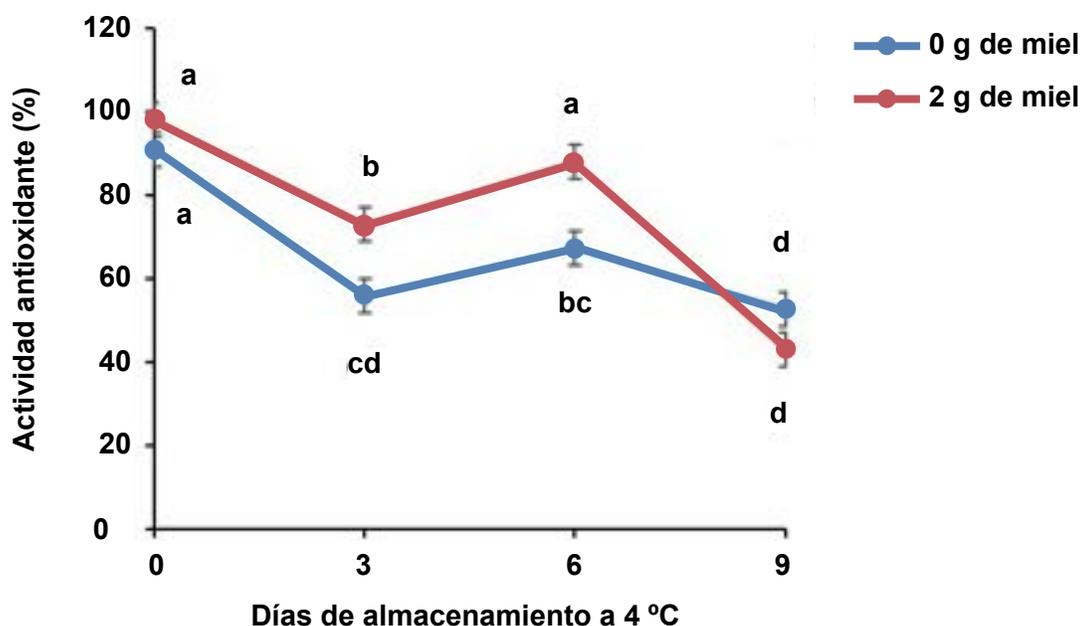
^{a,b y c} Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$).

Las barras negras se refieren al error estándar de la media.

Figure 1. Antioxidant activity as inhibition percentage of the DPPH radical (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) absorbance in three samples of honey: dark, amber and clear.

^{a,b and c} Different letters indicate significant differences (Tukey, $P < 0.05$).

Black bars refer to the standard mean error.



■ Figura 2. Actividad antioxidante (AA) en muestras de carne cruda de conejo. Las muestras se prepararon con 0 g de miel/100 g de carne y 2 g de miel oscura de abeja/100 g de carne, y se mantuvieron 0 d, 3 d, 6 d y 9 d a 4 °C hasta su análisis.

^{a,b} y ^cLetras distintas indican diferencias significativas entre los 8 tratamientos (Tukey, $P < 0.05$).

Las barras negras se refieren al error estándar de la media.

Figure 2. Antioxidant activity (AA) in raw rabbit meat samples. Samples were prepared with 0 g and 2 g of dark bee honey per 100 g meat, and they were kept for 0d, 3d, 6 d and 9d at 4°C until analyzed.

^{a,b} and ^cDifferent letters indicate statistically significant differences among the 8 treatments (Tukey, $P < 0.05$).

Black bars refer to the standard mean error.

En la carne con 2 g de miel, que contenía más antioxidantes, la disminución de AA fue menor ($P < 0.05$) que en la carne control los días 3 y 6. Sin embargo, en el día 9 de almacenamiento, la capacidad antioxidante de la miel disminuyó y las muestras con 2 g de miel mostraron valores similares de AA a las muestras control (Figura 2).

Concentración de malondialdehído de la carne

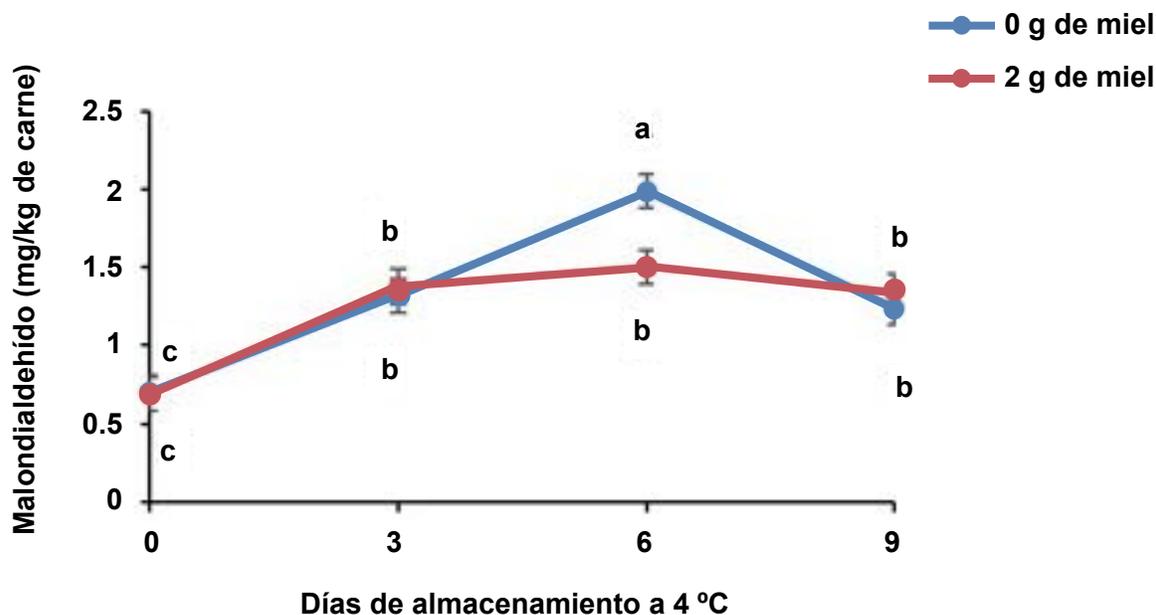
La carne control y las muestras con 2 g de miel presentaron un incremento en la concentración de MDA al avanzar los días de almacenamiento (Figura 3). No obstante, el día 6 se observó una menor concentración de MDA ($P < 0.05$), estimada en un 25 % menos en la carne con 2 g de miel al compararla con la

carne control. Finalmente, la concentración de MDA de la carne control disminuyó significativamente el día 9 de almacenamiento y presentó un valor similar al de la carne con 2 g de miel.

DISCUSIÓN

Actividad antioxidante en mieles

La miel contiene compuestos como α -tocoférol, ácido ascórbico, flavonoides y enzimas como catalasa y peroxidasa, que actúan como antioxidantes naturales y son más abundantes en la miel oscura (Alvarez-Suarez y col., 2014). Su contenido y naturaleza dependen de su origen floral (Alvarez-Suarez y col., 2014; Škrovánková y col., 2019). Por ello, las mieles oscuras tienen mayor AA que las claras (Johnston y col., 2005;



■ Figura 3. Concentración de malondialdehído (MDA) en muestras de carne cruda de conejo. Las muestras se prepararon con 0 g y 2 g de miel oscura de abeja, y se mantuvieron 0 d, 3 d, 6 d y 9 d a 4 °C hasta su análisis.

^{a,b} y ^cLetras distintas indican diferencias significativas entre los 8 tratamientos (Tukey, $P < 0.05$). Las barras negras se refieren al error estándar de la media.

Figure 3. Malondialdehyde (MDA) concentration in raw rabbit meat samples. Samples were prepared with 0 g and 2 g of dark bee honey, and they were kept for 0 d, 3 d, 6 d and 9 d at 4 °C until analyzed. ^{a,b} and ^cDifferent letters indicate statistically significant differences among the 8 treatments (Tukey, $P < 0.05$).

Black bars refer to the standard error of mean.

Can y col., 2015; Srećković y col., 2019). En este estudio la miel oscura produjo 71.75 % de AA (Figura 1), mientras que Džugan y col. (2018) reportaron 51.39 % a 85.29 % en miel oscura, valores de AA superiores a los de las mieles claras.

Actividad antioxidante de la carne

En ambos tratamientos (2 g de miel y 0 g de miel), la mayor AA en carne se presentó el día 0 (> 90 %), mientras que la menor (< 55 %) se observó en el día 9 de almacenamiento a 4 °C (Figura 2). Esto se debe a un aumento de radicales libres por oxidación lipídica, que, a su vez, consumen los antioxidantes naturales de la carne (Shahidi y Udaya, 2007; Kumar y col., 2015). Se ha reportado que mientras mayor es el tiempo de refrigeración, menor es la AA de

la carne cruda de lomo de conejo. Según Velázquez y col. (2014), del día 0 al 6 de refrigeración la AA de carne de conejo disminuyó de 70 % a 50 % aproximadamente. En este estudio, la AA en el mismo tipo de carne con 0 g de miel, del día 0 al día 6 de refrigeración a 4 °C disminuyó de > 90 % a < 70 %.

La carne con 2 g de miel presentó valores más altos de AA (73.15 % y 88.17 %) que la carne control (56.16 % y 67.58 %) los días 3 y 6 de refrigeración (Figura 2). Esto se atribuye a la alta cantidad de antioxidantes que la carne adquiere de la miel (Nagai y col., 2006). Los resultados concuerdan con lo reportado por Antony y col. (2006), quienes encontraron que la adición de miel a la carne de pechuga de pavos inhibió la formación de compuestos oxidantes.

Los valores de AA los días 3 y 6 de almacenamiento indican que las muestras de carne con 2 g de miel estuvieron mejor protegidas contra la oxidación que las del grupo control. Sin embargo, la capacidad antioxidante de la miel disminuyó para el día 9 de refrigeración.

Concentración de malondialdehído de la carne

La concentración de MDA aumentó con el tiempo de refrigeración (Figura 3), debido a que los antioxidantes presentes en la carne pierden su capacidad antioxidante y, en consecuencia, se produce MDA (Shahidi y Udaya, 2007). Cuando se inicia la refrigeración a 4 °C los antioxidantes retardan la oxidación, posteriormente se consumen y se produce la oxidación de lípidos (Possamai y col., 2018) y la formación de MDA. Bobko y col. (2019) reportaron en pavos 0.63 mg/kg a 4.7 mg/kg de MDA para 0 d y 14 d de almacenamiento, respectivamente, valores similares a los del presente estudio.

En la carne control la concentración de MDA aumentó del día 3 al día 6 de almacenamiento. En el día 9, disminuyó la concentración de MDA, probablemente debido a la producción de aminoácidos por hidrólisis de las proteínas, los cuales capturan al MDA, formando bases de Schiff (Wazir y col., 2019).

En el caso de la carne con 2 g de miel, este antioxidante natural mantuvo constante la concentración de MDA desde el día 3 al día 9 de

almacenamiento en refrigeración a 4 °C. El día 6 de almacenamiento la miel oscura produjo menor concentración de MDA en la carne que en la muestra control (Figura 3). Esto se debe a que el alto contenido de compuestos con actividad antioxidante de la miel (Galano, 2015) ayuda a prevenir la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados y la formación de MDA en la carne (Alasnier y col., 2000; Tao, 2015). Por tanto, con base en los valores de MDA el día 6 de almacenamiento, las muestras de carne con 2 g de miel estuvieron mejor protegidas contra la oxidación que las del grupo control.

En lomo de conejo California × Nueva Zelanda se han reportado valores de MDA de 1.6 mg/kg (Velázquez y col., 2014), similares a los del tratamiento con 2 g de miel del presente estudio (Figura 3).

CONCLUSIONES

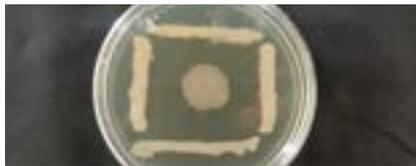
La miel oscura mostró una alta actividad antioxidante, que se mantuvo durante el almacenamiento en refrigeración de la carne molida de conejo que la contenía, y permitió protegerla contra la oxidación, disminuyendo el contenido de malondialdehído. La adición de 2 % de miel oscura (peso/peso) en carne de conejo molida permite retrasar su oxidación y prolongar su vida de almacenamiento. Se requieren estudios adicionales para analizar el efecto sobre la estabilidad microbiológica y la aceptación organoléptica.

REFERENCIAS

- Agustini, T. W., Suzuki, T., Hagiwara, T., Ishizaki, S., Tanaka, M., and Takai, R. (2001). Change of K value and water state of yellowfin tuna *Thunnus albacares* meat stored in a wide temperature range (20°C to - 84°C). *Fisheries Science*. 67(2): 306-313.
- Alasnier, C., David-Briand, E., and Gandemer, G. (2000). Lipolysis in muscles during refrigerated storage as related to the metabolic type of the fibres in the rabbit. *Meat Science*. 54(2):127-134.
- Alvarez-Suarez, J. M., Gasparrini, M., Forbes-Hernández, T. Y., Mazzoni, L., and Giampieri, F. (2014). The composition and biological activity of honey: a focus on Manuka honey. *Foods*. 3(3): 420-432.
- Antony, S., Rieck, J. R., Acton, J. C., Han, I. Y., Halpin, E. L., and Dawson, P. L. (2006). Effect of dry honey on the shelf life of packaged turkey slices. *Poultry Science*. 85(10):1811-1820.
- Avila-Ramos, F., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Cuca-García, J. M., Becerril-Pérez, C., Figueroa-Velasco, J. L., ..., and Narciso-Gaytán, C. (2013). Dietary supplemented and meat-added antioxidants

- effect on the lipid oxidative stability of refrigerated and frozen cooked chicken meat. *Poultry Science*. 92(1):243-249.
- Bobko, M., Kročko, M., Haščík, P., Tkáčová, J., Bučko, O., Bobková, A., ..., and Pavelkova, A. (2019). Parameters of quality raw cooked meat product. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 9:366-369.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 28(1):25-30.
- Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Akyuz, T. E., Siliçi, S., and Kolaylı, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry*. 180:133-141.
- Carvalho, R., Shimokomaki, M., and Estévez M. (2017). Poultry meat color and oxidation. In M. Petracci and C. Berri (Eds.), *Poultry Quality Evaluation* (pp.133-157). Oxford: Elsevier, UK.
- Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparri, M., Reboredo-Rodríguez, P., Manna, P. P., ..., and Battino, M. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules*. 23(9):2322.
- Džugan, M., Tomczyk, M., Sowa, P., and Grabek-Lejko, D. (2018). Antioxidant activity as biomarker of honey variety. *Molecules*. 23(8):2069.
- El-Gogary, M. R., El-Said, E. A., and Mansour, A. M. (2018). Physiological and immunological effects of rosemary essential oil in growing rabbit diets. *Journal of Agricultural Science*. 10(7):485-491.
- Galano, A. (2015). Free radicals induced oxidative stress at a molecular level: The current status, challenges and perspectives of computational chemistry based protocols. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 59(4):231-262.
- Ghorbani, A. and Esmaeilzadeh, M. (2017). Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 7(4):433-440.
- Gutiérrez-Grijalva, E. P., Picos-Salas, M. A., Leyva-López, N., Criollo-Mendoza, M. S., Vazquez-Olivo, G., and Basilio-Heredia, J. (2018). Flavonoids and phenolic acids from oregano: Occurrence, biological activity and health benefits. *Plants*. 7(1):2.
- James, S. J. and James, C. (2014). Chilling and Freezing of Foods. In S. Clark, S. Jung, and B. Lam-sal (Eds), *Food Processing: Principles and Applications* (pp. 79-105). Oxford: John Wiley & Sons, UK.
- Johnston, J. E., Sepe, H. A., Miano, C. L., Brannan, R. G., and Alderton, A. L. (2005). Honey inhibits lipid oxidation in ready-to-eat ground beef patties. *Meat Science*. 70(4):627-631.
- Kumar, Y., Narayan, Y. D., Ahmad, T., and Nar-saiah, K. (2015). Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14(6):796-812.
- Nagai, T., Inoue, R., Kanamori, N., Suzuki, N., and Nagashima, T. (2006). Characterization of honey from different floral sources. Its functional properties and effects of honey species on storage of meat. *Food Chemistry*. 97(2):256-262.
- Nagyova, A., Krajcovicova, K. M., Horska, A., Smolkova, B., Blazicek, P., Raslova, K., ..., and Dusinska, M. (2004). Lipid peroxidation in men after dietary supplementation with a mixture of antioxidant nutrients. *Bratislavské Lekárske Listy – Bratislava Medical Journal*. 105(7/8):277-280.
- Nieto, G., Ros, G., and Castillo, J. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A review. *Medicines*. 5(3): 98.
- Nobuyuki, I. and Masao, H. (1989). Antioxidants-carcinogenic and chemopreventive properties. *Advances in Cancer Research*. 53:247-302.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014 (2014). Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en *Norma Oficial Mexicana*. [En línea]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015&print=true. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2019.
- Pichichero, E., Canuti, L., and Canini, A. (2009). Characterization of the phenolic and flavonoid fractions and antioxidant power of Italian honeys of different botanical origin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89(4):609-616.
- Possamai, A. P. S., Alcalde, C. R., Feihrmann, A. C., Possamai, A. C. S. Rossi, R. M., Lala, B., ..., and Macedo F. A. (2018). Shelf life of meat from Boer-Saenen goatsfed diets supplemented with vitamin E. *Meat Science*. 139:107-112.
- Rabaa, A. M., Mashair, A. S., and Elgasim, A. E. (2013). Effect of bee honey in safety and storability of beef sausage. *Pakistan Journal of Nutrition*. 12(6):560-566.

- Sampaio, G. R., Saldanha, T., Soares, R. A. M., and Torres, E. A. F. S. (2012). Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage. *Food Chemistry*. 135(3):1383-1390.
- Shahidi, F. and Udaya, N. W. (2007). Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. In C. C. Akoh and D. B. Min (Eds.), *Food lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology* (pp. 387-403). London: Taylor and Francis Group, UK.
- Shasha, D., Magogo, C., and Dzomba, P. (2014). Reversed phase HPLC-UV quantitation of BHA, BHT and TBHQ in food items sold in Bindura supermarkets, Zimbabwe. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*. 4:578-584.
- Shin, D., Yang, H. S., Min, B. R., Gaytán, C. N., Sánchez, P. M. X., and Ruiz, F. C. (2011). Evaluation of antioxidant effects of vitamins C and E alone and in combination with sorghum bran in a cooked and stored chicken sausage. *Korean Journal of Food Science. Animal Resources*. 31(5):693-700.
- Škrovánková, S., Snopek, L., Mlček, J., and Volaříková, E. (2019). Bioactive compounds evaluation in different types of Czech and Slovak honeys. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 13(1): 94-99.
- Soltani, M., Tabeidian, S. A., Ghalamkari, G., Adeljoo, A. H., Mohammadrezaei, M., and Fosoul, S. S. A. S. (2016). Effect of dietary extract and dried areal parts of *Rosmarinus officinalis* on performance, immune responses and total serum antioxidant activity in broiler chicks. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. 6(3):218-222.
- SPSS, Statistical Package for the Social Sciences (2011). Institute. SPSS-X. User's Guide. Version 8, Chicago IL. USA.
- Srećković, N. Z., Mihailović, V. B., and Katanić-Stanković, J. S. (2019). Physico-chemical, antioxidant and antimicrobial properties of three different types of honey from central Serbia. *Kragujevac Journal of Science*. (41): 53-68.
- Tao, L. (2015). Oxidation of polyunsaturated fatty acids and its impact on food quality and human health. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences*. 1(6):135-142.
- Velasco, V. and Williams, P. (2011). Improving meat quality through natural antioxidants. *Chilean Journal of Animal Research*. 71(2):313-322.
- Velázquez, R. S. R., Sosa, M. E., Ramírez, G. M. E., Pro, M. A., Suarez, L. R., Avila, R. F., ..., and Rodríguez, C. J. C. (2014). Genotype, feed type and refrigeration time on the antioxidant and oxidative stability of rabbit loin meat. *Archivos de Zootecnia*. 63(243):531-542.
- Wazir, H., Chay, S. Y., Zarei, M., Hussin, F. S., Mustapha, N. A., Ibadullah, W. Z. W., and Saari, N. (2019). Effects of storage time and temperature on lipid oxidation and protein cooxidation of low-moisture shredded meat products. *Antioxidants*. 8(10): 486.
- Xiang, L., Si, Ch., Jing-En, L., Ning, W., Xin, L., Qi, A., ..., and Wen-Jun, W. (2019). Chemical composition and antioxidant activities of polysaccharides from Yingshan Cloud Mist Tea. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 1-11.



Imágenes de: Arnoldo Wong Villarreal

Caracterización de bacterias ácido lácticas con actividad antimicrobiana aisladas del queso crema de Chiapas, México

Characterization of lactic acid bacteria with antimicrobial activity isolated from cream cheese from Chiapas, Mexico

Arnoldo Wong-Villarreal^{1*}, Hipólito Corzo-González¹, Emanuel Hernández-Núñez², Avel González-Sánchez³, Germán Giacomán-Vallejos³

RESUMEN

El queso crema de Chiapas es un producto artesanal fabricado en diferentes regiones de México. La capacidad de las bacterias lácticas, de producir grandes cantidades de ácido láctico y acético, tiene como efecto la disminución del pH, considerado uno de los factores primarios en la inhibición de microorganismos indeseables, como patógenos y bacterias coliformes, en alimentos lácteos. El objetivo de este trabajo fue aislar bacterias ácido lácticas y evaluar su efecto antagónico contra bacterias patógenas *in vitro* y contra patógenos presentes en la leche cuando se adicionan durante la elaboración del queso crema. Se aislaron cepas de bacterias lácticas del queso crema de Chiapas, México. Los aislados fueron identificados mediante pruebas bioquímicas API 50CH y secuencias del gen ribosomal 16S. Las bacterias de interés se usaron en pruebas de inhibición del crecimiento con cepas patógenas. Se cuantificó la producción de ácido acético y láctico por cromatografía de gases acoplado a masas en los quesos, al inicio y a los 10 d posteriores a su elaboración. Se aislaron 203 cepas bacterianas, de las cuales 82 tuvieron la capacidad de inhibir el crecimiento de 7 cepas bacterianas patógenas. Las cepas fueron identificadas por la secuencia parcial del gen ribosomal 16S como pertenecientes al género *Lactobacillus*; la adición de estas cepas en la elaboración del queso crema redujo o eliminó coliformes, *Staphylococcus aureus*, mohos y levaduras, mientras que en el queso elaborado con leche pasteurizada se detectaron 290 UFC/mL de mohos y levaduras. Estos resultados sugieren que las cepas de *Lactobacillus* aisladas del queso crema artesanal de Chiapas tienen potencial para su uso como cultivo iniciador con actividad de bioconservación en este y productos similares.

PALABRAS CLAVE: queso artesanal, ácido láctico, ácido acético, *Listeria monocytogenes*, bioconservador.

ABSTRACT

Chiapas cream cheese is an artisanal product manufactured in different regions of Mexico. The ability of lactic bacteria to produce large amounts of lactic and acetic acid has the effect of decreasing the pH, considered one of the primary factors in the inhibition of undesirable microorganisms such as pathogens and coliform bacteria, in dairy foods. The objective of this work was to isolate lactic acid bacteria and evaluate their antagonistic effect against pathogenic bacteria *in vitro*, as well as their effect against pathogens that are present in milk when they are added in the preparation of cream cheese. Strains of lactic bacteria were isolated from cream cheese from Chiapas, Mexico. Isolates were identified by API 50CH biochemical tests and 16S ribosomal gene sequences. The bacteria under study were used in pathogen growth inhibition tests. The production of acetic and lactic acid was quantified by gas chromatography coupled to masses in the cheeses at the beginning and 10 d after its elaboration. 203 bacterial strains were isolated, 82 of which had the ability to inhibit the growth of 7 pathogenic bacterial strains. The strains were identified by the partial sequence of the 16S ribosomal gene as belonging to the genus *Lactobacillus*; The addition of these strains in the elaboration of cream cheese reduces or eliminates coliforms, *Staphylococcus aureus*, molds and yeasts, while in the cheese made with pasteurized milk 290 CFU/mL of molds and yeasts were detected. These results suggest that *Lactobacillus* strains isolated from Chiapas artisanal cream cheese has the potential to be used as a starter culture with bioconservation activity in this and similar products.

KEYWORDS: artisan cheese, lactic acid, acetic acid, *Listeria monocytogenes*, bioconservative.

*Correspondencia: wova79@hotmail.com/ Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2019/ Fecha de aceptación: 24 de agosto de 2020/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad Tecnológica de la Selva, División Agroalimentaria, carretera Ocosingo-Altamirano km 0.5, Ocosingo, Chiapas, México, C. P. 29950. ²Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Recursos del Mar, Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México.

³Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Mérida, Yucatán, México.

INTRODUCCIÓN

El queso crema de Chiapas es un producto artesanal fabricado en las regiones norte, Frailesca y costa del estado. Forma parte de la dieta básica y constituye una actividad económica para muchas familias chiapanecas. Su sabor, textura y calidad han logrado que sea reconocido como un signo distintivo de la gastronomía chiapaneca y de la identidad cultural de sus habitantes (Culebro y col., 2014). También es uno de los quesos artesanales de México que tiene marca colectiva y potencial para obtener una denominación de origen protegida (González y col., 2016). Las características físicas, químicas y microbiológicas del queso varían dependiendo de la región donde se produce (González y col., 2016). Se obtiene a través de la coagulación ácido-enzimática prolongada de la leche cruda de vaca y tiene características sensoriales únicas, debido a las bacterias ácido lácticas (BAL) endógenas de la leche de cada región (Villegas-de-Gante y Cervantes-Escoto, 2011; González y col., 2016). Se ha reportado la identificación por electroforesis en gel desnaturizante en gradiente (DGGE, por sus siglas en inglés: Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) y secuencia del gen ribosomal 16S de los géneros *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Lactococcus* en este tipo de queso (González y col., 2016).

La capacidad de producir ácidos orgánicos por la fermentación de los carbohidratos presentes y la consecuente disminución del pH son los factores primarios en los que basan su actividad antimicrobiana las bacterias lácticas (Heredia y col., 2017). Sin embargo, su complejo sistema antagonista no se limita a la producción de ácidos, sino que también participan activamente otros metabolitos inhibitorios que, a pesar de ser sintetizados en menor cantidad, contribuyen significativamente a los fenómenos de antibiosis. Entre ellos cabe destacar la producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y otros derivados del metabolismo del oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), compuestos aromáticos (diacetilo, acetaldehído), derivados deshidratados del glicerol (reuterina), benzoato, enzimas bacteriolíticas, bac-

teriocinas y antibióticos, que tienen potencial considerable para la bioconservación en la industria alimentaria y para terapia humana como posibles complementos o sustitutos de los antibióticos utilizados en la actualidad (Heredia y col., 2017; Radaic y col., 2020). Las BAL son microorganismos empleados como cultivos iniciadores, debido al papel que desempeñan en la producción de ácido láctico y la inhibición del desarrollo de patógenos (Cobo y col., 2019).

El objetivo del presente trabajo fue aislar bacterias ácido lácticas y evaluar su efecto antagónico contra bacterias patógenas *in vitro*, así como cuando son adicionadas en la elaboración del queso crema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y aislamiento de BAL de queso en la región de Chiapas, México

Se colectaron 9 muestras en cada uno de los 8 municipios incluidos en el estudio, considerando 3 quesos de 3 diferentes productores, para un total de 72 muestras. Los municipios donde se obtuvieron fueron Ocosingo ($16^{\circ}54'17''$ N; $92^{\circ}05'40''$ W), Palenque ($17^{\circ}30'36''$ N; $91^{\circ}58'53''$ W), Cintalapa ($16^{\circ}41'52''$ N; $93^{\circ}43'13''$ W), Villaflores ($16^{\circ}14'00''$ N; $93^{\circ}16'09''$ W), Villa Corzo ($16^{\circ}11'00''$ N; $93^{\circ}16'00''$ W), Rayón ($17^{\circ}12'03''$ N; $93^{\circ}00'42''$ W), Solosuchiapa ($17^{\circ}25'41''$ N; $93^{\circ}01'55''$ W) y Pijijiapan ($15^{\circ}41'7''$ N; $93^{\circ}12'44''$ W), de Chiapas, México. Las muestras se transportaron al laboratorio en hielera y se almacenaron a $4^{\circ}C$ en un refrigerador (Torrey, R36L, Nuevo León, México). Después se homogenizaron usando el equipo Stomacher a 230 rpm y $30^{\circ}C$ (Lab Blender, England); 10 g de queso se diluyeron en 90 mL de solución salina de buffer de fosfatos. Posteriormente, 1 mL de la solución obtenida fue inoculada en cajas Petri que contenían medio de cultivo agar Man, Rogosa, Sharpe (MRS, Difco, Madrid, España); cada muestra se inoculó por triplicado y fueron incubadas a $30^{\circ}C$ por 48 h en anaerobiosis. Del crecimiento microbiano obtenido se seleccionaron 3 colonias por cada muestra, con base en su morfología circular e irregular, bordes ondulados y lisos, superficies convexas, de

colores opacos, blancos, cremosos, tinción Gram positiva y su reacción negativa a la prueba de catalasa y peroxidasa; estas son características morfológicas y bioquímicas de las BAL (Vázquez y col., 2018). En total se obtuvieron 216 colonias correspondientes a 3 colonias de las 9 muestras para cada uno de los 8 municipios.

Actividad bactericida de las cepas

La actividad bactericida se determinó conforme al método de botón, reportado por Lewus y col. (1991). Primero se obtuvieron cultivos puros de cada cepa candidata a BAL en medio líquido MRS, incubados a 30 °C durante 18 h. Se adicionaron 10 mL del medio MRS (Difco, Madrid, España) (0.8 % de agar) en cada caja Petri, se dejaron gelificar y se colocaron 2 µL del cultivo puro de cada BAL. Las cajas Petri se incubaron a 30 °C durante 18 h. Posteriormente se utilizaron 8 mL del medio MRS, adicionando 20 µL de las cepas patógenas *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Salmonella enterica* var. Typhimurium (ATCC 14028), *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Shigella flexnerii* (ATCC 12022) y *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) en una concentración de 10⁸ UFC/mL. Cada cepa patógena fue inoculada y analizada de manera independiente de las otras. Las cepas patógenas fueron provistas por del Dr. Javier Castro Rosas, de la Universidad Autónoma de Hidalgo. Las cajas fueron incubadas a 30 °C por 18 h. El efecto antibacteriano se detectó por la presencia de halos de inhibición alrededor de las cepas ácido lácticas. Se seleccionaron las cepas que presentaron efecto inhibitorio contra las 7 cepas patógenas, descartando las que inhibieron solo a algunas de ellas.

Agrupación genética BOX-PCR

Las cepas seleccionadas con actividad antagonista contra las 7 cepas bacterianas patógenas fueron agrupadas mediante perfiles genéticos generados por BOX-PCR, el cual fue amplificado usando el oligonucleótido BOXA1R (CTACGGCAAGGCGACGCTGACG). Las condiciones de amplificación fueron las siguientes: 95 °C por 5 min y luego 35 ciclos de 95 °C

por 1 min, 63 °C durante 1 min y 72 °C durante 3 min y un ciclo de elongación final durante 10 min a 72 °C (Versalovic y col., 1991). Se construyó una matriz binaria con los perfiles genéticos obtenidos por BOX-PCR de las cepas según el método UPGMA, utilizando el coeficiente de Jaccard con corte al 70 %.

Secuenciación del gen ribosomal 16S rARN

Para la identificación de las cepas se realizó la extracción del ADN genómico de los aislados seleccionados con base en los perfiles genéticos por BOX-PCR, empleando el kit ZR Fungal/Bacterial DNA Miniprep™. Posteriormente se amplificó por PCR el gen ribosomal 16S utilizando los oligonucleótidos rBAL y fBAL (Ramos y col., 2009). Los productos de amplificación obtenidos de ~ 658 nucleótidos fueron purificados con el kit GeneJET (Thermo Scientific) y enviados para secuenciación a la unidad de secuenciación del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las secuencias del gen ribosomal 16S fueron alineadas con el programa CLUSTALW (Thompson y col., 1994). Para detectar la similitud con especies del género *Lactobacillus* se usó el algoritmo de herramienta básica de búsqueda de alineación local (BLAST, por sus siglas en inglés: Basic Local Alignment Search Tool) en la base de datos de nucleótidos del Gen bank.

Caracterización bioquímica de las BAL

Una cepa de cada perfil genético obtenido por BOX-PCR fue cultivada en el medio MRS, para la caracterización bioquímica con API 50CH (bioMérieux).

Árbol filogenético

Para la construcción del árbol filogenético se usó un fragmento de las secuencias del gen 16S ribosomal a fin de confirmar la identidad de los aislamientos al nivel de género mencionado. El árbol filogenético fue construido con el método neighbor-joining (Saitou y Nei, 1987), empleando ~ 658 nucleótidos de acuerdo a la matriz de distancia de Jukes y Cantor (1969), utilizando el programa MEGA versión 7 (Tamura y col., 2016).

Elaboración de queso crema en condiciones controladas de laboratorio

La elaboración del queso crema fue de manera artesanal y este proceso se realizó dos veces. Los tratamientos fueron los siguientes: leche pasteurizada (63 °C por 30 min), leche cruda de vaca y leche cruda de vaca acidificada con las cepas de *Lactobacillus* (CO42) y la mezcla de *Lactobacillus* (P47, VF17) en una concentración de 10⁸ UFC/mL. Las cepas utilizadas (como cultivos iniciadores) para la elaboración del queso crema fueron seleccionadas con base en la compatibilidad entre cepas lácticas, que consiste en realizar pruebas de antagonismo. Por cada 10 L de leche se adicionó 1 mL de cuajo (1:10 000 v/v) y se dejó reposar 18 h (pH 4.9 a 5.3). La cuajada fue cortada y se dejó escurrir 12 h a 4 °C; se le agregó sal de mesa en una proporción del 4 % p/v; se prensó durante 4 h, se empaquetó en papel de polietileno y se almacenó a 4 °C durante 10 d, para sus análisis posterior.

Análisis microbiológico del queso crema

Las muestras del queso crema fueron analizadas por triplicado para la determinación microbiológica de rutina: mohos y levaduras mediante la Norma Oficial Mexicana (NOM-111-SSA1-1994), bacterias coliformes por el método del número más probable (NMP) mediante la NOM-112-SSA1-1994, coliformes totales en placas de acuerdo a la NOM-113-SSA1-1994, *Salmonella* mediante la NOM-114-SSA1-1994 y *Staphylococcus aureus* con el método marcado por la NOM-115-SSA1-1994.

Extracción de ácido láctico y acético del queso crema

Se tomaron muestras de los quesos elaborados con leche pasteurizada, leche no pasteurizada y leche adicionada con las bacterias ácido lácticas para la cuantificación de ácido láctico y ácido acético. Las muestras fueron colectadas en dos etapas: la primera el día 0, correspondiente al día de la elaboración del queso, y la segunda 10 d después de su elaboración. La extracción se realizó conforme a lo reportado por Ramírez y col. (2009), donde 5 g de queso fueron colectados de cada tratamiento y colocados en 10 mL de agua

ultrapura estéril y homogenizados; posteriormente, centrifugados 40 min a 6 000 xg.

Preparación de las muestras y condiciones cromatográficas

Las muestras se filtraron con filtros de celulosa regenerada hyper-clean® (0.45 µm) y después se diluyeron en acetona grado HPLC (1:4). La cuantificación del ácido láctico y acético se realizó en un cromatógrafo de gases (Thermo scientific, Trace GC Ultra, Massachusetts, USA) acoplado al espectrómetro de masas (Thermo scientific, ITQ 900, Massachusetts, USA). Los compuestos se separaron usando una columna capilar (TR-5MS 30 m x 0.25 mm ID x 0.25 µm, Thermo Scientific). Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: el gas portador fue helio, con un flujo de 1.1 mL/min; puerto de inyección a 200 °C en modo sin división. El programa de temperatura del horno se mantuvo a 50 °C durante 2 min, luego se elevó a 10 °C/min a 290 °C y se mantuvo durante 1 min. La temperatura de la línea de transferencia CG-MS fue de 270 °C. El espectrómetro MS (Thermo scientific, Trace GC Ultra, Massachusetts, USA) funcionaba en modo de exploración completa (3 exploraciones/s) en un rango de m/z 35 a 200. La ionización se realizó mediante energía de impacto de electrones a 70 eV y la temperatura de la fuente de iones se mantuvo a 200 °C. Los compuestos se identificaron con base en la comparación de espectros de masas, con los contenidos en la biblioteca NIST 2.0, y en comparación con los tiempos de retención de los estándares de alta pureza.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de los datos, complementada con un análisis por comparaciones múltiples de Tukey, a una significancia de $P \leq 0.05$, para determinar las diferencias entre las muestras de estudio. Se utilizó el paquete estadístico Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés: Statistical Analysis System) (SAS, 2016) versión 9.4.

RESULTADOS

Aislamiento de bacterias ácido lácticas

A partir de las 72 muestras del queso crema

colectadas en los diferentes municipios del estado de Chiapas, México, se aislaron un total de 203 colonias candidatas a BAL en el medio de cultivo MRS.

Evaluación bactericida de cepas

De las 203 cepas seleccionadas como candidatas de BAL, se detectó que 82 tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de las 7 cepas patógenas: *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Salmonella enterica* var. Typhimurium (ATCC 14028), *Escherichia coli* O157: H7, *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Shigella*

flexnerii (ATCC 12022) y *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) (Tabla 1). Se obtuvieron 121 cepas que inhibieron al menos un patógeno (datos no mostrados).

BOX-PCR

Los productos de amplificación de las 82 cepas aisladas, analizadas mediante BOX-PCR, generaron huellas genómicas compuestas por fragmentos que varían en tamaño de 100 a 900 pares de bases. Se encontraron 10 cepas que presentaron perfiles idénticos a otras (VF4, R1, R70, S1, CO44, CO45, CO46, CO47, CO48, CO49), por lo que no fueron consideradas en

■ **Tabla 1. Bacterias ácido lácticas con actividad antimicrobiana aisladas del queso crema de las diferentes regiones del Estado de Chiapas, México.**

Table 1. Lactic acid bacteria with antimicrobial activity isolated from cream cheese from the different regions of the State of Chiapas, Mexico.

Localización (Chiapas, México)	Número de cepas	Códigos de las cepas	Inhibición de cepas patógenas						
			<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 19115	<i>Salmonella enterica</i> var. Typhimurium ATCC 14028	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus epidermidis</i> ATCC 12228	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	<i>Shigella flexnerii</i> ATCC 12022
Ocosingo	3	OC11, OC13, OC14	+	+	+	+	+	+	+
Palenque	23	P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P41, P42, P45, P46, P47, P48, P49, P50, P51, P52, P53, P54, P55	+	+	+	+	+	+	+
Cintalapa	3	CN1, CN14, CN16	+	+	+	+	+	+	+
Villaflores	15	VF1, VF2, VF4, VF6, VF8, VF10, VF11, VF13, VF14, VF15, VF16, VF17, VF18, VF19, VF20	+	+	+	+	+	+	+

Continúa...

Villa Corzo	1	VC2	+	+	+	+	+	+	+
Rayón	11	R1, R7, R14, R16, R33, R48, R50, R60, R66, R68, R70	+	+	+	+	+	+	+
Solosuchiapa	1	S1	+	+	+	+	+	+	+
Pijijiapan	25	CO1, CO2, CO7, CO9, CO10, CO11, CO12, CO13, CO17, CO18, CO22, CO29, CO30, CO31, CO32, CO33, CO34, CO42, CO43, CO44, CO45, CO46, CO47, CO48, CO49	+	+	+	+	+	+	+

OC = Ocosingo, P = Palenque, CN = Cintalapa, VF = Villaflores, VC = Villa Corzo, R = Rayón, S = Solosuchiapa, CO = Pijijiapan.

el dendograma que se muestra en la Figura 1, estructurado con 72 cepas, las cuales puede observarse que formaron 10 grandes grupos.

Secuenciación del gen 16S de las cepas BAL

En cada uno de los 10 grupos del dendograma se seleccionó una cepa representativa, a la que se le realizó el análisis de las secuencias del gen 16S ribosomal. Estas cepas mostraron una similitud del 99 % con especies del género *Lactobacillus* (Tabla 2).

Caracterización bioquímica de las cepas de BAL

Los microensayos API 50CH de las cepas BAL seleccionadas de los 10 grupos obtenidos por perfiles genéticos y secuenciadas (Figura 1) mostraron el perfil metabólico de carbohidratos que corresponde al género *Lactobacillus* (Tabla 1), en concordancia con los resultados de las secuencias del gen 16S ribosomal.

Árbol filogenético

El análisis del árbol filogenético confirmó que las cepas CO42 y VF6 están genéticamente relacionadas con *Lactobacillus brevis*, mientras que las cepas P33, P45, P47, VF17, R48, R50,

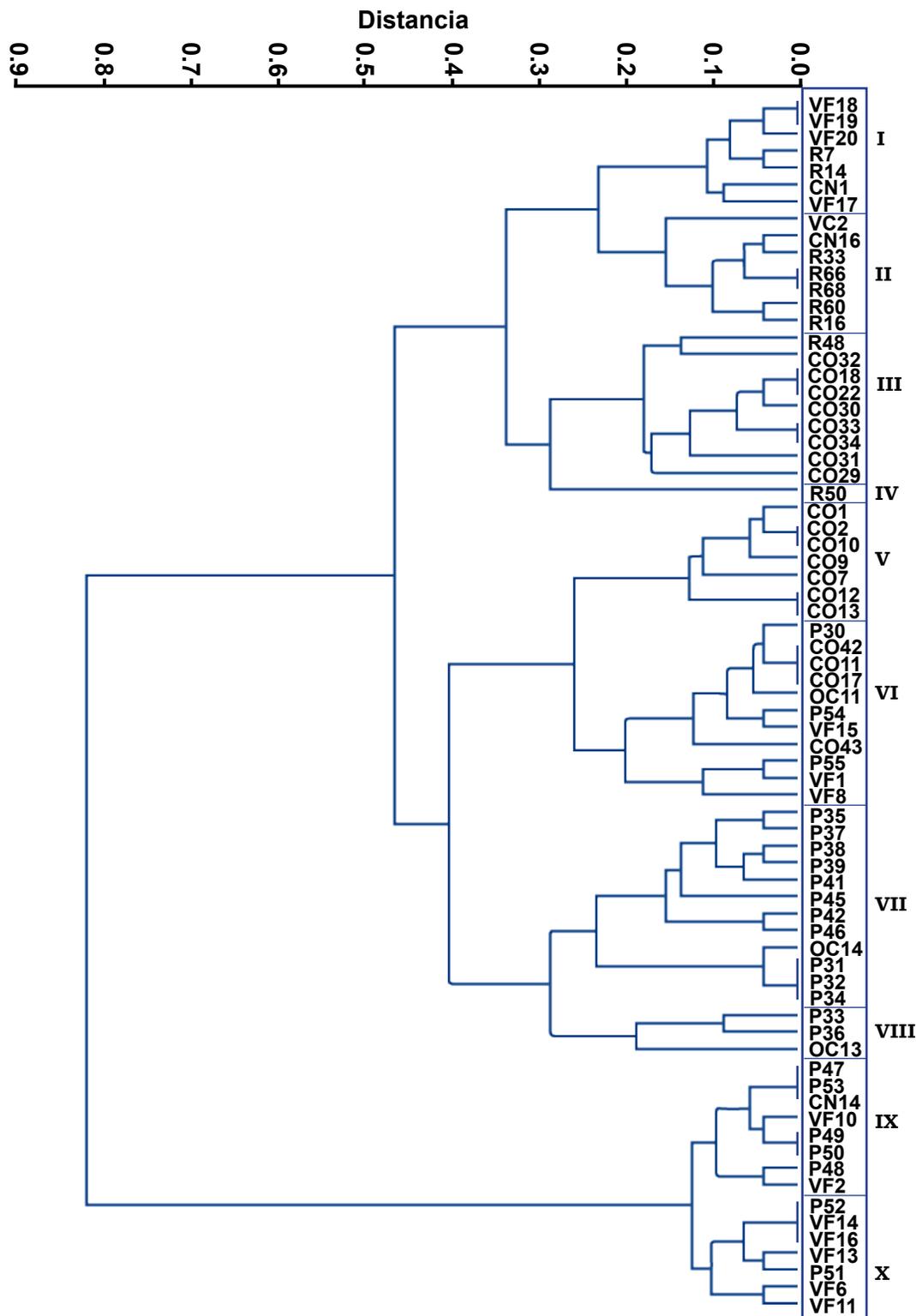
CO12 y CN16 se encuentran relacionadas con *Lactobacillus plantarum* (Figura 2 y Tabla 2).

Análisis microbiológico del queso crema

En los análisis microbiológicos realizados a los tratamientos del queso crema elaborado con leche pasteurizada, leche no pasteurizada, leche inoculada con las cepas de *Lactobacillus* (CO42) y mezcla de *Lactobacillus* (P47, VF17) no se detectó la presencia de coliformes totales, *Staphylococcus aureus*, mohos o levaduras. Sin embargo, en los quesos elaborados con leche no pasteurizada y pasteurizada se encontraron, respectivamente, 1 200 UFC/mL y 290 UFC/mL de levaduras y mohos.

Cuantificación del ácido láctico

No se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácido láctico el día 0 en los tratamientos del queso crema elaborado con leche no pasteurizada e inoculado con las cepas de *Lactobacillus* (CO42) y la mezcla de *Lactobacillus* (P47, VF17) (Tabla 3), mientras que en el queso elaborado con leche pasteurizada se encontró menor contenido de ácido láctico inicial ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). Con respecto al contenido de ácido láctico en las muestras de 10 d de



I = *Lactobacillus plantarum*; II = *Lactobacillus plantarum*; III = *Lactobacillus* sp.; IV = *Lactobacillus plantarum*; V = *Lactobacillus plantarum*; VI = *Lactobacillus brevis*; VII = *Lactobacillus plantarum*; VIII = *Lactobacillus plantarum*; IX = *Lactobacillus plantarum*; X = *Lactobacillus brevis*.

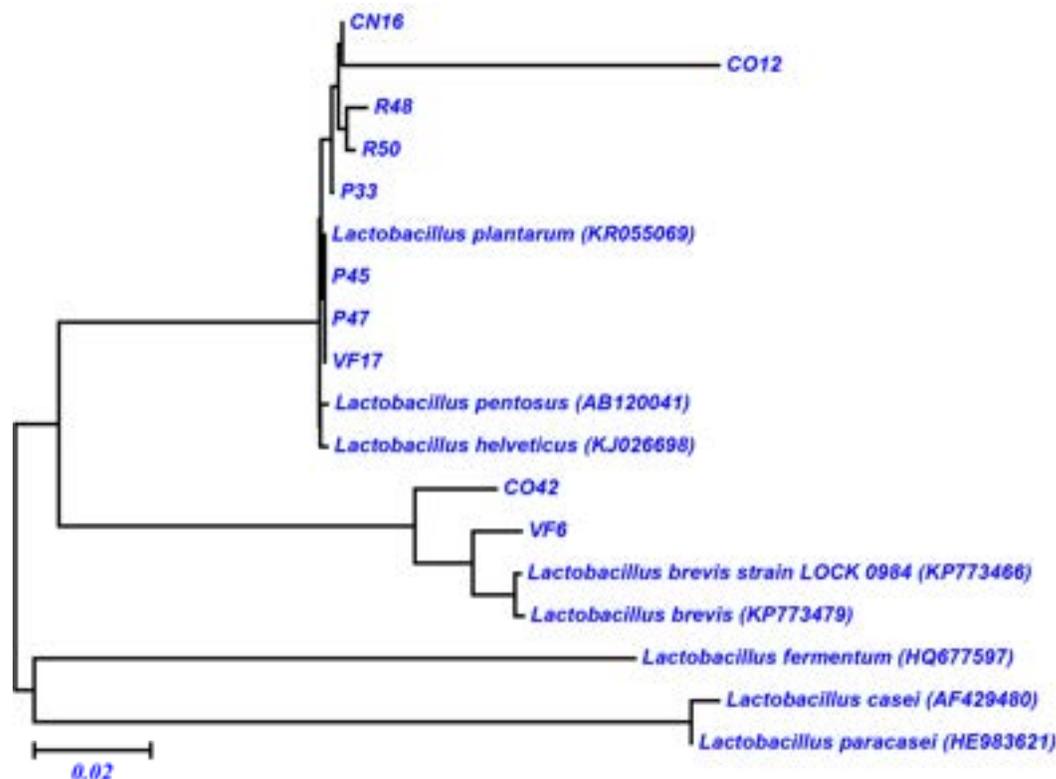
■ Figura 1. Dendrograma obtenido a partir de perfiles genéticos con BOX-PCR de bacterias ácido lácticas con actividad microbiana.

Figure 1. Dendrogram obtained from genetic profiles with BOX-PCR of lactic acid bacteria with microbial activity.

■ Tabla 2. Identificación de bacterias lácticas por secuenciación del gen 16S ribosomal y pruebas bioquímicas API 50CH, aisladas del queso crema en las diferentes regiones del estado de Chiapas, México.

Table 2. Identification of lactic bacteria by sequencing of the 16S ribosomal gene and API 50CH biochemical tests, isolated from cream cheese in the different regions of the state of Chiapas, Mexico.

Código	Grupo BOX-PCR	Cepas relacionadas	% Identidad	
			Secuencias del Gen bank	API 50CH
P33	VIII	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
P45	VII	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
P47	IX	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
VF6	X	<i>Lactobacillus brevis</i>	99	99
VF17	I	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
R48	III	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
R50	IV	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
CO12	V	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99
CO42	VI	<i>Lactobacillus brevis</i>	99	99
CN16	II	<i>Lactobacillus plantarum</i>	99	99



■ Figura 2. Árbol filogenético basado en secuencias del gen 16S rARN en el que se pueden observar las especies del género *Lactobacillus* aisladas del queso crema. La barra representa 2 sustituciones de nucleótidos por 100 nucleótidos.

Figure 2. Phylogenetic tree based on sequences of the 16S rRNA gene in which species of the genus *Lactobacillus* isolated from cream cheese can be observed. The bar represents 2 nucleotide substitutions per 100 nucleotides.

■ Tabla 3. Determinación del contenido de ácido láctico y ácido acético en muestras del queso crema mediante cromatografía de gases acoplada a masas.

Table 3. Determination of lactic acid and acetic acid content in cream cheese samples by mass-coupled gas chromatography.

Tratamientos	Ácido láctico (g/L)		Ácido acético (g/L)	
	0 d	10 d	0 d	10 d
Leche no pasteurizada	4.56 ^a ± 0.6	5.17 ^b ± 0.1	6.55 ^a ± 0.2	5.10 ^{ab} ± 0.8
Leche pasteurizada	1.70 ^b ± 0.2	4.06 ^c ± 0.3	4.89 ^b ± 0.4	4.19 ^b ± 0.5
Leche no pasteurizada + <i>Lactobacillus</i> (CO42)	5.62 ^a ± 0.3	5.66 ^a ± 0.5	5.15 ^b ± 0.7	5.32 ^{ab} ± 0.1
Leche no pasteurizada + <i>Lactobacillus</i> (P47, VF17)	5.28 ^a ± 0.7	5.72 ^a ± 0.8	4.17 ^c ± 0.5	5.44 ^a ± 0.3

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes.

almacenamiento posteriores a su elaboración, se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácido láctico en el queso crema donde se inocularon las cepas de *Lactobacillus* en relación con los tratamientos del queso crema elaborado con leche pasteurizada y no pasteurizada (Tabla 3). El contenido de ácido láctico después de 10 d fue mayor en los tratamientos de los quesos donde se inocularon las cepas de *Lactobacillus* que en los de quesos elaborados con leche pasteurizada y no pasteurizada (Tabla 3).

Cuantificación del ácido acético

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácido acético de los quesos. En el día 0 el queso elaborado con leche no pasteurizada presentó mayor contenido de ácido acético que el queso obtenido con leche no pasteurizada con la adición de la mezcla de *Lactobacillus* (P47, VF17), que presentó el menor valor. A los 10 d, este último queso fue el que presentó mayor contenido de ácido acético, superior al obtenido con leche pasteurizada ($P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Un total de 82 cepas puras, seleccionadas de las 203 cepas candidatas a BAL, presentaron efecto de inhibición del crecimiento de 7 cepas bacterianas patógenas (Tabla 1). Este efecto antagónico contra microorganismos patógenos tam-

bién fue reportado por Zapata y col. (2009) en *Lactobacillus plantarum*, que inhibió el crecimiento de *Salmonella tiphya* (ATCC 6539), *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*. Dicha actividad microbiana también ha sido registrada por Rivera y col. (2017), donde cepas de *Leuconostoc* spp y *Lactococcus lactis*, aisladas de queso artesanal, inhibieron el crecimiento de *Salmonella enterica* var. Typhimurium. Los 10 perfiles agrupados de huellas genómicas por BOX-PCR obtenidos de las 82 cepas con actividad antimicrobiana muestran diversidad de las BAL en el queso crema producido en las diferentes regiones del estado de Chiapas (Figura 1).

Las pruebas bioquímicas API 50CH y las secuencias del gen 16S ribosomal de las 10 cepas que representan a los grupos obtenidos por BOX-PCR mostraron similitud del 99 % con especies de *Lactobacillus plantarum* y *brevis* (Tabla 2). Sin embargo, es necesario utilizar otro marcador molecular, el gen *rpoB*, para confirmar a nivel de especie. En el árbol filogenético se puede observar que las cepas CN16, CO12, R48, R50, P33, P45, P47 y VF17 están relacionadas con *Lactobacillus plantarum*, mientras que las cepas CO42 y VF6 tienen relación con *Lactobacillus brevis* (Figura 2). Este género bacteriano también ha sido aislado de los quesos bola, cotija y doble crema, elaborados en las diferentes regiones de México, donde ha

sido reportado que restaura las características sensoriales del queso cuando es elaborado con leche pasteurizada, así como también está involucrado en el proceso de maduración (Vázquez y col., 2018; Cobo y col., 2019).

El efecto de la inhibición del crecimiento de las cepas patógenas por *Lactobacillus* puede estar relacionado con la producción de los ácidos orgánicos, como lo documentó Gao y col. (2019), donde el bajo contenido de ácido láctico afecta la inhibición de patógenos. Este efecto también se reporta en *Lactobacillus brevis* P68 y PS1, las cuales, en pH ácido originado por la producción de ácidos orgánicos, inhibieron el crecimiento de especies del género *Fusarium* (Mauch y col., 2010; Valan y col., 2015).

El efecto de la inhibición del crecimiento microbiano en los quesos elaborados con las cepas de *Lactobacillus*, evaluado 10 d después de su elaboración, puede estar relacionado con el mayor contenido de ácido láctico y acético que se detectó, ya que la producción de estos ácidos orgánicos es un mecanismo de las BAL para la inhibición de otros microorganismos. Esta característica metabólica ha sido utilizada como un método biotecnológico de conservación de algunos alimentos, para incrementar su vida útil (Gao y col., 2019). Por lo contrario, el contenido de ácido láctico fue considerablemente menor en el queso elaborado con leche pasteurizada (Tabla 3); esta disminución puede estar relacionada con la pérdida de microorganismos durante el proceso de pasteurización (Alegría y col., 2016), debido a que este proceso no solo elimina microorganismos patógenos, sino que también reduce significativamente la microbiota nativa de la leche, lo que puede afectar la producción de ácidos orgánicos, así como otras sustancias con actividad antimicrobiana, como enzimas bacteriolíticas, bacteriocinas, compuestos aromáticos y antibióticos. Por otro lado, un aumento en este metabolito puede modificar la población de BAL y otros microorganismos (Martínez y col., 2016). También se puede esperar que cuando se eliminan cepas autóctonas de la leche por el proceso de pasteurización, pue-

den afectarse las características organolépticas del queso, ya que las bacterias ácido lácticas son responsables de producir metabolitos que definen estas características en los quesos artesanales, como lo han reportado Alegría y col. (2016) y Sacristán y col. (2016). Debido a estas características, las cepas de *Lactobacillus* evaluadas podrían ser utilizadas como cultivos iniciadores en la elaboración del queso crema, las cuales serían adicionadas posteriormente al proceso de pasteurización, contribuyendo así a que los quesos elaborados mediante este procedimiento puedan mantener sus características organolépticas (las cuales no fueron evaluadas en este estudio), que es lo que aprecian los consumidores de los quesos artesanales; y, al mismo tiempo, que contribuya a cumplir con la NOM-121-SSA1-1994, que establece que, para la fabricación de queso, la leche debe pasteurizarse (Vázquez y col., 2018). Otra aplicación que podrían tener estas cepas es la biopreservación de alimentos, con el objetivo de garantizar la inocuidad microbiológica, como lo reportan Di-Gioia y col. (2016), quienes evaluaron la capacidad de las BAL de eliminar *Clostridium* en carne fermentada. Por lo tanto, las 3 cepas bacterianas ácido lácticas que tuvieron la capacidad de eliminar a los microorganismos patógenos del queso crema podrían ser utilizadas en el proceso de biopreservación de alimentos (Di-Gioia y col., 2016; Da-Costa y col., 2019).

CONCLUSIONES

Se aislaron 203 cepas del queso crema de las regiones productoras del estado de Chiapas, de las cuales, 82 tuvieron un efecto antimicrobiano contra 7 cepas bacterianas patógenas, así también, mostraron esta actividad cuando fueron adicionados en la elaboración del queso crema, eliminando *Staphylococcus aureus*, mohos y levaduras, mientras que en el queso elaborado con leche pasteurizada se detectaron 290 UFC/mL de mohos y levaduras. Estas cepas están relacionadas genéticamente con *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus brevis*. El contenido de ácido láctico y acético fue mayor en los quesos a los que se adicionaron las cepas de *Lactobacillus* CO42 y *Lactobacillus* P47

y VF17. Los resultados sugieren que estas últimas cepas de *Lactobacillus* aisladas del queso crema artesanal de Chiapas tienen potencial para su uso como cultivo iniciador con actividad de bioconservación en este y productos similares, lo que permitiría estandarizar la calidad del queso comercial que se produce en la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRO-DEP) y a la Secretaría de Educación Pública (SEP) de México por el financiamiento para el desarrollo del proyecto de investigación “Potencial Biotecnológico de la Microflora Asociada al Queso Crema de las Diferentes Regiones del Estado de Chiapas”.

REFERENCIAS

- Alegría, A., González, P., Delgado, S., Flórez, A. B., Hernández, B. A., Rodríguez, A., and Mayo, B. (2016). Characterization of the technological behavior of mixtures of mesophilic lactic acid bacteria isolated from traditional cheeses made of raw milk without added starters. *International Journal of Dairy Technology*. 69(4): 507-519.
- Cobo, R., Rosas, R., Gálvez, D., Adriano, L. y Vázquez, A. (2019). Bacterias ácido lácticas nativas como cultivo iniciador para la elaboración de queso crema mexicano. *Agronomía Mesoamericana*. 30(3): 855-870.
- Culebro, M., Jiménez, A., Ortiz, M. y León, H. (2014). *El queso crema Chiapas. Una historia que nos identifica*. México: Universidad Autónoma de Chiapas, Unidad de Divulgación Científica. 35-41 Pp.
- Da-Costa, J. R., Voloski, S. L., Mondadori, G. R., Duval, H. E., and Fiorentini, M. A. (2019). Preservation of meat products with bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from meat. *Journal of Food Quality*. 1-12.
- Di-Gioia, D., Mazzola, G., Nikodinoska, I., Aloisio, I., Langerholc, T., Rossi, M., and Rovira, J. (2016). Lactic acid bacteria as protective cultures in fermented pork meat to prevent *Clostridium* spp. Growth. *International Journal of Food Microbiology*. 235: 53-59.
- Gao, Z., Daliri, E. B., Wang, J., Liu, D., Chen, S., Ye, X., and Ding, T. (2019). Inhibitory effect of lactic acid bacteria on foodborne pathogens: A Review. *Journal of Food Protection*. 82(3): 441-453.
- González, A. F., Yescas, C., Ortiz, E. A., De-la-Rosa, A. M., Mendoza, H. A., and Vallejo, C. B. (2016). Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*. 99(5): 3250-3262.
- Heredia, P., Hernández, A., González, A. y Vallejo, B. (2017). Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Interciencia*. 42(6): 340-346.
- Jukes, T. H. and Cantor, C. R. (1969). Evolution of protein molecules. In H. N. Munro (Ed.), *Mammalian protein metabolism* (pp 21-23). New York: Academic Press. Inc.
- Lewus, C. B., Kaiser A., and Montville, T. J. (1991). Inhibition of food-borne bacterial pathogens by bacteriocins from lactic acid bacteria isolated from meat. *Applied Environmental Microbiology*. 57(6): 1683-1688.
- Martínez, V., Moral-Ventura, S. T. D., Sachman, B., Ramírez, L. y García, M. (2016). Dinámica poblacional y aislamiento de bacterias ácido lácticas en lactosuero fermentado. *Nova Scientia*. 8(17): 326-339.
- Mauch, A., Dal-Bello, F., Coffey, A., and Arendt, E. K. (2010). The use of *Lactobacillus brevis* PS1 to *in vitro* inhibit the outgrowth of *Fusarium culmorum* and other common *Fusarium* species found on barley. *International Journal of Food Microbiology*. 141(1-2): 116-121.
- NOM-111-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.
- NOM-112-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable*. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.
- NOM-113-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.
- NOM-114-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Determinación de Salmonella en alimentos*. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/114ssa14.html>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.
- NOM-115-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la determinación de Staphylococcus aureus en*

alimentos. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/115ssa14.html>. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.

NOM-121-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Quesos: Frescos, Madurados y Procesados. Especificaciones Sanitarias*. [En línea]. Disponible en: www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/121ssa14. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2019.

Radaic, A., de-Jesus, M. B., and Kapila, Y. L. (2020). Bacterial antimicrobial peptides and nano-sized drug delivery systems: The state of the art toward improved bacteriocins. *Journal of Controlled Release*. (321): 100-118.

Ramírez, N. L., Wachter, R. M. y Pérez C. M. (2009). Producción de metabolitos y pruebas de actividad antagónica de bacterias lácticas termotolerantes aisladas de productos cárnicos. *Nacameh*. 3(1): 33-47.

Ramos, B., Bucio, A., Bautista, C., Aranda, E. y Izquierdo, F. (2009). Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas para la elaboración de queso crema tropical. *Universidad Ciencia Trópico Húmedo*. 25(2): 159-171.

Rivera, J. F., Villegas, A., Miranda, L. y García, J. (2017). Identificación de bacterias acidolácticas antagónicas de *Salmonella enterica* var. Typhimurium aisladas de queso artesanal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(4): 785-797.

Sacristán, N., Fernández, D., Castro, J. M., Tornadijo, M. E., and Fresno, J. M. (2016). Effect of an autochthonous starter culture, including lactococci and *Geotrichum candidum* strains, on the ripening of a semi-hard goats milk cheese. *African Journal of Microbiology Research*. 10(9): 301-311.

Saitou, N. and Nei, M. (1987). The Neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*. 4(4): 406-425.

SAS, Statistical Analysis System (2016). SAS® version 9.4 Macro Language: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipowski, A., and Kumar, S. (2016). MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0. *Molecular Biology and Evolution*. 30(12): 2725-2729.

Thompson, J. D., Higgins, D. G., and Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*. 22(22): 4673-4680.

Valan, M., Al-Dhabi, N. A., Rejiniemon, T. S., Lee, K. D., Huxley, V. A. J., Kim, D. H., ..., and Choi, K. C. (2015). Identification and characterization of *Lactobacillus brevis* P68 with antifungal, antioxidant and probiotic functional properties. *Indian Journal of Microbiology*. 55(1): 19-28.

Vázquez, R., Salvador, M., Adriano, M. L., DeGyves, G., and Vázquez, A. (2018). Use of starter culture of native lactic acid bacteria for producing an artisanal Mexican cheese safe and sensory acceptable. *CyTA-Journal of Food*. 16(1): 460-468.

Versalovic, J., Koeuth, T., and Lupski, J. (1991). Distribution of repetitive DNA sequences in eubacteria and application to fingerprinting of bacterial genome. *Nucleic Acids Research*. 19(24): 6823-31.

Villegas-de-Gante, A. y Cervantes-Escoto, F. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales*. 19(38): 146-164.

Zapata, S., Muñoz, J., Ruíz, O., Montoya, O. y Gutiérrez, P. (2009). Aislamiento de *Lactobacillus plantarum* LPBM10 y caracterización parcial de su bacteriocina. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 16(1): 75-82.



Imágenes de: Yolanda del Rocío Moreno Ramírez

Enriquecimiento del aceite comestible por compuestos fenólicos y antioxidantes de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*)

Enrichment of edible oil by phenolic and antioxidant compounds of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*)

Karla Mariby Treto-Alemán¹, Jorge Ariel Torres-Castillo², Aremi Rebeca Contreras-Toledo³, Yolanda del Rocío Moreno-Ramírez^{2*}

RESUMEN

Capsicum annuum var. *glabriusculum* presenta adaptaciones locales a distintas dinámicas antropocéntricas y ecológicas, por lo que ampliar sus usos alimenticios a partir de su potencial antioxidante permitirá contribuir al conocimiento para fortalecer cadenas de valor, robustecer su aprovechamiento y el consumo de plantas comestibles silvestres locales. El objetivo de este trabajo fue suplementar con chile piquín un aceite comestible comercial de cártamo y evaluar su capacidad antioxidante, a través de la determinación del contenido de compuestos fenólicos y mediante ensayos de captación de radicales libres ABTS⁺ y DPPH[·], evaluados en: 1) la muestra de chile piquín a través de dos solventes de extracción y 2) en el aceite suplementado y sin suplementar a los 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d posteriores a la preparación (DPP). El chile piquín presentó altos valores antioxidantes, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que el extracto acuoso superó al hidroalcohólico. El ANOVA factorial mostró diferencias significativas en los tres parámetros antioxidantes evaluados. Estas disimilitudes se asociaron a la suplementación, tiempo (DPP) y la combinación de la suplementación y DPP. La suplementación del aceite de cártamo con *C. annuum* var. *glabriusculum* enriqueció 66 % su valor antioxidante. La comparación de medias mostró diferencias significativas en la combinación de tratamientos y DPP. La combinación de aceite suplementado y los DPP presentó variabilidad en los datos de polifenoles totales y habilidad contra ABTS⁺. Se observó una relación inversa entre los DPP y compuestos fenólicos totales y capacidad contra ABTS⁺, contrario a la prueba para DPPH[·]. Los resultados obtenidos validan que la adición de chile piquín incrementa la biofuncionalidad del aceite de cártamo y puede ser alternativa de fuente de antioxidantes naturales.

PALABRAS CLAVE: chile piquín, planta comestible silvestre, aceite suplementado, antioxidante.

ABSTRACT

Capsicum annuum var. *glabriusculum* presents local adaptations to different anthropocentric and ecological dynamics. Therefore, expanding its food uses based on its antioxidant potential will contribute to knowledge about ways to strengthen value chains, enhance their use and encourage the consumption of local wild edible plants. The aim of this work was to evaluate the antioxidant capacity of commercial edible safflower oil supplemented with piquín chili by determining the content of phenolic compounds and by assays of free radical scavenging in ABTS⁺ and DPPH[·]. The evaluation included: 1) the piquín chili sample through two extraction solvents and 2) the supplemented and unsupplemented oil at 0 d, 7 d, 14 d, 21 d and 28 d after preparation (DPP). The piquín chili presented high antioxidant values. The analysis of variance (ANOVA) indicated that the aqueous extract surpassed the hydroalcoholic extract. The factorial ANOVA showed significant differences in the three antioxidant parameters evaluated. These dissimilarities were associated with supplementation, time (DPP) and the combination of supplementation and DPP. Safflower oil supplementation with *C. annuum* var. *glabriusculum* enriched 66 % more its antioxidant value. The comparison of means showed significant differences in the combination of treatments and DPP. The combination of supplemented oil and DPP showed variability in total polyphenol data and ability against ABTS⁺. An inverse relationship was observed between DPP and total phenolic compounds, and capacity against ABTS⁺, contrary to the test for DPPH[·]. The results obtained validate the argument that the addition of piquín chili increases the biofunctionality of safflower oil and can be an alternative source of natural antioxidants.

KEYWORDS: piquín chili, wild edible plant, supplemented oil, antioxidant.

*Correspondencia: yrmoreno@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 7 de septiembre de 2020/ Fecha de aceptación: 8 de enero de 2021/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo núm. 356, col. Libertad, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87019. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

INTRODUCCIÓN

El chile piquín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) es una especie silvestre comestible de gran importancia en México. Mantiene significativas interrelaciones biológicas, socio-culturales y económicas (Ovando-Martínez y col., 2018) y forma parte de dietas de diversos sistemas alimentarios locales, lo cual contribuye a la seguridad alimentaria nacional.

Las características organolépticas de *C. annum* var. *glabriusculum* se derivan de su composición fitoquímica, la cual presenta cantidades considerables de capsaicinoides, compuestos fenólicos y alta capacidad antioxidante (Moreno-Ramírez y col., 2019). Además, el sabor y el elevado picor del fruto se consideran características que destacan como elementos apreciados en su consumo y preferencia (Moreno-Ramírez y col., 2018). La investigación del potencial fitoquímico y valor antioxidante de los parientes silvestres del género *Capsicum* es reducida, en contraste con los cultivares comerciales de *C. annum*, *C. frutescens* y *C. chinense*, los cuales han sido ampliamente estudiados (Meckelmann y col., 2015; Kantar y col., 2016; Sosa-Moguel y col., 2017). La calidad y cantidad de flavonoides, carotenoides, compuestos fenólicos y capsaicinoides, entre otros, presentes en el fruto de *Capsicum*, son indicativos de su importancia como fitoquímicos bioactivos y el beneficio de su incorporación en la dieta humana (Olatunji y Afolayan, 2020). Los compuestos bioactivos de *Capsicum*, especialmente de tipo antioxidante, tienen la capacidad de prevenir el daño celular, cáncer, diabetes, trastornos cardiovasculares, Alzheimer y Parkinson (Imran y col., 2018), por lo que el perfil fitoquímico y propiedades de los compuestos derivados de los frutos de *Capsicum* se han aprovechado en la industria farmacéutica y alimentaria (Bogusz y col., 2018).

Los frutos inmaduros y maduros de chile piquín (de tonalidades verde y roja, respectivamente) se consumen en fresco y de forma directa. Los frutos rojos, además, se deshidratan y consumen en seco, lo que garantiza su con-

servación y uso como especia por un amplio espacio de tiempo. Por su parte, la industria alimentaria ha diversificado las formas de consumo a través del procesamiento de chile piquín en salsas, encurtidos y aceite suplementado, con alta aceptabilidad en el mercado (Coronado-García y col., 2013).

La demanda de alimentos de calidad, con beneficios a la salud e innovadores ha incrementado la venta de productos que contengan antioxidantes, principalmente de fuentes naturales (Fregapane y col., 2020). Además, se exige que dichos productos conserven las propiedades organolépticas propias de *Capsicum*, como en el caso de los aceites suplementados. Esto abre la oportunidad de utilizar los fitoquímicos y patrones organolépticos peculiares del chile piquín en la industria alimentaria y aprovechar las características biológicas y los beneficios potenciales para la salud asociados al consumo de chile (Sricharoen y col., 2017). Así, los sectores de alimentación, industria e innovación tecnológica han involucrado cada vez más las particularidades o patrones fitoquímicos de *Capsicum*.

La cantidad de aceites suplementados con chile disponibles en el mercado (por ejemplo, de marcas locales, como Piquines mexicano, e internacionales, como Ethnic Flavour & Food) ha evidenciado el aumento de elementos bioactivos por la adición de chile, no obstante, la exploración en cuanto a su actividad es escasa. Lo anterior se deriva de la concentración de la investigación en el mejoramiento de la técnica de preparación, evitar el daño por oxidación, así como reducir el periodo de elaboración (Caporaso y col., 2013). Ello permite considerar la exploración de la capacidad funcional del aceite suplementado y evaluar la ganancia antioxidante por la incorporación de chile piquín, además de analizar la prevalencia o disminución del valor antioxidante durante el procesamiento, ya que se ha documentado que algunos procesos de la industria alimentaria pueden afectar negativamente el potencial bioactivo de los derivados del chile (Rochín-Wong y col., 2013).

Las evidencias del potencial bioactivo de los productos desarrollados con chile piquín son escasas, lo que limita la generación de valor agregado de este recurso silvestre comestible. Por lo anterior, es necesario desarrollar alternativas de fuentes de bioactivos, así como fortalecer las formas de aprovechamiento y consumo como un alimento enriquecido con antioxidantes (Moreno-Ramírez y col., 2019). En este sentido, las propiedades funcionales del chile piquín podrían enriquecer al aceite comestible, considerando que de forma habitual, este último tiene un amplio consumo y una extensa cantidad de productos industriales alimenticios en torno a él (Yara-Varón y col., 2017).

El objetivo del presente estudio fue suplementar un aceite comestible con chile piquín y valorar el enriquecimiento de su incorporación a través de la cuantificación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los frutos de chile piquín fueron recolectados

de poblaciones silvestres en su hábitat natural. La georreferenciación correspondió a los 23°57'02" N, 97°54'46" W en Soto la Marina, Tamaulipas, México. Las características vegetativas y climáticas del área de estudio correspondieron a pastizal cultivado con clima semicálido subhúmedo ((A)C(w1)) (Vargas y col., 2007) ubicado a 50 msnm.

Recolección y preparación del material vegetal

Se recolectó una muestra compuesta de 1 000 frutos maduros con tonalidad naranja-rojiza cosechados de la quinta bifurcación en 100 plantas (Figura 1). Los frutos se mantuvieron en bolsas de papel durante el transporte. Se seleccionaron 500 frutos con base en la homología de color y madurez, sin daño mecánico o por insecto y/o patógeno. Para su preparación, los frutos se lavaron con agua y detergente líquido lavatrastes comercial, después se enjuagaron con agua destilada y se deshidrataron a 35 ± 2 °C en una estufa de aire forzado, por 96 h (Jeio Tech, Geumcheon-gu, Seoul, Korea). Posteriormente, la muestra deshidratada



■ Figura 1. Frutos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

Figure 1. Piquín chili fruits (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

fue pulverizada en un molino para condimentos (Krubs®, modelo Gx410011, México). La muestra final de chile se almacenó en tubos de polipropileno de 50 mL estériles y cubiertos con aluminio a -20 °C.

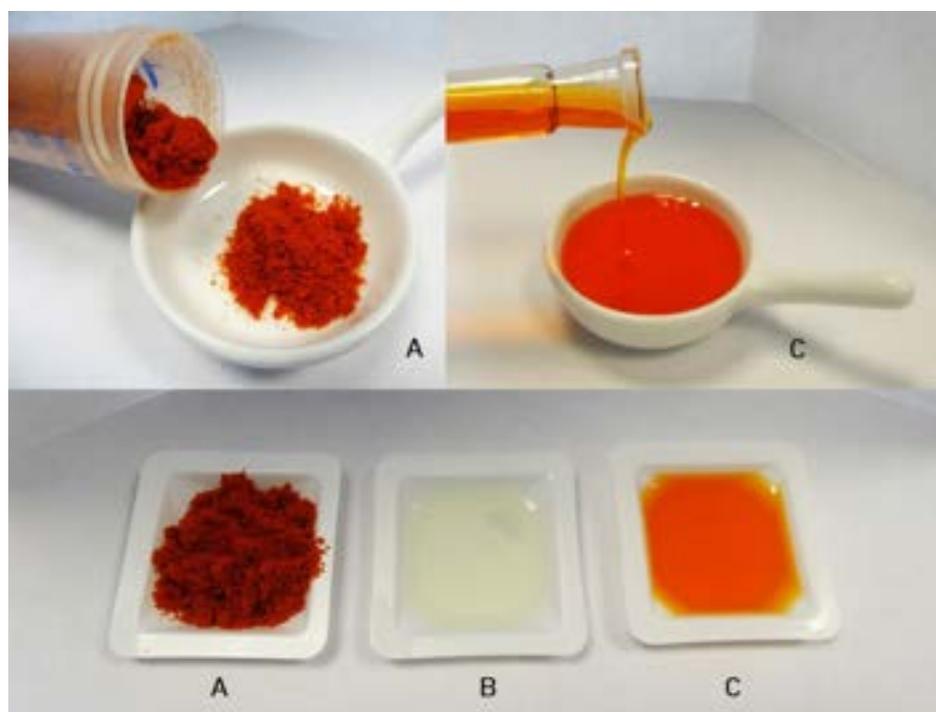
Preparación del extracto de chile piquín

Para conocer los valores de polifenoles y capacidad antioxidante de la muestra de chile piquín utilizada se realizó la extracción con dos solventes: agua y etanol (extracto acuoso e hidroalcohólico, respectivamente). Con base en la técnica propuesta por Torres-Castillo y col. (2013), se tomaron 0.5 g de chile pulverizado y se agregaron 3 mL de agua o etanol al 70 % (por separado). La mezcla se dejó reposar por 20 min a 4 °C (con agitación cada 5 min para su homogenización, empleando un agitador tipo Vortex (Vortex VX-200, Labnet International Inc., Estados Unidos de América). Posteriormente, la mezcla obtenida se centrifugó por 8 min a 10 000 revoluciones por minuto utilizando una centrifuga (Labnet Spectrafuge™ 6C

Compact Research Centrifuge, Labnet International Inc., Estados Unidos de América). Se recuperó el sobrenadante y se agregó acetona fría en proporción 1:3 seguido de centrifugación (8 min a 6 500 rpm). Se retiró el sobrenadante por decantación y se almacenó la pastilla a -20 °C hasta su análisis.

Preparación del aceite suplementado

Con base en resultados preliminares (datos no publicados), la suplementación del aceite comestible con chile piquín se elaboró a partir de la mezcla de 100 g de chile pulverizado en 0.5 L de aceite comestible de cártamo (Oleico®, México; composición: grasa monoinsaturada [Omega 9] 11 g, grasa polinsaturada 2 g, grasa saturada 1 g) (Figura 2). La mezcla se calentó a 80 °C por 30 min con agitación continua, enseguida se filtró con papel Whatman de 150 mm. Una vez obtenido el aceite suplementado, se procedió a separar la preparación en alícuotas para identificar un cambio en el contenido de polifenoles y capacidad antioxi-



■ Figura 2. Muestra pulverizada de chile piquín (A), aceite comestible comercial sin suplementar (B) y aceite comestible comercial suplementado con chile piquín (C).

Figure 2. Pulverized sample of piquín chili (A), commercial unsupplemented edible oil (B) and commercial edible oil supplemented with piquín chili (C).

dante con base en los días posteriores a la preparación (DPP): 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d. En la evaluación se incluyeron alícuotas del aceite comestible bajo el mismo proceso, pero sin la incorporación de chile piquín como referente en cada lapso evaluado. Las alícuotas fueron mantenidas en condiciones controladas de oscuridad a 32 ± 2 °C. Una vez que se cumplió el periodo DPP establecido, se almacenaron a -20 °C hasta su extracción.

Preparación del extracto del aceite suplementado

La extracción en la fase oleosa se realizó siguiendo el método descrito por Seneviratne y col. (2009). Se tomaron 5 g de aceite y se agregó 1 mL de metanol al 80 %. Para la homogenización de la mezcla se usó el vórtex por 2 min; después de ello, la mezcla se centrifugó por 10 min a 10 000 rpm. La fase alcohólica (sobrenadante) se separó, acorde a Seneviratne y col. (2009).

Determinación de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Se utilizó el protocolo de Singleton y col. (1999) con algunas modificaciones. Se tomaron 12.5 μ L de cada extracto y se agregaron 237.5 μ L de agua. Después se adicionaron 125 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N). La mezcla se dejó incubar por 5 min. Transcurrido el tiempo, se agregaron 625 μ L de carbonato de sodio al 20 % y la reacción se dejó a 25 ± 2 °C por 2 h en oscuridad. Se registró la absorbancia de cada muestra en un espectrofotómetro (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China) a 750 nm. Se usó agua destilada como blanco. Para la cuantificación de compuestos fenólicos se elaboró una regresión lineal obtenida de la curva de calibración ($y = 0.37x - 0.0095$, $R^2 = 0.9961$) y las concentraciones de ácido gálico (estándar), seguido del valor de absorbancia de las muestras en la ecuación. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico/g de peso seco (PS).

Actividad antioxidante contra el radical DPPH

Esta determinación se llevó a cabo siguiendo el protocolo de Brand y col. (1995), donde 975 μ L de la solución metanólica del radical DPPH

(600 μ M) se mezclaron con 25 μ L de cada extracto. La reacción se dejó en oscuridad a 25 ± 2 °C durante 30 min y posteriormente se midió la absorbancia a 515 nm (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China). Para la cuantificación se empleó una curva estándar de Trolox ($y = -0.0005x + 0.6403$, $R^2 = 0.985$) en concentraciones de 0 μ M a 1 200 μ M. Los resultados se reportaron en mM de equivalentes Trolox (ET)/g.

Actividad antioxidante contra el radical ABTS+

Esta se determinó de acuerdo con Re y col. (1999), donde se empleó una solución madre a partir de la mezcla de ABTS+ (ácido 2,2-azino-bis (3 etil benzotiazoline)-6-ácido sulfónico) 7 mM y persulfato potásico 2.45 mM, incubada por 16 h a 25 ± 2 °C en oscuridad. Posteriormente la solución se ajustó a 0.7 de absorbancia a 732 nm (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China). Una alícuota de 10 μ L de cada extracto se mezcló con 1 mL de solución de trabajo ABTS+ y se registró la absorbancia al inicio y final de la reacción (después de 6 min). La solución Trolox se utilizó para generar la curva de calibración ($y = -0.0003x + 0.715$, $R^2 = 0.9956$) para la estimación de la capacidad antioxidante. La captura de radicales libres se expresó en mM de equivalentes Trolox (ET)/g de PS. Todos los análisis antioxidantes se hicieron por triplicado.

Análisis estadístico

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, para obtener datos de contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de las extracciones hídricas e hidroalcohólicas del chile piquín, los cuales se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de una comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$). Para los parámetros antioxidantes en el aceite suplementado y sin suplementar evaluados a DPP se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2×5 . De manera consecuente se realizó una comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$). Además, se obtuvieron el coeficiente de correla-

ción entre los DPP y los parámetros antioxidantes, tanto en el aceite suplementado como sin suplementar. Todos los análisis estadísticos fueron elaborados con el Sistema de Análisis Estadísticos (SAS, por sus siglas en inglés: Statistical Analysis System) (SAS, 2011) versión 9.3.

RESULTADOS

Capacidad bioactiva de *C. annuum* var. *glabriusculum*

La muestra de chile piquín utilizada en la suplementación presentó importantes valores en los parámetros antioxidantes evaluados. El ANOVA mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) acorde al solvente utilizado en la extracción (Tabla 1). Para el contenido de fenoles totales y capacidad contra el radical DPPH· las

diferencias fueron significativas, en tanto que para la prueba contra ABTS+ estas disimilitudes fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Acorde con el ANOVA, se observaron diferencias a través de la comparación de medias. El extracto acuoso presentó los mayores valores en dos de los tres parámetros analizados (Tabla 2); para el contenido de fenoles totales se observó una relación de 1:0.7, siendo superior la cuantificación en el extracto acuoso con respecto al hidroalcohólico. De manera similar, el chile piquín presentó el mayor valor contra el radical ABTS+ en el extracto acuoso, con 210.9 mM, lo cual fue aproximadamente el 50 % con respecto al obtenido en el extracto hidroalcohólico. No obstante, las diferencias signifi-

■ **Tabla 1. Análisis de varianza de los parámetros antioxidantes evaluados en los extractos acuoso e hidroalcohólico de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).**

Table 1. Analysis of variance of the antioxidant parameters evaluated in the aqueous and hydroalcoholic extracts of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

Fuente de variación	GL	Compuestos fenólicos totales (mg EAG/g PS)	Capacidad contra DPPH· (mM ET/g PS)	Capacidad contra ABTS+ (mM ET/g PS)
Extracción	1	2 633.415*	4.335*	16 779.882**
Error experimental	4	264.08	0.403	43.37

GL = grados de libertad; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$); EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ **Tabla 2. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en extracto acuoso e hidroalcohólico.**

Table 2. Quantification of total polyphenols and antioxidant capacity of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) in aqueous and hydroalcoholic extract.

Parámetros antioxidantes	Extracto acuoso	Extracto hidroalcohólico	DHS
Compuestos fenólicos totales (mg EAG/g PS)	179.788 ^a ± 0.126	137.874 ^b ± 0.192	36.839
Actividad antioxidante contra radical DPPH· (mM ET/g PS)	25.132 ^b ± 0.744	26.812 ^a ± 0.470	1.440
Actividad antioxidante contra radical ABTS+ (mM ET/g PS)	210.911 ^a ± 6.543	105.133 ^b ± 6.566	14.93

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). DHS = diferencia honesta significativa. EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Tabla 3. Significancia de los cuadrados medios del ANOVA factorial para los parámetros antioxidantes.

Table 3. Significance of square means of the factorial ANOVA for the antioxidant parameters.

Fuentes de variación	GL	CFT	DPPH·	ABTS+
Suplementación	1	29 697.61**	1 603.96**	305 666.51**
Días posteriores de preparación (DPP)	4	2 013.43**	0.52**	316.45**
Suplementación x DPP	4	1 693.01**	1.14**	247.02**
Error experimental	20	143.54	0.0056	44.78

GL = grados de libertad; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$); CFT = compuestos fenólicos totales, mg EAG/g PS; DPPH· = capacidad contra DPPH·, mM ET/g PS; ABTS+ = capacidad contra DPPH·, mM ET/g PS.

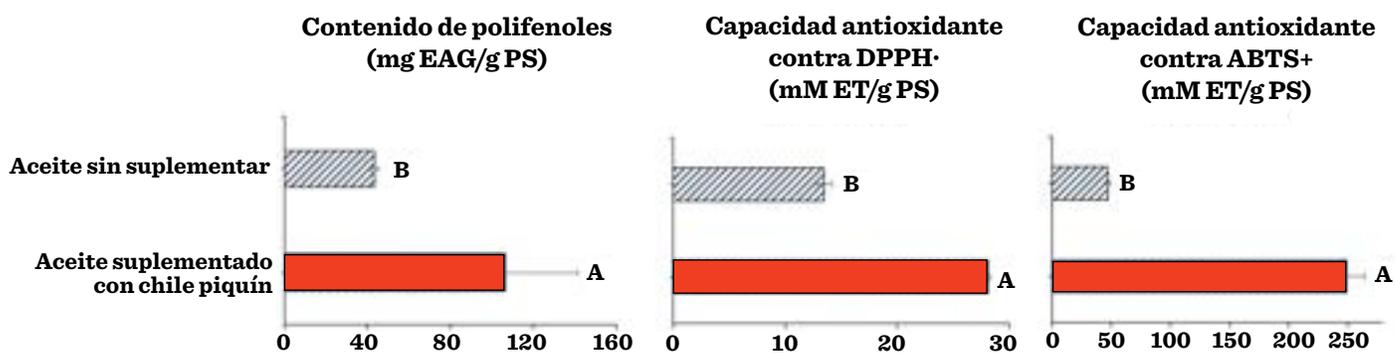
cativas ($P \leq 0.05$) entre ambos extractos, para la prueba contra el radical ABTS+, indicaron que el extracto hidroalcohólico superó al acuoso con 1.68 mM ET/g PS.

Capacidad bioactiva del aceite suplementado con chile piquín

Respecto a la suplementación del aceite comestible de cártamo, el ANOVA analizado mediante un arreglo factorial indicó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la suplementación, DPP y la combinación de suplementación y DPP a

través de los parámetros antioxidantes valorados (Tabla 3).

De manera general, la incorporación de chile piquín al aceite comestible incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad contra los radicales DPPH· y capacidad antirradical para ABTS+ en 58 %, 50 % y 81 %, respectivamente, en comparación con el aceite de cártamo sin el añadido de chile piquín (Figura 3); en promedio se adicionó 66 % del valor antioxidante al agregar chile piquín. Las



Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Figura 3. Comparación de medias para los parámetros antioxidantes analizados en aceite suplementado con chile piquín y aceite con base en sus promedios generales.

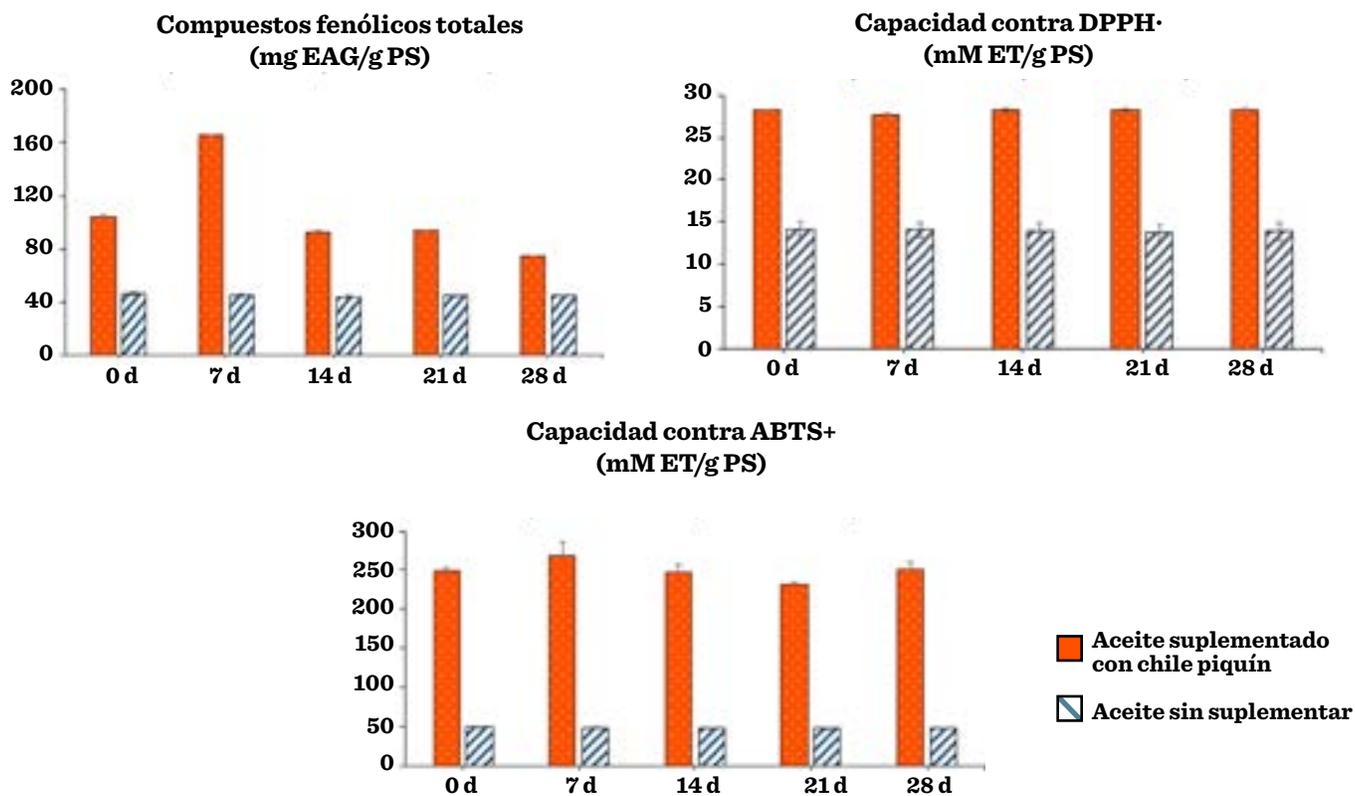
Figure 3. Comparison of means for the antioxidant parameters analyzed in oil supplemented with piquín chili and oil based on their general averages.

diferencias observadas fueron significativas ($P \leq 0.05$) y se reconocieron como ganancia de antioxidantes.

Variación de los parámetros antioxidantes días posteriores de la preparación (DPP)

Acorde con el ANOVA factorial, la comparación de medias ($P \leq 0.05$) mostró diferencias estadísticas significativas en la combinación de suplementación y DPP del aceite (Figura 4); los valores antioxidantes más altos correspondieron al aceite suplementado con chile piquín, sin embargo, se observó en este, variación importante en los datos de los parámetros evaluados a través de los DPP. A 7 DPP se cuantificó un incremento de 61.12 mg EAG/g PS en el contenido de compuestos fenólicos totales,

es decir, ~ 37 % más con respecto al valor inicial. Similar al comportamiento de la actividad antioxidante contra el radical ABTS⁺, no obstante, para este parámetro el incremento fue de ~ 7 %, equivalente a 20 mM ET/g PS de diferencia entre el valor inicial y 7 DPP. En tanto que a los 28 DPP, los polifenoles del aceite suplementado redujeron su valor 44.7 % con respecto al valor máximo obtenido (165.81 mg EAG/g PS), es decir, que se degradaron aprox. 92 mg EAG/g PS al final de la evaluación (28 DPP). La misma tendencia se observó en la actividad antioxidante contra el radical ABTS⁺, aunque en menor magnitud, reduciendo de 268.69 mM ET/g PS a 250.91 mM ET/g PS, lo que a través de la comparación de medias se equiparó al valor inicial y a los 14 DPP (Figura 4).



Valores representados por el promedio de tres réplicas \pm desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d = días posteriores a la preparación; EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Figura 4. Comparación de medias para los parámetros antioxidantes analizados en aceite suplementado con chile piquín y aceite sin suplementar asociado a días después de la preparación.
Figure 4. Comparison of means for the antioxidant parameters analyzed in oil supplemented with piquín chili and unsupplemented oil associated with days after preparation.

De manera contraria a la cuantificación de fenoles totales y habilidad antioxidante contra ABTS+, la capacidad contra DPPH· no presentó un incremento a los 7 DPP, y sus valores fueron más constantes (de 28.12 mM ET/g PS a 28.28 mM ET/g PS), a excepción de la cuantificación obtenida a los 7 DPP, empero, la diferencia entre el valor mínimo obtenido (27.77 mM ET/g PS), hasta 28.28 mM ET/g PS a los 28 DPP correspondió a 2.1 % de incremento antioxidante.

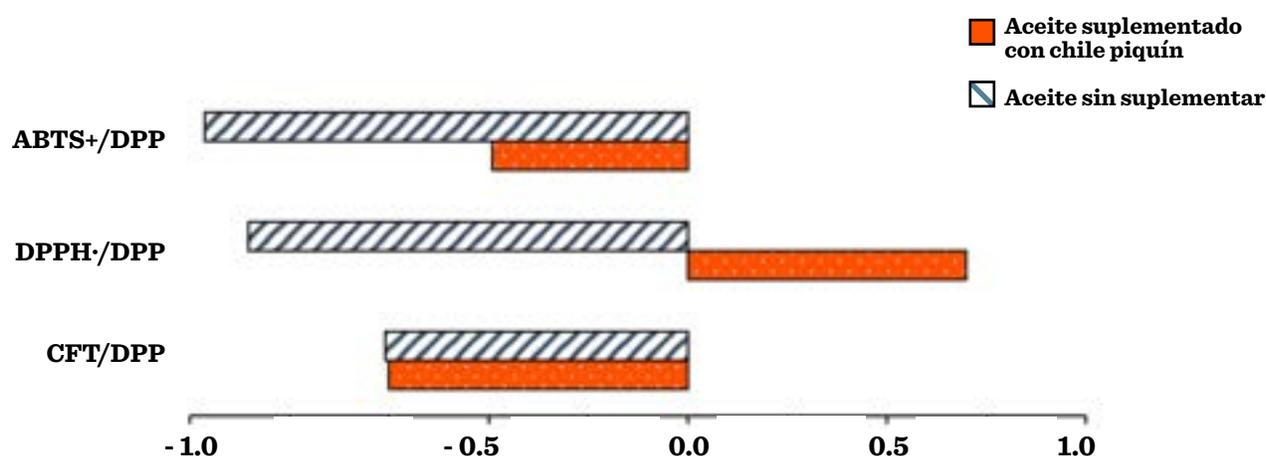
Los coeficientes de correlación indicaron relaciones inversas entre el contenido de fenoles totales y ABTS+ frente a DPPH·, los cuales fueron - 1.0, 0.72 y - 0.74 para CFT/DPPH·, CFT/ABTS+ y DPPH·/ABTS+, respectivamente. En el mismo contexto, la variación en contenido de fenoles totales y actividad contra el radical ABTS+ del aceite suplementado (Figura 4) mostró que estos dos parámetros fueron mayormente afectados por el factor tiempo, con respecto al aceite sin suplementar. En el mismo sentido, el coeficiente de correlación entre los días posteriores a la preparación y el contenido de polifenoles (Figura 5) fue de - 0.60 y para capacidad contra ABTS+ fue de - 0.3. Para los polifenoles totales esta correlación fue más intensa que la

habilidad antioxidante contra ABTS+. Mientras que el coeficiente de correlación entre tiempo y capacidad contra DPPH· fue positiva y alta (0.56). De acuerdo con lo anterior, a más tiempo posterior a la preparación mayor es el incremento antirradical. Para el aceite sin condimentar, los coeficientes de correlación entre los parámetros y los días después de la preparación fueron negativos y altos (- 0.61, - 0.88 y - 0.97).

DISCUSIÓN

La suplementación con *C. annuum* var. *glabriusculum* incrementó el valor antioxidante del aceite de cártamo en un 66 %, siendo el valor antioxidante un indicativo de las propiedades fitoquímicas de la población utilizada (Vazquez-Flores y col., 2020); la muestra de chile piquín enriqueció al aceite comestible con sus propiedades en la captación de radicales libres. Las evidencias presentadas en este estudio permiten sugerir que la suplementación del aceite de cártamo con chile piquín es una alternativa de fuente de antioxidantes naturales.

El aprovechamiento de un recurso silvestre comestible con importancia regional, como es el



■ Figura 5. Coeficiente de correlación entre CFT, capacidad contra radicales DPPH· y ABTS+, respectivamente, y días después de preparación (DPP) en aceite sin suplementar y aceite suplementado con chile piquín.

Figure 5. Correlation coefficient between CFT, capacity against DPPH· and ABTS+ radicals, respectively, and days after preparation (DPP) in unsupplemented oil and oil supplemented with piquín chili.

chile piquín, es capaz de impulsar la valorización de sus antioxidantes y sus derivados en la salud, además de fortalecer el conocimiento de la alimentación tradicional fuertemente activa en el área rural y cuya fuente proviene de la biodiversidad local (Tanús y col., 2019). Al respecto, Shelef y col. (2017) han propuesto invertir y realizar mayor exploración e investigación en plantas y cultivos locales, por su capacidad de diversificar la producción y mejorar la adaptación local a dinámicas antropocéntricas distintas, de tal manera que, conocer el potencial antioxidante del chile piquín y sus productos derivados puede promover la diversificación alimentaria y la resiliencia de la agrobiodiversidad, bajo esquemas de uso y aprovechamiento sostenible, principalmente por tratarse de una especie silvestre recolectada en la naturaleza. Blanco-Salas y col. (2019) han señalado que las plantas silvestres potencialmente utilizadas en la alimentación humana requieren de la valorización de usos alimenticios, a fin de preservar la agrobiodiversidad y generar sistemas productivos locales sostenibles.

En torno a la muestra de chile silvestre utilizada para la suplementación del aceite de cártamo y en particular a su relación con el valor antioxidante, cuya validación de su habilidad en la captura de radicales libres se evidenció a través de los datos obtenidos en los solventes agua y etanol al 70 %, permite indicar que el chile piquín nativo de Tamaulipas tiene potencial para generar cadenas de valor en torno a su aprovechamiento como antioxidante. Por otra parte, acorde con Moreno-Ramírez y col. (2018), la diferencia observada del valor antioxidante entre los solventes puede ser atribuida a la polaridad de sus metabolitos. La función biológica de los metabolitos secundarios de *Capsicum*, principalmente de CFT y capsaicinoides, ha otorgado a sus especies una interesante actividad antioxidante, particularmente en el fruto, lo cual beneficia a la salud humana (Olatunji y Afolayan, 2019). Por tanto, el contenido de CFT, determinado en extractos y aceite suplementado, indicó que el chile piquín es apto para conferir atributos biológicos ante el estrés oxidativo. Bajo este con-

texto, en el trabajo realizado por Oboh y Rocha (2007) se identificó un efecto protector contra la peroxidación lipídica en el cerebro y en el hígado, relacionada con el contenido de polifenoles de *C. annuum* var. *Glabriusculum*, de manera que los valores antioxidantes y contenidos de fenoles totales obtenidos, tanto en los extractos como en el aceite suplementado, podrían presentar ese beneficio promisorio. El valor bioactivo del aceite suplementado con chile piquín puede expandir las formas de uso e incidir en la salud.

Los resultados sugieren que los compuestos fenólicos obtenidos del chile piquín contribuyeron mayormente al valor antioxidante del aceite suplementado, acorde con Caporaso y col. (2013), quienes manifestaron que la incorporación de chile al aceite comestible reduce el estrés oxidativo, por la presencia abundante de estos metabolitos en el género, lo que destaca su papel en la alimentación frente al daño de los radicales libres y su beneficio asociado con un menor riesgo de enfermedades crónicas (Grosso, 2018). Si bien, la incorporación de *Capsicum* en la suplementación de aceites de oliva presenta valores mucho mayores, con respecto al obtenido, la adición de chile piquín permite utilizar y enriquecer aceites de origen vegetal que ya tienen valor antioxidante, pero además, son asequibles, como es el caso del aceite de cártamo. Por otra parte, el valor de los contenidos de CFT y capacidad antioxidante cuantificados en la muestra de chile piquín confirió valor antioxidante, con la posibilidad de que metabolitos liposolubles o lipofílicos, presentes en el chile piquín, pudieron conferir esta habilidad a través del aceite de cártamo, acorde a lo señalado por Frankel y col. (2013), donde compuestos fenólicos diferentes tienen la habilidad de prevenir la oxidación de un sustrato lipídico, lo que correspondió con la alta capacidad antioxidante del producto, además del efecto sinérgico con otros compuestos, como los capsaicinoides y carotenoides, tal como lo indican Zimmer y col. (2012), quienes señalaron que la propiedad antioxidante de *Capsicum* no es exclusiva del complejo fenoles, sino a la acción de va-

rios metabolitos a través de las distintas etapas fenológicas.

Los valores de capacidad antioxidante del aceite suplementado fueron similares a los obtenidos por Sousa y col. (2015), sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos fue menor al reportado por los mismos autores. Estas diferencias pueden ser derivadas del origen vegetal del aceite, la técnica de preparación, variedad de chile utilizado y/o al protocolo de cuantificación. La medición de antioxidantes presentes en la fase oleosa indicó variación días después de la preparación (DPP), siendo mayor para CFT y ABTS+, contrario a la actividad antioxidante en la capacidad contra DPPH·. Existe la posibilidad de que el aceite de cártamo permita continuar extrayendo metabolitos antioxidantes lipofílicos, lo que en este estudio se asoció a los incrementos observados tanto de CFT y ABTS+ a siete DPP. Bajo este esquema, el aceite utilizado es un solvente de fácil adquisición y considerado de alternativa “verde” (Chemat y col., 2019), principalmente por sus propiedades de menor impacto al ambiente, lo que posibilita, además, reproducir la metodología desarrollada. Por otra parte, Caporaso y col. (2013) han señalado que el tiempo de exposición al calor y las concentraciones afectan severamente las características fitoquímicas del aceite suplementado con chile. Por lo tanto, la variación observada en el presente estudio puede corresponder al efecto de la temperatura en la ruptura de estructuras de los compuestos fenólicos y a la polimerización del aceite, sin embargo, se requieren de estudios futuros que soporten esta idea.

En el aceite suplementado el valor de correlación entre tiempo posterior a la preparación (desde 0 d a 28 d) para compuestos fenólicos y capacidad antirradical de ABTS+ fue negativo, contrario a DPPH·. Los metabolitos del aceite de cártamo, junto con los CFT de chile piquín podrían haber contribuido en sinergia a la capacidad antirradical contra ABTS+, pero no para DPPH·, lo cual se asocia a la naturaleza de cierto tipo de CFT y otros metabolitos exis-

tentes, tanto en el chile piquín, como el aceite de cártamo utilizado.

Localmente, la preparación artesanal de aceite con chile piquín forma parte de los sistemas alimentarios regionales (Herrera-Aguilar y col., 2017), de manera que los resultados obtenidos permiten dar un marco general de la suplementación del aceite con un recurso silvestre comestible de importancia regional, además de proponer más estudios relacionados con la estabilidad oxidativa y parámetros cinéticos, principalmente para dar respuesta a la disminución del 50 % en CFT sin efecto sobre DPPH· y ABTS+, lo cual se relacionó a la diversidad en complejidad y acción de compuestos fenólicos presentes en el aceite suplementado, ya que, de manera general, disminuyeron en contenido pero no en su capacidad antirradical, por ello se sugiere robustecer la información obtenida, a través de la caracterización fitoquímica, así como de estudios más especializados y de proyectos de mayor financiamiento, además de evaluar la influencia del ambiente sobre el contenido y la expresión del patrón fitoquímico (y por tanto de la capacidad antioxidante) del chile piquín, considerando este último punto en su aprovechamiento sustentable. Sin duda, *C. annuum* var. *glabriusculum* requiere más estudios y trabajo integral, acerca de su papel bioactivo y nutrimental en dietas locales e innovación.

CONCLUSIONES

Los parámetros antioxidantes evaluados, a través de extractos acuosos e hidroalcohólicos, mostraron que el chile piquín presentó propiedades antioxidantes importantes. Los compuestos fenólicos totales y la habilidad contra el radical ABTS+ fueron más afectados por el tiempo posterior a la preparación, aunque en el segundo caso, en menor magnitud, además de ser menos constantes en relación con la capacidad contra DPPH·. La muestra de *C. annuum* var. *glabriusculum*, utilizada en la suplementación, incrementó los contenidos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante contra los radicales libres DPPH· y ABTS+

en el aceite comestible de cártamo utilizado. La suplementación del aceite de cártamo con *C. annuum* var. *glabriusculum* enriqueció 66 % su valor antioxidante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas por el financiamiento del proyecto: PFI2016-EB-07. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Posdoctorado del autor de correspondencia.

REFERENCIAS

- Bogusz, S., Libardi, S. H., Dias, F. F., Coutinho, J. P., Bouchi, V. C., Rodrigues, D., ..., and Godoy, H. U. (2018). Brazilian Capsicum peppers: capsaicinoids content and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98(1):217-224.
- Blanco-Salas, J., Gutiérrez-García, L., Labrador-Moreno, J., and Ruiz-Téllez, T. (2019). Wild plants potentially used in human food in the Protected Area "Sierra Grande de Hornachos" of Extremadura (Spain). *Sustainability*. 11(2): 456.
- Brand, W., Cuvelier, M., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittelwissenschaft*. 28(1): 25-30.
- Caporaso, N., Paduano, A., Nicoletti, G., and Sacchi, R. (2013). Capsaicinoids, antioxidant activity, and volatile compounds in olive oil flavored with dried chili pepper (*Capsicum annuum*). *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115(12):1434-1442.
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Ravi, H. K., Khadhraoui, B., Hilali, S., Perino S., and Fabiano-Tixier, A. S. (2019). Review of alternative solvents for green extraction of food and natural products: Panorama, Principles, Applications and Prospects. *Molecules*. 24(16): 3007.
- Coronado-García, M. A., Córdova-Yáñez, A., García-Porchas, M., Santiago-Hernández, V. G. y Vásquez-Navarro, R. Á. (2013). Estrategias de mercado para productos elaborados a base de chiltepín en la sierra de Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 32: 359-370.
- Frankel, E., Bakhouch, A., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., and Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Literature review on production process to obtain extra virgin olive oil enriched in bioactive compounds. Potential use of byproducts as alternative sources of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(22): 5179-5188.
- Fregapane, G., Guisantes-Batan, E., Ojeda-Amador, R. M., and Salvador, M. D. (2020). Development of functional edible oils enriched with pistachio and walnut phenolic extracts. *Food Chemistry*. 310:125917.
- Grosso, G. (2018). Effects of Polyphenol-Rich Foods on Human Health. *Nutrients*. 10: 1089.
- Herrera-Aguilar, A., Cervantez-Ortíz, F., Antuna-Grijalva, O., García-Rodríguez J. C., Rodríguez-Mercado, D., Rodríguez-Herrera, S. A., ... y Mendoza-Elos, M. (2017). Correlación de la germinación, aceite y proteína de la semilla de chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 5(2): 21-30.
- Imran, M., Butt, M. S., and Suleria, H. A. R. (2018). Capsicum annum bioactive compounds: health promotion perspectives. *Bioactive Molecules in Food*. Cham: Springer. 1-22.
- Kantar, M. B., Anderson, J. E., Lucht, S. A., Mercer, K., Bernau, V., Case, K. A., ..., and Baumler, D. J. (2016). Vitamin variation in *Capsicum* spp. provides opportunities to improve nutritional value of human diets. *PLoS One*. 11(8): e0161464.
- Meckelmann, S. W., Riegel, D. W., van-Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., and Petz, M. (2015). Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native Peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.) grown in three different locations. *European Food Research and Technology*. 240(2): 273-283.
- Moreno-Ramírez, Y. d. R., Hernández-Bautista, A., López, P. A., Vanoye-Eligio, V., Torres-Rodríguez, M. L., and Torres-Castillo, J. A. (2019). Variability in the phytochemical contents and free radical-scavenging capacity of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (wild piquin chili). *Chemistry & Biodiversity*. 16(10): e1900381.
- Moreno-Ramírez, Y. d. R., Martínez-Ávila, G. C., González-Hernández, V. A., Castro-López, C., and Torres-Castillo, J. A. (2018). Free radical-scavenging capacities, phenolics and capsaicinoids in wild piquin chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Molecules*. 23(10):2655.
- Oboh, G. and Rocha, J. B. T. (2007). Polyphenols in red pepper [*Capsicum annuum* var. *aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. *European Food Research and Technology*. 225(2): 239-247.
- Olatunji, T. L. and Afolayan, A. J. (2019). Comparative quantitative study on phytochemical contents and anti-

- oxidant activities of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. *The Scientific World Journal*. 1-13.
- Olatunji, T. L. and Afolayan, A. J. (2020). Comparison of nutritional, antioxidant vitamins and capsaicin contents in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *International Journal of Vegetable Science*. 26(2):190-207.
- Ovando-Martínez, M., Gámez-Meza, N., Molina-Domínguez, C. C., Hayano-Kanashiro, C., and Medina-Juárez, L. A. (2018). Simulated gastrointestinal digestion, bioaccessibility and antioxidant capacity of polyphenols from red chiltepin (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) grown in Northwest Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*. 73(2): 116-121.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26(9-10):1231-1237.
- Rochín-Wong, C. S., Gámez-Meza, N., Montoya-Balasteros, L. C. y Medina-Juárez, L. A. (2013). Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12(2):227-239.
- SAS, Statistical Analysis System (2011). Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures (Versión 9.3) [Software de cómputo]. Cary, North Carolina, Estados Unidos de América: SAS Institute Inc.
- Seneviratne, K. N., Hapuarachchi, C. D., and Ekanayake, S. (2009). Comparison of the phenolic-dependent antioxidant properties of coconut oil extracted under cold and hot conditions. *Food Chemistry*. 114(4):1444-1449.
- Shelef, O., Weisberg P. J., and Provenza, F. F. (2017). The value of native plants and local production in an era of global agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 8:2069.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.
- Sosa-Moguel, O., Pino, J. A., Ayora-Talavera, G., Sauri-Duch, E., and Cuevas-Glory, L. (2017). Biological activities of volatile extracts from two varieties of Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *International Journal of Food Properties*. 20(3):S3042–S3051
- Sousa, A., Casal, S., Malheiro, R., Lamas, H., Bento, A., and Pereira, J. A. (2015). Aromatized olive oils: Influence of flavouring in quality, composition, stability, antioxidants, and antiradical potential. *LWT-Food Science and Technology*. 60(1): 22-28.
- Sricharoen, P., Lamaiphan, N., Patthawaro, P., Lim-choowong, N., Techawongstien, S., and Chanthai, S. (2017). Phytochemicals in *Capsicum* oleoresin from different varieties of hot chilli peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 38:629-639.
- Tanús, A. S., Maya, E. M. A., Serrano, C. R., and Morales, H. (2019). Food species of collection and culinary culture: biocultural heritage of the popoloca community Todos Santos Almolonga, Puebla, Mexico. *Nova Scientia*. 11(23):296-342.
- Torres-Castillo, J. A., Sinagawa-García, S. R., Martínez-Ávila, G. C. G., López-Flores, A. B., Sánchez-González, E. I., Aguirre-Arzola, V. E., ..., and Gutiérrez-Díez, A. (2013). Moringa oleifera: phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*. 82:193-202.
- Vargas, T. V., Hernández, R. M. E., Gutiérrez, L. J., Plácido, D. C. J. y Jiménez, C. A. (2007). Clasificación climática del estado de Tamaulipas, México. *CienciaUAT*. 2(2): 15-19.
- Vazquez-Flores, A. A., Góngora-Pérez, O., Olivas-Orduña, I., Muñoz-Bernal, O. A., Osuna-Avila, P., Rodrigo-García, J., ..., and Alvarez-Parilla, E. (2020). Pytochemical profile and antioxidant activity of chiltepin chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), Sonora, Mexico. *Journal of Food Bioactives*. 11: 57-65.
- Zimmer, A. R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., de-Oliveira, J. R., and Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: from traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*. 139:228-233.



Imagen de: Cecilia C. Zapata Campos

La cabra: selección y hábitos de consumo de plantas nativas en agostadero árido

The goat: selection and intake habits of native plants in arid range

Cecilia Carmela Zapata-Campos^{1*}, Miguel Ángel Mellado-Bosque²

RESUMEN

Las cabras habitan regiones áridas como resultado de su adaptación a condiciones extremas. La selección de la dieta es una de las estrategias conductuales que les han permitido evitar deficiencias nutricionales o intoxicaciones aun en condiciones de baja disponibilidad de alimento. Así mismo, el ramoneo, como conducta ingestiva de la especie, les permite seleccionar y obtener plantas con adecuados valores de proteína cruda que favorezcan su desarrollo y supervivencia. También, las cabras se adaptan a las características químicas de las plantas, las cuales desarrollan compuestos bioactivos para evitar ser consumidas. Estos metabolitos secundarios pueden tener efectos antinutricionales y tóxicos así como medicinales o curativos, dependiendo del consumo que tenga el animal. El objetivo de este trabajo fue revisar la selección y hábitos de las cabras en el consumo de plantas nativas, para determinar cómo favorecen la supervivencia y productividad de la especie, bajo las condiciones de adversidad ambiental que caracterizan a las regiones áridas. Dicho conocimiento permitirá establecer estrategias para el manejo adecuado del agostadero y conocer el efecto que los compuestos del metabolismo secundario de las plantas puedan tener en los procesos reproductivos, nutricionales, sanitarios, así como en los productos derivados de la leche o carne de estos animales.

PALABRAS CLAVE: conducta alimenticia, dieta, componentes nutricionales, consumo, metabolitos secundarios.

ABSTRACT

Goats dwell arid regions as a result of their adaptation to extreme conditions. Diet selection is one of the behavioral strategies that has allowed them to avoid nutritional deficiencies or poisonings, even under conditions of low food availability. Likewise, browsing as an ingestive behavior of the species allows them to select and obtain plants with adequate crude protein values, which favor their development and survival. Also, goats adapt to the chemical characteristics of plants, which develop bioactive compounds to avoid being consumed. These secondary metabolites can have antinutritional and toxic effects, as well as medicinal or curative effects, depending on the consumption that the animal has. The objective of this work was to review the selection and habits of goats in the consumption of native plants, to determine how they favor the survival and productivity of the species under the conditions of environmental adversity that characterize arid regions. This knowledge will allow to establish strategies for the proper management of the rangeland and to know the effect that the compounds of the secondary metabolism of the plants may have on the reproductive, nutritional, and health processes, as well as on the products derived from the milk or meat of these animals.

KEYWORDS: nutritional behavior, diet, nutritional components, intake, secondary metabolites.

*Correspondencia: cezapata@uat.edu.mx/Fecha de recepción: 3 de diciembre de 2019/Fecha de aceptación: 16 de septiembre de 2020/Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, carretera Victoria-Mante km 5 s/n, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87274. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Nutrición Animal, Saltillo, Coahuila, México.

INTRODUCCIÓN

La cabra fue uno de los primeros animales en ser domesticados, comenzando este proceso con el bezoar (*Capra aegagrus*). Existe evidencia de su presencia en Ganj Dareh (Irán) desde el año 10 000 a. C. (Zeder y Hesse, 2000; Rosa-García y col., 2012). La carne y leche producidas por esta especie han sido aprovechadas por el hombre del Medio Oriente al menos desde el año 2 500 a. C., habiéndose encontrado pruebas de su domesticación en el Valle Indo, en China, y probablemente en Mesoamérica (Boyazoglu y col., 2005). De la población caprina existente en el mundo, el 88 % se encuentra localizada en zonas de Asia y África, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) (FAO, 2020). En las zonas áridas las cabras son la especie animal más abundante (Devendra, 2010). El 47 % de la superficie de la tierra corresponde a zonas áridas, donde habitan 2 000 millones de personas, la mayoría en condiciones de pobreza (FAO, 2007). En estos ambientes los sitios de toma de agua son escasos y distantes entre ellos, y la disponibilidad de alimento es escasa y de baja calidad nutricional, por lo que la cabra tiene que desplazarse largas distancias para satisfacer sus necesidades de alimento (Zobel y col., 2019).

Los caprinos, al ser una de las especies mejor adaptadas a la desertificación de las regiones áridas, son una de las principales fuentes de proteína para el hombre que habita en esos climas. En estas regiones los recursos vegetales son heterogéneos y restringidos en calidad y cantidad (Silanikove, 2000a). Por ello, la cabra ha desarrollado diversos mecanismos adaptativos, tales como capacidad de caminar distancias largas, requerimientos metabólicos bajos y reducida masa corporal. A nivel nutricional presentan adaptaciones, como la capacidad de seleccionar las plantas más nutritivas entre las diversas opciones disponibles, maximizando la ingesta de nutrientes y minimizando la ingesta de metabolitos secundarios, mediante el rechazo de plantas

menos nutritivas. De esta manera disminuyen el riesgo de intoxicación, y en algunos casos obtienen beneficios nutricionales y/o medicinales, con las plantas que seleccionan para su consumo (Egea y col., 2016). El conocimiento de estas adaptaciones nutricionales y de comportamiento, así como las características de las diferentes plantas elegidas en función de la condición climática o del estado fisiológico del animal permitirá desarrollar futuras investigaciones para el manejo sostenible de las zonas de pastoreo. Así también, conocer los efectos del tipo y la cantidad de material vegetal consumido, en la producción, bienestar y estado de salud de las cabras.

El objetivo de este trabajo fue revisar los hábitos de selección y consumo de plantas nativas por parte de las cabras, con la finalidad de ofrecer una visión actual de cómo estas adaptaciones favorecen la supervivencia y productividad de la especie bajo las condiciones de adversidad ambiental, característica de los territorios áridos.

Adaptación y conducta alimenticia en caprinos

Se ha demostrado, en distintos ambientes y países, que las cabras criollas tienen un mejor rendimiento que otros rumiantes, debido a su capacidad de termorregulación y adaptación al consumo de plantas ricas en lignina, así como el hecho de que pueden limitarse en el consumo de agua y alimento (Silanikove, 2000b; Koluman-Darcan y Silanikove, 2018). La abundancia de cabras en las regiones áridas es resultado de una adecuada adaptación a estas condiciones extremas (Silanikove, 2000a). Particularmente, en la cabra, el proceso de adaptación está catalogado en seis aspectos: anatómico, morfológico, fisiológico, conducta alimenticia, metabolismo y rendimiento (Silanikove y Koluman-Darcan, 2015).

En el aspecto de adaptación anatómica, Silanikove (2000b) mencionó que la disminución del tamaño corporal en los animales se debe a tres condiciones: la selección natural, la selección social y la endogamia. En este caso, la

selección natural es el factor individual más importante, ya que en condiciones de aridez los individuos de talla pequeña son los mejor adaptados, en comparación con tallas mayores del rebaño. La presión de selección, relacionada con tasas de supervivencia y reproducción ligeramente mayores en animales de talla pequeña, ha promovido una modificación gradual en cuanto a la talla de la población, favoreciendo a los individuos pequeños (Silanikove y Koluman-Darcán, 2015). Otros autores argumentaron que la reducción en la dimensión corporal puede relacionarse con el tipo de alimento y la productividad de las plantas primarias (Calder, 1984; Hetem y col., 2011).

Con respecto a la adaptación anatómico-fisiológica, la cabra presenta glándulas salivales más grandes, mayor área de superficie de la mucosa absorbente y capacidad para aumentar sustancialmente el volumen del intestino delgado cuando se nutre con alimentos con alto contenido de fibra (Silanikove, 2000b). Al reducir su metabolismo y rendimiento, como medida adaptativa, la cabra minimiza sus requerimientos nutricionales y sus necesidades de agua en las zonas áridas. La capacidad de reducir el metabolismo le permite sobrevivir incluso después de periodos prolongados de disponibilidad limitada de alimentos (Goetsch, 2019).

En cuanto a la conducta alimenticia, esta actividad comienza antes del consumo de alimento y se caracteriza por presentar dos fases: inicial y apetitiva. La fase inicial es cuando los animales deciden buscar comida, lo cual podría ser por un deseo general para adquirir energía o un deseo específico por una comida en particular. Esta fase incluye un cambio en la conducta, pasando de una actitud de reposo, al acto de abastecerse obteniendo alimento, decisión basada en la recompensa esperada por alimentarse (Ginane y col., 2015). La segunda fase es la apetitiva, en donde el animal recibe información de uno o varios alimentos, y con base en su percepción sensorial (visión, olfato y gusto) tiene la oportunidad de elegir (Ginane y col., 2011). Así, tanto el estímulo preingestivo como el grado de gus-

to refuerzan su motivación por el consumo de cada alimento o, por el contrario, reducen la probabilidad de consumirlo (Provenza, 1995).

Cuando el animal está motivado para comer asume que la comida está disponible, por lo que comienza un estímulo de preingestión, lo que refuerza su deseo de comer, iniciando entonces los procesos de ingestión, masticación, deglución, digestión y absorción (Ginane y col., 2015). En función de la digestibilidad de los alimentos las cabras son capaces de discriminar entre ellos, cambiando su consumo y favoreciendo la especie o parte de la planta que sea más nutritiva, en un momento dado (Ackermans y col., 2019). Esta habilidad puede deberse a diversos mecanismos anatómicos y fisiológicos, tales como la capacidad de pararse en dos patas (para ramonear), hiposondocia para detectar abrasividad (anatomía bucal), presencia de proteínas salivares unidas a taninos (proteínas ricas en prolina), flora del tracto digestivo adaptada a plantas taniníferas y capacidad de reciclar urea en el rumen (Torres-Fajardo y col., 2019). Además, poseen una glándula parótida larga que produce suficiente saliva para ayudar como buffer a la rápida digestión de la dieta y así facilitar el pasaje del alimento al rumen (Robbins y col., 1995).

El amplio volumen ruminal de las cabras (9-18 L) es una adaptación importante al servir como una gran cámara de fermentación y depósito de agua. El agua almacenada en el rumen se utiliza durante la deshidratación, y el rumen sirve como un recipiente que acomoda el agua ingerida después de la rehidratación. Esta situación es provocada por recorrer grandes distancias para pastorear o ramonear en los ambientes con disponibilidad limitada de alimento o agua (Silanikove y Koluman-Darcán, 2015). Todas estas cualidades permiten a la cabra digerir de manera efectiva los alimentos (Silanikove, 2000a; Alonso-Díaz y col., 2012; Mellado, 2016; Ventura-Cordero y col., 2017; Schmitt y col., 2020).

Por otra parte, la selección de la dieta es una adaptación conductual que puede modificarse

por periodos cortos o largos. Dicha modificación puede verse influenciada por aspectos como la experiencia previa en el consumo de algún material específico, y a su vez, está relacionada con cambios neurales o fisiológicos a nivel celular, los cuales se denominan en conjunto “conducta adaptativa” (Ginane y col., 2015). Particularmente, la conducta adaptativa alimenticia se observa cuando el animal intenta cumplir con sus requerimientos metabólicos y mantener la homeostasis (Berridge, 1996). La conducta alimenticia es un importante aspecto de la producción animal y constituye el vínculo entre la comida y el consumo. Esta conducta alimenticia considera diferentes aspectos, incluyendo el encontrar y escoger la comida, el ganar y mantener el acceso a la misma, así como la cantidad de ingesta en cualquier momento y la rapidez de la digestión (Nielsen y col., 2016).

De acuerdo con Silanikove (2000a), la cabra se encuentra clasificada como consumidor intermedio; sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad y tipo de alimento en el agostadero, las cabras se pueden ubicar tanto en el grupo de consumidores de concentrados (si en el agostadero hay alta disponibilidad de arbustivas) como en el de consumidores de forrajes (si la disponibilidad de pastos es alta) (Osoro y col., 2013). Con las modificaciones en la disponibilidad de materiales se modifica el tipo de microorganismos ruminales, así como la conformación de las papilas de este órgano. Dicha característica también les permiten consumir rebrotes y pastos a la vez. Su ritmo de alimentación es intermedio en los dos grupos mencionados anteriormente (van Soest, 1994; Bojkovski y col., 2014). Esta capacidad faculta a la cabra a soportar mayor cantidad de leguminosas en su dieta, comparada con los ovinos y bovinos, ya que no tiene una tasa de fermentación tan elevada (Silanikove, 2000a).

Características del agostadero y su influencia en el consumo y selección de plantas en las cabras

El 25 % de la superficie de tierra en el mun-

do es utilizada para la producción ganadera en extensivo, de la cual una cuarta parte está principalmente poblada por arbustos (Estell y col., 2010). Los agostaderos son territorios donde predomina la vegetación autóctona de la zona agroecológica específica; parte de dicha vegetación posee potencial para su utilización en la alimentación animal, además de ser consumida por especies silvestres (Reid y col., 2014). Otra característica importante de los agostaderos es que la vegetación es muy heterogénea, con una distribución multiestratificada, y se encuentra sujeta a variaciones de calidad (proteína cruda, energía, fibra) y cantidad de forraje (disponibilidad), dependientes de la época del año y del uso de los recursos (Torres-Acosta y col., 2008).

La principal estrategia alimenticia utilizada por las cabras en las regiones áridas y semiáridas es el ramoneo de plantas y arbustos, principalmente relacionada con la obtención de proteína (Gutteridge y Shelton, 1994; Mkhize y col., 2014). Por lo tanto, la conducta de consumo y selección de forraje está influenciada por la cantidad, calidad, accesibilidad, dispersión de los recursos alimenticios y por las características individuales del animal (edad, sexo, estatus reproductivo y condición corporal) (Heuermann y col., 2011).

El contenido de PC (proteína cruda), humedad y extracto libre de nitrógeno de árboles y arbustos varía de acuerdo con la época del año en las zonas áridas y semiáridas, lo cual está asociado principalmente con la distribución de la precipitación pluvial (Chimphango y col., 2020; McIntosh y col., 2019). Así, en la región semiárida del noreste de México, los frutos y hojas de las familias *Mimosaceae*, *Ebanaceae*, *Olaceae*, *Borraginaceae*, *Rutaceae* y *Caesalpinaceae* presentan mayor porcentaje de preferencia de las cabras (78 %) y mayor contenido de celulosa (12 % a 22 %) y PC (18 % a 24 %) en verano y otoño. En el verano, las herbáceas tienen la segunda importancia en la selección (12 % a 18 % de preferencia), de estas, las que más consumen las cabras son *Clematis drummondii*, *Malva parviflora* y *Euphorbia maculate*. En ter-

cer lugar de preferencia (6 % a 10 %) se encuentran las gramíneas establecidas, como *Panicum hallii*, *Setaria macrostachya*, *Cenchrus ciliaris*, las cuales son más consumidas en primavera y otoño (Foroughbakhch y col., 2013).

Foroughbakhch y col. (2013), encontraron que las plantas con mayor contenido de PC durante todo el año fueron *Acacia berlandieri* (21.9 %), *Celtis pallida* (20.6 %), *Prosopis laevigata* (20.0 %) y *Acacia wrightii* (20.2 %). En tanto que *Bernardia myricaefolia*, *Lantana macropoda* y *Mimosa biuncifera* tuvieron menor contenido de PC de 11.6 %, 13.9 % y 14.3 %, respectivamente.

En la región árida del norte de México, Mellado y col. (2008) encontraron que la planta nativa *Sphaeralcea angustifolia* es un forraje palatable y nutritivo, con una composición química semejante a la alfalfa (*Medicago sativa*);

es decir, contiene 170 g de PC por kilogramo y 8.2 MJ/kg de energía metabolizable (EM). Por su parte, Olivares-Pérez y col. (2013) evaluaron tres especies de arbustos forrajeros (*Phytocellobium dulce*, *Gliricidia sepium* y *Haematoxylum brasiletto*) consumidas por las cabras, y reportaron que las dos primeras tienen niveles de PC de 149.6 g/kg y 103.9 g/kg, respectivamente, valores suficientes para promover una microflora ruminal óptima en cabras. Algunos árboles del género *Prosopis* spp, *Acacia* spp y *Leucaena* spp, también han sido considerados fuentes alternativas de alimento para cabras, ya que sus hojas y frutos presentan niveles de PC considerables (10 % a 33 %) (Sawal y col., 2004; Ayala-Burgos y col., 2006; Quiroz-Cardoso y col., 2015; Habib y col., 2016; Carvalho y col., 2017; Santos y col., 2017). En la Tabla 1 se presenta información nutricional de otras plantas localizadas en el agostadero pastoreado por caprinos.

■ **Tabla 1. Características bromatológicas (MS %) de diversas plantas consumidas por las cabras.**
Table 1. Bromatological characteristics (DM %) of various plants consumed by goats.

Especie	EE	PC	FDN	FDA	Referencia
<i>Opuntia ficus</i> var. copena	-	6.9	45.9	28.7	(Cordova-Torres y col., 2015)
<i>Haloxylan schmittianum</i>	2.2	9.67	42.9	27.8	(Mayouf y Arbouche, 2015)
<i>Anabasi articulata</i>	3.2	17.3	46.1	25.8	
<i>Astragalus armatus</i>	2	12.6	49.1	32.8	
<i>Tricomaria usillo</i>	-	9	55	37	(Egea y col., 2016)
<i>Mimosa ephedroides</i>	-	10	52	39	
<i>Atriplex lampa</i>	-	11	27	17	
<i>Prosopis flexuosa</i>	-	12	58	47	
<i>Capparis atamisquea</i>	-	14	51	30	
<i>Lablab purpureus</i>	2.37	17.73	46.51	33.65	(Washaya y col., 2018)
<i>Vigna unguiculata</i>	2.03	19.10	37.58	30.4	
<i>Cereus jamacaru</i>	2.1	5.4	44.7	38.9	(Catunda y col., 2016)
<i>Nopalea cochenillifera</i>	1.8	7.9	35.0	39.4	
<i>Opuntia stricta</i>	2.0	4.9	39.4	12.2	
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	2.3	13.0	51.3	32.4	
<i>Acacia erioloba</i>	-	15.0	54.2	41.3	(Mnisi y Mlambo, 2016)
<i>Acacia nilotica</i>	-	12.7	42.2	37.9	
<i>Zizipus mucronata</i>	-	17.7	50.6	18.9	

MS = materia seca; EE = extracto etéreo; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida.

Selectividad de plantas según sexo y estado fisiológico de las cabras

En cuanto a la relación entre conducta selectiva y el sexo del animal, se ha reportado que las hembras son más selectivas y usan más su tiempo en el forrajeo, lo cual se debe a que su eficiencia en la digestión de los alimentos es menor que la de los machos (Manousidis y col., 2016). En el caso de los machos, presentan una conducta de mayor masticación que la hembra en todo el año, lo que facilita la extracción de nutrientes del alimento por maceración; sin embargo, esta se reduce en la época de apareamiento, mientras que las hembras solo la aumentan en la etapa fisiológica de lactancia (Ferretti y col., 2014), para lograr una utilización más eficiente de los alimentos, por parte de los microorganismos ruminales y obtener la mayor cantidad de energía posible de la dieta (Church y col., 2002), ya que tienen mayores requerimientos energéticos para la producción de leche (Moquin y col., 2010).

En las cabras lactantes se ha observado que su dieta está compuesta por niveles altos de hierbas y bajas cantidades de arbustos (Cardozo-Herrán y col., 2019). Los pastos son poco consumidos por ellas, probablemente porque tienen una pared celular más gruesa y fibrosa, lo cual podría causar un mayor gasto energético para el desdoblamiento y digestión, que las hojas frágiles del ramoneo y las hierbas (Hunt y col., 2008). Cabe mencionar que la conducta alimenticia puede ser transmitida de madre a cría en las etapas pre y postnatal (Smotherman y Robinson, 1987). El feto puede experimentar sabores en el útero (Mennella y col., 1995) que son transmitidos por la sangre de la madre al líquido amniótico (Hai y col., 2014). Se ha observado que el feto ingiere cantidades significativas de líquido amniótico durante las últimas etapas de la gestación, y el tener las vías aéreas abiertas provoca que se impregnen en el líquido amniótico. Los receptores olfativos fetales pueden ser estimulados por los olores difundidos desde los capilares sanguíneos, después de cruzar la barrera placentaria (Nolte

y col., 1992; Mennella y col., 1995). Es así que, la madre transmite la experiencia de la selección de plantas nutritivas y no tóxicas (Hai y col., 2014), y esta enseñanza no se le da a la cría a través de la lactancia, como sucede en otras especies (Nolte y col., 1992). Este mecanismo evita que la cría presente neofobia, que es la resistencia a comer y/o probar nuevos alimentos (Pliner y Hobden, 1992), principal factor que afecta el consumo de plantas en herbívoros sin experiencia (Provenza, 1995).

Por otro lado, Mellado y col. (2011) encontraron que las cabras gestantes seleccionaron plantas con alto contenido de PC, en comparación con cabras no gestantes. Otro estudio también reportó que durante la época de sequía, las cabras gestantes seleccionan forrajes con altos niveles de calcio (Ca) y son más selectivas de plantas con mayor valor nutricional, para lograr satisfacer sus requerimientos (Villalba y col., 2002).

De acuerdo a los estudios reportados, el estado reproductivo de las cabras no solo afecta la tasa de masticación de las mismas, para aprovechar mejor los alimentos y obtener mayor energía, sino también la selectividad en el consumo de plantas o arbustos.

Modificaciones adaptativas de las cabras para el consumo de metabolitos presentes en las arbustivas nativas

Las plantas utilizan estrategias para evitar su consumo por parte de los herbívoros; entre estos mecanismos se encuentran, endurecimiento de la pared exterior, presencia de espinas y síntesis de sustancias químicas (Alonso-Díaz y col., 2012; Sebata y Ndlovu, 2012; Cuchillo y col., 2013; Hernández-Orduño y col., 2015; Pech-Cervantes y col., 2016). En las plantas existe un metabolismo primario, esencial para el crecimiento y desarrollo, asociado a un metabolismo secundario, formado por un conjunto de vías metabólicas que generan compuestos químicos que son diversos, entre y dentro de las poblaciones vegetales. Estos compuestos químicos o metabolitos secundarios tienen en las plantas funciones tan diver-

sas, como la atracción de polinizadores y dispersores de semillas, protección de la radiación ultravioleta, defensa contra del estrés oxidativo, enfermedades, patógenos y depredadores herbívoros (Speed y col., 2015; Isah, 2019). Las cabras pueden verse afectadas por estos metabolitos, al igual que otros herbívoros (Villalba y col., 2016), sin embargo, se han adaptado total o parcialmente a su efecto antinutricional y tóxico, para poder aprovechar los nutrientes de las plantas (Mkhize y col., 2014). Los compuestos químicos surgidos de este metabolismo secundario, mayormente estudiados son terpenoides, alcaloides y compuestos fenólicos (Makkar, 2006; Cuchillo y col., 2013; Vadlamani y col., 2016).

Los terpenoides son derivados de repetidas fusiones de la cadena de carbono 5 de isopentano (Croteau y col., 2000); ejemplo de terpenos son los esteroides, carotenoides y ácido giberélico (Wink, 2015). Por su parte, los alcaloides son biosintetizados a partir de aminoácidos como la tirosina, y se caracterizan por una amplia diversidad estructural; no existe una clasificación uniforme de ellos, habiéndose clasificado recientemente con base en su esqueleto de carbono (Wink, 2015). Los fenoles pertenecen a un grupo más amplio de metabolitos secundarios. Un grupo importante de fenoles son los polifenoles, los cuales se clasifican en diferentes grupos en función al número de anillos de fenol y la unión de estos con otros anillos. Como ejemplo de compuestos fenólicos se puede mencionar a los flavonoides (Škerget y col., 2005), los cuales a su vez se subdividen en flavonol, flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas, antocianidinas y flavonoles (catequina y proantocianidinas) (Manach y col., 2004). Otro grupo importante de compuestos fenólicos son los taninos, específicamente los taninos condensados (TC) e hidrolizados (TH). Los primeros son referidos como proantocianidinas (Min y col., 2015), mientras que los TH contienen ésteres de ácido gálico o ácido elágico (Olivas-Aguirre y col., 2015).

La ingesta de metabolitos secundarios puede generar beneficios. Dentro del grupo de feno-

les, los TC son eficaces para el control de los parásitos en el abomaso e intestino delgado en ovinos y caprinos, así como para estimular la inmunidad innata, lo cual se debe a su capacidad de unirse a proteínas (Hoste y col., 2015; Worku y col., 2016). Adicionalmente, los taninos en caprinos han mostrado incrementar hasta un 43 % la producción de leche, así como mejorar su ganancia diaria de peso mediante el consumo de plantas (*Lotus corniculatus*) con TC a libre acceso (Waghorn, 2008). Con relación al aspecto sanitario, los rumiantes, incluidas las cabras, que consumen leguminosas (*Lotus corniculatus*, *Hedysarum coronarium*, *Lotus pedunculatus*) con TC reducen su producción de gas ruminal mediante la precipitación de la espuma de las proteínas de las plantas; de esta manera previenen la aparición de timpanismo (Ramírez-Restrepo y Barry, 2005). Los TC precipitan las proteínas de la ingesta, con lo cual incrementan su paso por el intestino delgado para ser absorbidos, protegen la fracción 1 de la proteína, aumentan la absorción de los aminoácidos esenciales y disminuyen la de los no esenciales (Durmic y Blache, 2012; Mueller-Harvey y col., 2019). Estos efectos benéficos de los TC se presentan cuando la dieta contiene entre 2 % y 4 % de la materia seca (MS); arriba de este porcentaje se manifiesta su efecto antinutricional (Durmic y Blache, 2012; van-Cleef y Dubeux, 2020). La unión a proteínas cuando hay un efecto antinutricional, principalmente se lleva a cabo en el rumen, con pH entre 5.5 a 7.2, haciendo indigestibles las proteínas para la microflora ruminal. Las proteínas por lo general son solubles en el abomaso e intestino delgado con pH de < 3.5 y > 8, respectivamente (Hervás y col., 2003; Andrabi y col., 2005; Min y col., 2015). Así también, se unen a enzimas como celulasa, ureasa, alfa-amilasa, proteasa y beta-glucosilasa, lo que les permite disminuir la actividad celulolítica, con lo que reducen la digestibilidad de la materia orgánica. De igual manera, se ligan a membranas y a la pared celular de hongos y bacterias, aminorando así la fermentación ruminal (Márquez-Lara y Suárez-Londoño, 2008).

En la Tabla 2 se muestran diversas plantas que consumen las cabras, su contenido en compuestos bioactivos y su efecto en estos animales. En la Tabla 3, se muestran plantas con compuestos bioactivos y su efecto biológico en general para rumiantes.

El consumo de estos metabolitos tiene entonces dos objetivos: por un lado, un efecto antinutricional y tóxico, por el otro, un efecto medicinal o curativo (Villalba y col., 2016). Así

que, cuando la intensidad de los efectos medicinales de los componentes secundarios de las plantas es más fuerte, que la de los efectos negativos en el estado de salud/productividad, la auto selección del herbívoro al metabolito es esperada. Esta auto selección deberá, en primera instancia devolver la salud a los animales enfermos (Estell y col., 2010).

La cabra ha desarrollado mecanismos conductuales y fisiológicos que le permiten consumir

■ **Tabla 2. Compuestos bioactivos identificados en plantas de regiones áridas consumidas por cabras y su efecto en estos animales.**

Table 2. Bioactive compounds identified in arid regions in plants consumed by goats and their effect on these animals.

Espece	Compuesto bioactivo	Acción	Referencia
<i>Acacia salicina</i> <i>Acacia nilotica</i> <i>Eucalyptus corymbia</i> <i>Casuarina cunninghamiana</i> <i>Eucalyptus drepanophylla</i> <i>Lysiloma latisiliquum</i> <i>Mimosa caesalpinmifolia</i> <i>Persea americana</i> <i>Agave sisalana</i> <i>Hedera helix</i>	Taninos hidrolizables, condensados, saponinas, alcaloides, flavonoides	Antihelmíntico	(Brito y col., 2018) (Brunet y col., 2008) (Domingues y col., 2010) (Egual y col., 2007) (Moreno y col., 2012) (Soldera-Silva y col., 2018)
<i>Woodfordia fruticosa</i> <i>Solanum nigrum</i> <i>Trigonella foenum-graecum</i>	Taninos hidrolizables, glucoalcaloides, flavonoides, saponinas	Actividad antioxidante	(Choubey y col., 2016)
<i>Moringa oleifera</i>	Taninos condensados	Consumo alimenticio, fermentación ruminal	(Kholif y col., 2018)
<i>Acacia farnesiana</i>	Polifenoles (gálico, catequina, epicatequina, quercetina, ácido ferúlico)	Efecto antioxidante, disminución del colesterol en leche de cabras	(Delgadillo-Puga y col., 2019)
<i>Sericea lespedeza</i> Corteza de pino	Taninos condensados	Efecto en la fermentación ruminal	(Min y col., 2015)
<i>Clerodendrum inerme</i> <i>Gymnema syhestre</i> <i>Sapindus laurifolia</i> <i>Yuca schidigena</i>	Taninos Saponinas	Reducción de emisión de metano	(Jafari y col., 2019)

■ **Tabla 3. Plantas con compuestos bioactivos y sus efectos reportados en rumiantes.**
Table 3. Plants with bioactive compounds and their reported effects in ruminants.

Especie	Compuesto bioactivo	Acción	Efecto
<i>Medicago sativa</i> L.	Flavonoides e isoflavonoides (quercetin, apigenina, daidzein, luteolin)	Fitoestrógenos Infertilidad temporal o permanente	Nutricional/ tóxico
<i>Origanum vulgare</i> L.	Ácido hidroxinámico (ácido cafeico)	Hepatoprotector	Curativo
<i>Trifolium pratense</i> L. <i>Amaranthus hybridus</i>	Flavonoides (miricetina, quercetina, kaempferol) Glicósido (rutina) Flavones (apigenina)	Antioxidante Antibacterial	Curativo
<i>Biserrula pelecinus</i> L. <i>Ruta graveolens</i> L. <i>Psoralea cinerrea</i> L.	Furanocumarinas (psoroleno)	Fotosensibilización por contacto	Tóxico
<i>Equisetum palustre</i> L. <i>Equisetum arvense</i> L.	Piperidinas	Pérdida de apetito Diarrea Desórdenes neurológicos	Tóxico
<i>Thymus vulgaris</i> L. <i>Salvia verticillata</i> L. <i>Imula salsoloides</i> L.	Terpenoides	Antioxidantes Antibacterial	Curativo
<i>Lolium perenne</i> L.	Carotenoides	Antioxidante	Curativo
<i>Oxytropis sericea</i> Nutt. <i>Astragalus lentigenosus</i> Dougl. <i>Sida carpinifolia</i> <i>Ipomea cornea</i>	Alcaloides	Locoísmo	Tóxico
<i>Achillea millefolium</i> L.	Ácido hidroxinámico (ácido rosmarinico)	Inhibidor de la acetilcolinesterasa Antioxidante	Curativo

Tabla modificada a partir de Poutaraud y col. (2017).

del agostadero arbustos (generalmente leguminosas) ricos en compuestos del metabolismo secundario. Schmitt y col. (2020) sugieren que en animales ramoneadores, como la cabra, la presencia de proteínas ligadas a taninos hace posible el consumo de plantas taniníferas, estas proteínas inactivan dichos compuestos. Las proteínas salivales vinculantes de taninos (PSVT) se consideran el primer mecanis-

mo que puede inactivar los metabolitos secundarios (taninos) (McArthur y col., 1991; Silanikove y col., 1996). Ntuthuko y col. (2018) comprobaron que el comportamiento de búsqueda de alimento de las cabras en libertad les permite regular las tasas de ingesta de TC en la sabana africana; observaron que las cabras prefieren pastar más que ramonear, como mecanismo de control de consumo de TC.

Distel y Provenza (1991) encontraron que la experiencia temprana en el consumo de compuestos secundarios ayuda posteriormente a definir la preferencia de plantas que los contengan sobre plantas libres de estos, incrementando el consumo de TC y taninos totales.

Torres-Fajardo y col. (2019) analizaron el papel de la infección con nemátodos gastrointestinales y la neutralización de TC, como dos factores que influyen en la conducta alimenticia en cabras criollas de hábitats de vegetación heterogénea, y concluyeron que estos dos factores no afectan la ingesta o selección de alimento. Al contrario, la selección y consumo de plantas nativas taniníferas actúan como mecanismo de afrontamiento, desarrollado por las cabras para contrarrestar los efectos negativos de parásitos como de metabolitos secundarios (Tablas 2 y 3).

Las características de afrontamiento que ha desarrollado la cabra, la convierten en modelo para el estudio de efectos tóxicos de distintas plantas. Welch y col. (2020) indicaron que cuando los animales son envenenados con toxinas vegetales extremadamente potentes, como la cicuta de agua (*Cicuta douglasii*), a menudo se encuentran muertos con pistas mínimas de la causa de su fallecimiento. Por ello, se han realizado investigaciones para ayudar en el diagnóstico de animales envenenados, mediante el análisis químico del contenido del rumen, además de otras muestras biológicas, como suero, saliva, cerumen, pelo y mucosidad nasal (Davis y col., 2014, Stonecipher y col., 2019, Lee y col., 2020). Las cabras pueden ser un buen modelo para otras especies de ganado rumiante, ya que se ha demostrado que los caprinos son más resistentes a algunas plantas venenosas (Welch y col., 2016). Por lo tanto, una dosis tóxica letal de cicuta de agua puede ser menor en especies como el bovino en comparación con lo que se informa para el caso de las cabras.

Producto de estas adaptaciones, es que las cabras pueden aprovechar el efecto nutricional de plantas, que para otros ruminantes pudieran

ser tóxicas, como *Medicago sativa*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis glandulosa* (Washburn y col., 2002; Gorniak y col., 2008; Poutaraud y col., 2017).

Efectos del consumo de arbustivas nativas en el aspecto nutricional, reproductivo y sanitario en las cabras

Los compuestos bioactivos presentes en las plantas heterogéneas del agostadero se pueden transmitir a través de su consumo, por lo que permiten a la cabra, como resultado de su adaptación anatómica y fisiológica, obtener beneficios nutricionales, que, a su vez, se pueden transmitir a los productos finales, como carne, leche y sus derivados. Al respecto, Giorgio y col. (2019) estudiaron la composición química nutricional de quesos elaborados con leche de cabras (Red Syrian) alimentadas con las leguminosas *Festuca arundinacea*, *Pisum sativum*, *Trifolium alexandrinum*, *Vicia sativa* y *Vicia faba minor*, y las gramíneas *Hordeum vulgare* y *Triticosecale*. Las cabras que consumieron *Festuca arundinacea* tuvieron la más alta producción láctea con 1 061.5 g/d, así como el mayor porcentaje de grasa (55 % en base seca). Los quesos elaborados con leche de cabras, que consumieron *Trifolium alexandrinum*, *Triticosecale* y *Hordeum vulgare*, presentaron un mejor perfil de ácidos grasos. Con respecto al indicador capacidad total antioxidante en el forraje (TAC-F), la leche proveniente del consumo de *Vicia faba minor* y *Vicia sativa* mostró valores altos, con 288.4 % y 218 % TAC-F, respectivamente. En esta investigación se determinó cuales quesos presentaban características más altas del índice general de salud de quesos (GHIC Index, por sus siglas en inglés: General Health Index of Cheese), que es un indicador de la presencia de componentes en el queso que promueve la salud pública. Los quesos con esta característica provenían de leche de cabras que consumieron *Trifolium alexandrinum* y *Triticosecale*.

Leparmarai y col. (2019) evaluaron el efecto de la suplementación alimenticia con extractos de semilla de uva a cabras Saanen. Se les proporcionaron 7.4 g/100 g MS del extracto

conteniendo 3.5 g de fenoles/100 g MS. Las cabras que consumieron este extracto presentaron mayor porcentaje de composición láctea, con respecto a grasa, proteína y lactosa. Se observó un aumento en el indicador de actividad antioxidante en plasma sanguíneo en la semana 11 del consumo del concentrado de fenoles (211 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$), a diferencia del grupo experimental con 198 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$.

Di-Trana y col. (2015) estudiaron el efecto nutricional y antioxidante de *Sulla coronarium* L, y reportaron que, a comparación de los animales que consumieron heno de cebada, los que consumieron hojas verdes de *Sulla coronarium* L, tuvieron mayor ingesta de MS (1.65 g/d vs. 1.82 g/d, respectivamente), probablemente por su alto contenido de PC y bajo de fibra de tergente neutra (FDN) de las hojas verdes. En la leche de las cabras, bajo este experimento, se detectó que aquellas que consumieron *Sulla coronarium* L, el contenido de polifenoles total en la leche (MTP, por sus siglas en inglés: Milk Total Phenolic) fue mayor, en comparación con las cabras que consumieron heno de cebada (0.96 g/equivalentes de ácido gálico [EAG]/d y 0.82 g/EAG/d, respectivamente), reportando similar comportamiento para los polifenoles libres en la leche, proporcionando esta planta un valor adicional en términos de estatus oxidativo, debido a la presencia de polifenoles, por lo que mejora la calidad láctea.

También los compuestos bioactivos de las plantas heterogéneas tienen efectos en el aspecto reproductivo y/o sanitario. En el primero, se ha registrado que la ingestión de arbustos impacta las características seminales en los seminales caprinos. Vera-Avila y col. (1997) analizaron el efecto del consumo de *Acacia berlandieri* y *Acacia rigidula* en machos Angora activos sexualmente, y encontraron que aquellos que consumieron estas plantas tuvieron niveles bajos de testosterona (0.70 ± 0.07 ng/mL), en comparación con el grupo control, alimentado con heno de alfalfa ($1.52 \pm$ ng/mL) ($P < 0.001$). Además observaron una reducción en la circunferencia escrotal de 3.0 cm en el día 52 del tratamiento, en comparación con 0.6 cm en el

grupo testigo. La concentración espermática no se afectó, pero si hubo un efecto según los días de tratamiento. El grupo que consumió *Acacias* presentó un valor de 1 211 mill/cel/mL al día 10, aumentando a 2 044 mill/cel/mL para el día 52, mientras que el grupo control solo alcanzó valores adecuados los días 24 y 38, con 1 575 mill/cel/mL y 1 830 mill/cel/mL, respectivamente. Asimismo, Mellado (2016) señaló que la calidad del semen y perfiles metabólicos de machos caprinos en pastoreo eran sensibles a la ingestión de algunos forrajes del desierto chihuahuense en México.

Okukpe y col. (2014) estudiaron el efecto del extracto de *Mucuna pruriens*, planta que contiene L-3, 4-dihydroxyphenyl alanina (L-Dopa), precursor de la dopamina, y registraron que a dosis de 0.2 mL/kg de peso vivo (PV) obtuvieron valores de $2.30 \times 10^9/\text{mL}$ de conteo espermático, viabilidad del 83.5 % y niveles de testosterona en suero de 2.5 g/dL, a comparación del grupo testigo (0.1 mL/kg PV, citrato de sildenafil), donde se obtuvieron los valores de $1.65 \times 10^9/\text{mL}$, 75.3 % y 1.40 g/dL.

En el aspecto sanitario, Worku y col. (2016) analizaron el efecto del consumo de *Sericea lespedeza* en la inmunidad innata en animales infectados con parásitos, y encontraron que la concentración de citoquinas proinflamatorias en suero (TNF- α , IFN- γ , G-CSF, GM-CSF, IL-1 α , IP-10) fue mayor en los animales que consumieron esta planta, a comparación del grupo testigo, que se alimentó con *pellets* de alfalfa. Así también, el consumo estimuló la expresión de ciertos genes relacionados con la inmunidad innata, como los genes TLR4, TLR2, IFN- γ y CD-14, entre otros. Los autores concluyeron que, consumiendo esta planta, el animal es resiliente a la infección parasitaria, por el efecto de la presencia de TC y la estimulación de la inmunidad innata.

Las cabras tienen una conducta alimenticia adaptativa que les permite consumir las plantas heterogéneas que se encuentran en el agostadero. Sin embargo, es necesario seguir realizando investigaciones, sobre cómo esta con-

ducta adaptativa puede tener una influencia en el uso potencial del agostadero y su repercusión en la producción caprina, y como esta conducta es modificada por la presencia de compuestos pertenecientes al metabolismo secundario de las plantas. Por lo tanto, es necesario elaborar investigaciones sobre el uso adecuado, planeado y estratégico de los recursos forrajeros de las zonas áridas. Para ello, es preciso realizar la identificación (taxonómica), distribución y disponibilidad de las distintas plantas consumidas por las cabras en zonas áridas. Analizar el perfil de compuestos bioactivos (metabolitos secundarios), con respecto a identificación de moléculas y actividad antioxidante, así como de los elementos nutricionales (PC, ácidos grasos, fracción fibrosa). Investigar los efectos en la salud (control de parasitosis, control de infecciones bacterianas) y la productividad (ganancia de peso, conversión alimenticia) de las cabras al incluirlos en la dieta. También, es importante conocer el efecto de la inclusión en la calidad de los productos obtenidos de las cabras (carne, leche y queso), particularmente sobre el contenido de ácidos grasos y antioxidantes. Se

deben realizar diseños experimentales que logren explicar los modos de acción (absorción, distribución, dinámica y cinética) de polifenoles, terpenos y alcaloides. Sobre todo, que los resultados de estos hallazgos puedan ser extrapolados a cualquier agroecosistema.

CONCLUSIONES

Las cabras se han adaptado a zonas agroecológicas áridas, mediante mecanismos conductuales y fisiológicos, que les permiten seleccionar, consumir alimento y producir en condiciones limitantes para otras especies animales. Las adaptaciones desarrolladas por las cabras, de acuerdo con las variaciones en disponibilidad y calidad del agostadero árido, deben ser aprovechadas, con la finalidad de establecer estrategias de manejo, para favorecer su producción. Se requiere más investigación acerca de la respuesta adaptativa de las cabras al consumo de metabolitos secundarios y sus efectos sobre procesos reproductivos, nutricionales, estado sanitario y en los productos derivados de la leche o carne de esta especie.

REFERENCIAS

- Ackermans, L. N., Martín, F. L., Hummel, J., Muller, D. W. H., Clauss, M., and Hatt, J. M. (2019). Feeding selectivity for diet abrasiveness in sheep and goats. *Small Ruminant Research*. 175:160-164.
- Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., and Capetillo-Leal, C. M. (2012). Amino acid profile of the protein from whole saliva of goats and sheep and its interaction with tannic acid and tannins extracted from the fodder of tropical plants. *Small Ruminant Research*. 103(1): 69-74.
- Andrabi, S. M., Ritchie, M. M., Stimson, C., Horadagoda, A., Hyde, M., and McNeill, D. M. (2005). *In vivo* assessment of the ability of condensed tannins to interfere with the digestibility of plant protein in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 122(1-2):13-27.
- Ayala-Burgos, A., Cetina-Gongora, R., Zapata-Campos, C. C., Capetillo-Leal, C. y Sandoval-Castro, C. A. (2006). *Composición Química - Nutricional de Árboles Forrajeros*. Merida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán. 54 Pp.
- Berridge, K. C. (1996). Food reward – brain structures of wanting and liking. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 20(1):1-25.
- Bojkovski, D., Štuhec, I., Kompan, D., and Zupan, M. (2014). The behavior of sheep and goats co-grazing on pasture with different types of vegetation in the Karst region. *Journal of Animal Science*. 92(6):2752-2758.
- Boyazoglu, J., Hatziminaoglou, I., and Morand-Fehr, P. (2005). The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research*. 60(1-2):13-23.
- Brito, D. R. B., Costa-Júnior, L. M., Garcia, J. L., Torres-Acosta, J. F. J., Louvandini, H., Cutrim-Júnior, J. A. A., ..., and Soares, E. D. S. (2018). Supplementation with dry *Mimosa caesalpiniiifolia* leaves can reduce the *Haemonchus contortus* worm burden of goats. *Veterinary Parasitology*. 252:47-51.
- Brunet, S., De-Montellano, C. M. O., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Aguilar-Caballero, A. J., Capetillo-Leal, C., and Hoste, H. (2018). Effect of the

- consumption of *Lysiloma latisiliquum* on the larval establishment of gastrointestinal nematodes in goats. *Veterinary Parasitology*. 157(1-2): 81-88.
- Calder, W. A. (1984). *Size, Function and Life history*. Mineola, New York: Harvard University Press, Cambridge. 423 Pp.
- Cardozo-Herrán, M., Ayala-Burgos, A., Aguilar-Perez, C., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, J., and Solorio-Sánchez, F. J. (2019). Productivity of lactating goats under three grazing systems in the tropics of México. *Agroforest System*. 1-9.
- Carvalho, W. F. D., Oliveira, M. E. D., Alves, A. A., Moura, R. L. D., and Moura, R. M. D. A. D. S. (2017). Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and leucaena. *Revista Ciencia Agronomica*. 48(1): 199-207.
- Catunda, K. L. M., de-Aguiar, E. M., de-Góes-Neto, P. E., da-Silva, J. G. M., Moreira, J. A., do-Nascimento-Rangel, A. H., and de-Lima-Júnior, D. M. (2016). Gross-composition, fatty acid profile and sensory characteristics of Saanen goat milk fed with Cacti varieties. *Tropical Animal Health and Production*. 48(6):1253-1259.
- Chimphango, B. M. S., Gallant, H. L., Poulsen, C. Z., Poulsen, C. Z., Samuels, M. I., Hattas, D., ..., and Howieson, J. (2020). Native legume species as potential fodder crops in the mediterranean renosterveld shrubland, South Africa. *Journal of Arid Enviroments*. 173:104015.
- Choubey, M., Pattanaik, A. K., Baliyan, S., Dutta, N., Jadhav, S. E., and Sharma, K. (2016). Dietary supplementation of a novel phytogetic feed adictive: effects on nutrient metabolism, antioxidant, status and immune response of goats. *Animal Production Science*. 56(10): 1612-1621.
- Church, D. C., Pond, W. G., and Pond, K. R. (2002). *Nutrición y alimentación de los animales*. (Second edition). Madrid, España: Limusa Wiley. 438 Pp.
- Cordova-Torres, A. V., Mendoza-Mendoza, J. C., Bernal-Santos, G., García-Gasca, T., Kawas, J. R., Costa, R. G., ..., and Andrade-Montemayor, H. M. (2015). Nutritional composition, *in vitro* degradability and gas production of *Opuntia ficus indica* and four other wild cacti species. *Life Science Journal*. 12(2).
- Croteau, R., Kutchan, T. M., and Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 24:1250-1319.
- Cuchillo, H., Puga, D., Wrage-Mönning, N., Espinosa, M., Montaña, B., Navarro-Ocaña, A., ..., and Pérez-Gil, R. (2013). Chemical composition, antioxidant activity and bioactive compounds of vegetation species ingested by goats on semiarid rangelands. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 22(2):106-115.
- Davis, T. Z., Stegelmeier, B. L., and Hall, J. O. (2014). Analysis in horse hair as a means of evaluating selenium toxicoses and long-term exposures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(30):7393-7397.
- Delgadillo-Puga, C., Cuchillo-Hilario, M., León-Ortiz, L., Ramírez-Rodríguez, A., Cabiddu, A., Navarro-Ocaña, A., ..., and Pedraza-Chaverri, J. (2019). Goats' feeding supplementation with *Acacia farnesiana* pods and their relationship with milk composition: Fatty acids, polyphenols, and antioxidant activity. *Animals*. 9(8):515.
- Devendra, C. (2010). Concluding synthesis and the future for sustainable goat production. *Small Ruminant Research*. 89(2-3):125-130.
- Distel, R. A. and Provenza F. D. (1991). Experience early in life affects voluntary intake of blackbrush by goats. *Journal of Chemical Ecology*. 17(2): 431-450.
- Di-Trana, A., Bonanno, A., Cecchini, S., Giorgio, D., Di-Grigoli, A., and Claps, S. (2015). Effects of Sulla forage (*Sulla coronarium* L.) on the oxidative status and milk polyphenol content in goats. *Journal of Dairy Science*. 98(1):37-46.
- Domingues, L. F., Botura, M. B., Cruz, A. C. F. G. D., Yuki, C. C., Silva, G. D. D., Costa, M. S., ..., and Branco, A. (2010). Evaluation of anthelmintic activity of liquid waste of *Agave sisalana* (sisal) in goats. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 19(4):270-272.
- Durmic, Z. and Blache, D. (2012). Bioactive plants and plant products: Effects on animal function, health and welfare. *Animal Feed Science and Technology*. 176: 150-162.
- Egea, A. V., Allegretti, L. I., Paez-Lama, S. A., Grilli, D., Fucili, M., Guevara, J. C., and Villalba, J. J. (2016). Diet mixing and condensed tannins help explain foraging preferences by Creole goats facing the physical and chemical diversity of native woody plants in the central Monte desert (Argentina). *Animal Feed Science and Technology*. 215:47-57.
- Egualé, T., Tilahun, G., Debella, A., Feleke, A., and Makonnen, E. (2007). *Haemonchus contortus*: *in vitro* and *in vivo* anthelmintic activity of aqueous and hydro-alcoholic extracts of *Hedera helix*. *Experimental Parasitology*. 116(4): 340-345.
- Estell, R. E., Utsumi, S. A., and Cibils, A. F. (2010). Measurement of monoterpenes and sesquiterpenes in serum, plasma, and rumen fluid from sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 158(1-2):104-109.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). Zonas áridas del mundo. [En línea]. Dis-

ponible en: <http://fao.org/3/y5738s02.pdf>. Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2019.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). FAOSTAT. [En línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/409/default.aspx>. Fecha de consulta: 5 de enero de 2020.

Ferretti, F., Costa, A., Corazza, M., Pietrocini, V., Cesaretti, G., and Lovari, S. (2014). Males are faster foragers than females: Intersexual differences of foraging behaviour in the Apennine chamois. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 68(8):1335-1344.

Foroughbakhch, R., Hernández-Piñero, J. L., Carrillo-Parra, A., and Rocha-Estrada, A. (2013). Composition and animal preference for plants used for goat feeding in semiarid Northeastern Mexico. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 23(4):1034-1040.

Ginane, C., Baumont, R., and Favreau-Peigné, A. (2011). Perception and hedonic value of basic tastes in domestic ruminants. *Physiology & Behavior*. 104(5):666-674.

Ginane, C., Bonnet, M., Baumont, R., and Revell, D. K. (2015). Feeding behaviour in ruminants: A consequence of interactions between a reward system and the regulation of metabolic homeostasis. *Animal Production Science*. 55(3):247-260.

Giorgio, D., Di-Trana, Di-Napoli, A. M., Sepe, L., Cechinni, S., Rossi, R., and Claps, S. (2019). Comparison of cheeses from goats fed 7 forages based on a new health index. *Journal of Dairy Science*. 102:6790-6801.

Goetsch, A. L. (2019). Recent research of feeding practices and the nutrition of lactating dairy goats. *Journal Applied Animal Research*. 47(1):103-114.

Gorniak, S. L., Pfister, J. A., Lanzonia, E. C., and Raspantini, E. R. (2008). A note on averting goats to a toxic but palatable plant, *Leucaena leucocephala*. *Applied Animal Behaviour Science*. 111(3-4):396-401.

Gutteridge, R. C. and Shelton, H. M. (1994). Animal Production Potential of Agroforestry Systems. In M. Copland, J. W. Djajanegra, and A. Sabrani (Eds.), *Agroforestry and animal production for human welfare* (pp. 7-17). Canberra: Association Agroforestry Animal Production.

Habib, G., Khan, N. A., Sultan, A., and Ali, M. (2016). Nutritive value of common tree leaves for livestock in the semi-arid and arid rangelands of Northern Pakistan. *Livestock Science*. 184:64-70.

Hai, P. V., Schonewille, J. T., Dam-Van, T., Everts, H., and Hendriks, W. H. (2014). Exposure to a novel feedstuff by goat dams during pregnancy and lactation versus pregnancy alone does not further improve post-

weaning acceptance of this feedstuff by their kids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96(6):2215-2219.

Hernández-Orduño, G., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Capetillo-Leal, C. M., Aguilar-Caballero, A. J., and Alonso-Díaz, M. A. (2015). A tannin-blocking agent does not modify the preference of sheep towards tannin-containing plants. *Physiology & Behavior*. 145:106-111.

Hervás, G., Frutos, P., Giráldez, F. J., Mantecón, A. R., and Del-Pino, M. C. A. (2003). Effect of different doses of quebracho tannins extract on rumen fermentation in ewes. *Animal Feed Science and Technology*. 109(1-4):65-78.

Hetem, R. S., de-Witt, B. A., Fick, L. G., Fuller, A., Maloney, S. K., Meyer, L. C. R., ..., and Kerley, G. I. H. (2011). Effects of desertification on the body temperature, activity and water turnover of Angora goats. *Journal of Arid Environments*. 75(1):20-28.

Heuermann, N., van-Langevelde, F., van-Wieren, S. E., and Prins, H. H. T. (2011). Increased searching and handling effort in tall swards lead to a Type IV functional response in small grazing herbivores. *Oecologia*. 166(3):659-669.

Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., ..., and Terrill, T. H. (2015). Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*. 212(1-2):5-17.

Hunt, J. W., Dean, A. P., Webster, R. E., Johnson, G. N., and Ennos, A. R. (2008). A Novel Mechanism by which Silica Defends Grasses Against Herbivory. *Annals of Botany*. 102(4):653-656.

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biology Research*. 52(39):2-25.

Jafari, S., Ebrahimi, M., Goh, Y. M., Rajion, M. A., Jahromi, M. F., and Al-Jumaili, W. S. (2019). Manipulation of rumen fermentation and methane gas production by plant secondary metabolites (saponin, tannin and essential oil): a review of ten-year studies. *Annual Animal Science*. 19:3-29.

Kholif, A. E., Gouda, G. A., Anele, U.Y., and Galyean, M. L. (2018). Extract of *Moringa oleifera* leaf improves feed utilization of lactating Nubian goats. *Small Ruminant Research*. 158:69-75.

Koluman-Darcan, N. and Silanikove, N. (2018). The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview. *Small Ruminant Research*. 163:34-38.

- Lee, S. T., Welch, K. D., Stonecipher, C. A., Cook, D., Gardner, D. R., and Pfister, J. A. (2020). Analysis of rumen contents and ocular fluid for toxic alkaloids from goats and cows dosed larkspur (*Delphinium barbeyi*), lupine (*Lupinus leucophyllus*), and death camas (*Zigadenus paniculatus*). *Toxicon*. 176: 21-29.
- Leparmarai, P. T., Sinz, S., Kunz, C., Liesegang, A., Ortman, S., Kreuzer, M., and Marquardt, S. (2019). Transfer of total phenols from a grapeseed-supplemented diet to dairy sheep and goat milk, and effects on performance and milk quality. *Journal of Animal Science*. 97(4): 1840-1851.
- Makkar, H. P. S. (2006). Chemical and biological assays for quantification of major plant secondary metabolites. *BSAP Occasional Publication*. 34: 235-249.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., and Rémésy, C. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 79(5): 727-747.
- Manousidis, T., Kyriazopoulos, A. P., Parissi, Z. M., Abraham, E. M., Korakis, G., and Abas, Z. (2016). Corrigendum to Grazing behaviour, forage selection and diet composition of goats in a Mediterranean woody rangeland. *Small Ruminant Research*. 145: 142-153.
- Márquez-Lara, D. y Suárez-Londoño, Á. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*. 1(16): 87-109.
- Mayouf, R. and Arbouche, F. (2015). Seasonal variations in the chemical composition and nutritional characteristics of three pastoral species from Algerian arid rangelands. *Livestock Research of Rural Development*. 27: 3.
- McArthur, C., Hagerman, A. E., and Robbins, C. T. (1991). Physiological strategies of mammalian herbivores against plant defenses. In R. Thomas and C. T. Robbins (Eds.), *Plant defenses against mammalian herbivory* (pp. 103-114). Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- McIntosh, M., M., Holechek, J. L., Spiegel, S. A., Cibils, A. F., and Estell, R. E. (2019). Long-term declining trends in Chihuahuan desert forage production in relation to precipitation and ambient temperature. *Rangeland Ecology & Management*. 72(6): 976-987.
- Mellado, M. (2016). Dietary selection by goats and the implications for range management in the Chihuahuan Desert: A review. *Rangeland Journal*. 38(4): 331-341.
- Mellado, M., Aguilar, C. N., Arévalo, J. R., Rodríguez, A., García, J. E., and Mellado, J. (2011). Selection for nutrients by pregnant goats on a microphyll desert scrub. *Animal*. 5(6): 972-979.
- Mellado, M., Salas, G., and Pittroff, W. (2008). *Sphaeralcea angustifolia* as a substitute for alfalfa for growing goats. *Rangeland Ecology & Management*. 61(4): 405-411.
- Mennella, J. A., Johnson, A., and Beauchamp, G. K. (1995). Garlic ingestion by pregnant women alters the odor of amniotic fluid. *Chemical Senses*. 20(2): 207-209.
- Min, B. R., Perkins, D., Wright, C., Dawod, A., Min, B. J., Terrill, T. H., ..., and Gurung, N. (2015). Effects of feeding two different tannin-containing diets on ruminal fermentation profiles and microbial community changes in meat goats. *Agriculture, Food and Analytical Bacteriology*. 5: 153-165.
- Mkhize, N. R., Scogings, P. F., Nsahlai, I. V., and Dziaba, L. E. (2014). Diet selection of goats depends on season: roles of plant physical and chemical traits. *African Journal of Range and Forage Science*. 31(3): 209-214.
- Mnisi, C. M. and Mlambo, V. (2016). Influence of harvesting site on chemical composition and potential protein value of *Acacia erioloba*, *A. nilotica* and *Ziziphus mucronata* leaves for ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101(5): 994-1003.
- Moquin, P., Curry, B., Pelletier, F., and Ruckstuhl, K. E. (2010). Plasticity in the rumination behaviour of big-horn sheep: contrasting strategies between the sexes? *Animal Behaviour*. 79(5): 1047-1053.
- Moreno, F. C., Gordon, I. J., Knox, M. R., Summer, P. M., Skerrat, L. F., Benvenuti, M. A., and Saumell, C. A. (2012). Anthelmintic efficacy of five tropical native Australian plants against *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in experimentally infected goats (*Capra hircus*). *Veterinary Parasitology*. 187: 237-243.
- Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M., Kölliker, R. ..., and Waghorn, G. C. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: importance of structure, concentration, and diet composition. *Crop Science*. 59(3): 861-885.
- Nielsen, B. L., De-Jong, I. C., and Devries, T. J. (2016). Nutrition and the Welfare of farm animals. In J. C. P. Clive (Ed.), *Nutrition and the welfare of farm animals* (pp. 59-84). Switzerland: Springer International Publishing.
- Nolte, D. L., Provenza, F. D., Callan, R., and Panter, K. E. (1992). Garlic in the ovine fetal environment. *Physiology & Behavior*. 52: 1091-1093.
- Ntuthuko, R., Ignas, M. A., Heitkönig, P. F., Scogings, Hattas, D., Luthando, E., ..., and Prins-Willem, F. (2018). Seasonal regulation of condensed tannin consumption by free-ranging goats in a semi-arid savanna. *Plos One*. 13: 1-17.

- Okukpe, K. M., Adeloye, A. A., and Soladoye, A. O. (2014). Effects of varying levels of mucuna pruriens extract on reproductive performance of west african dwarf bucks. *Centrepont Journal*. 20(2):95-102.
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Castelán-Ortega, O., and Rojas-Hernández, S. (2013). Use of three fodder trees in the feeding of goats in the subhumid tropics in Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 45(3):821-828.
- Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., de-la-Rosa, L. A. y Ramos-Jiménez, A. (2015). Taninos hidrolizables, bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*. 31(1): 55-66.
- Osoro, K., Ferreira, L. M. M., García, U., Jáuregui, B. M., Martínez, A., Rosa-García, R., and Celaya, R. (2013). Diet selection and performance of sheep and goats grazing on different heathland vegetation types. *Small Ruminant Research*. 109(2-3): 119-127.
- Pech-Cervantes, A. A., Ventura-Cordero, J., Capetillo-Leal, C. M., Torres-Acosta, J. F. J., and Sandoval-Castro, C. A. (2016). Relationship between intake of tannin-containing tropical tree forage, PEG supplementation, and salivary haze development in hair sheep and goats. *Biochemical Systematics and Ecology*. 68: 101-108.
- Pliner, P. and Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. *Appetite*. 19(2):105-120.
- Poutaraud, A., Michelot-Antalik, A., and Plantureux, S. (2017). Grasslands: a source of secondary metabolites for livestock health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65(31): 6535-6553.
- Provenza, F. D. (1995). Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Journal of Range Management*. 48:2-17.
- Quiroz-Cardoso, F., Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Hernández-Castro, E., Jiménez-Guillén, R., Córdova-Izquierdo, A., ... y Abdel-Fattah, S. (2015). Composición nutricional, consumo e índices de palatabilidad relativa de los frutos de tres acacias en la alimentación de ovejas y cabras. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 47(1): 33-38.
- Ramírez-Restrepo, C. A. and Barry, T. N. (2005). Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 120 (3-4): 179-201.
- Reid, R. S., Fernández-Giménez, M. E., and Galvin, K. A. (2014). Dynamics and resilience of rangelands and pastoral peoples around the globe. *Annual Review of Environment and Resource*. 39: 217-242.
- Robbins, C. T., Spalinger, D. E., and van-Hoven, W. (1995). Adaptation of ruminants to browse and grass diets: are anatomical-based browser-grazer interpretations valid? *Oecologia*. 103(2):208-213.
- Rosa-García, R., Celaya, R., García, U., and Osoro, K. (2012). Goat grazing, its interactions with other herbivores and biodiversity conservation issues. *Small Ruminant Research*. 107(2-3):49-64.
- Santos, K. C., Magalhães, A. L. R., Silva, D. K. A., Araújo, G. G. L., Fagundes, G. M., Ybarra, N. G., and Abdalla, A. L. (2017). Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. *Livestock Science*. 195: 118-124.
- Sawal, R. K., Ratan, R., and Yadav, S. B. S. (2004). Mesquite (*Prosopis juliflora*) pods as a feed resource for livestock - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 17(5): 719-725.
- Schmitt, H. M., Ward, D., and Shrader, M. A. (2020). Salivary tannin-binding protein: A foraging Advantage for Goats. *Livestock Science*. 234:103974.
- Sebata, A. and Ndlovu, L. R. (2012). Effect of shoot morphology on browse selection by free ranging goats in a semi-arid savanna. *Livestock Science*. 144(1-2): 96-102.
- Silanikove, N. (2000a). Goat production under harsh environmental conditions: The physiological basis and the challenge, in *The Opportunities and Challenges for Enhancing Goat Production in East Africa*. Langston University, Langston. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236162686_Goat_production_under_harsh_environmental_conditions_The_physiological_basis_and_the_challenge. Fecha de consulta: 7 de julio de 2019.
- Silanikove, N. (2000b). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*. 35(3):181-193.
- Silanikove, N., Gilboa, N., Perevolotsky, A., and Nitsan, Z. (1996). Goats fed tannin-containing leaves do not exhibit toxic syndromes. *Small Ruminant Research*. 21(3): 195-201.
- Silanikove, N. and Koluman-Darcan, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*. 123(1): 27-34.
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simončič, M., and Knez, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their

antioxidant activities. *Food Chemistry*. 89(2):191-198.

Smotherman, W. P. and Robinson, S. R. (1987). Prenatal expression of species-typical action patterns in the rat fetus (*Rattus norvegicus*). *Journal of Comparative Psychology*. 101(2):190-196.

Soldera-Silva, A., Seyfried, M., Campestrini, L. H., Zawadzki-Baggio, S. F., Minho, A. P., Molento, M. B., and Maurer, J. B. B. (2018). Assessment of anthelmintic activity and bio-guided chemical analysis of *Persea americana* seed extracts. *Veterinary Parasitology*. 251:34-43.

Speed, M. P., Fenton, A., Jones, M. G., Ruxton, G. D., and Brockhurst, M. A. (2015). Coevolution can explain defensive secondary metabolite diversity in plants. *New Phytologist*. 208(4): 1251-1263.

Stonecipher, C. A., Lee, S. T., Green, B. T., Cook, D., Welch, K. D., Pfister, J. A., and Gardner, D. R. (2019). Evaluation of noninvasive specimens to diagnose livestock exposure to toxic larkspur (*Delphinium* spp.). *Toxicon*. 161:33-39.

Torres-Acosta, J. F. de J., Alonso-Díaz, M. Á., Hoste, H., Sandoval-Castro, C. A., and Aguilar-Caballero, A. J. (2008). Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9(1):83-90.

Torres-Fajardo, R. A., Navarro-Alberto, J. A., Ventura-Cordero, J., González-Pech, G., Sandoval-Castro, C. A., Chan-Pérez, J. I., and Torres-Acosta, J. F. J. (2019). Intake and selection of goats grazing heterogeneous vegetation: effect of gastrointestinal nematodes and condensed tannins. *Rangeland Ecology & Management*. 72(6): 946-953.

Vadlamani, P. S., Devi, B. D., Poosarala, A., and Bapatla, V. K. (2016). Identification of plant sources from north Andhra Pradesh exhibiting immunomodulatory activity using Balb/c models. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 7(1):295-300.

van-Cleef, F. and Dubeux, J. (2020). Condensed tannins in forage legumes. *EDIS*. (1):4-4.

van-Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Ithaca, USA: Comstock Publishing Associates. 463 Pp.

Ventura-Cordero, J., González-Pech, P. G., Sandoval-Castro, C. A., Torres-Acosta, J. F. J., and Tun-Garrido, J. (2017). Feed resource selection by Criollo goats browsing a tropical deciduous forest. *Animal Production Science*. 58:2314-2320.

Vera-Avila, H. R., Forbes, T. D. A., Berardinelli, J. G., and Randel, R. D. (1997). Effect of dietary phenolic amines on testicular function and luteinizing hormone

secretion in male angora goats. *Journal of Animal Science*. 75(6):1612-1620.

Villalba, J. J., Costes-Thiré, M., and Ginane, C. (2016). Phytochemicals in animal health: Diet selection and trade-offs between costs and benefits. *Proceedings of the Nutrition Society*. 76(2):113-121.

Villalba, J. J., Provenza, F. D., and Banner, R. E. (2002). Influence of macronutrients and activated charcoal on intake of sagebrush by sheep and goats 1, 2. *Journal of Animal Science*. 80(8):2099-2109.

Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production – Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*. 147(1-3):116-139.

Washburn, K. E., Breshears, M. A., Ritchey, J. W., Morgan, S. E., and Streeter, R. N. (2002). Honey mesquite toxicosis in a goat. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 220(12):1837-1839.

Washaya, S., Mupangwa, J., and Muchenje, V. (2018). Chemical composition of *Lablab purpureus* and *Vigna unguiculata* and their subsequent effects on methane production in Xhosa lop-eared goats. *South African Journal of Animal Science*. 48(3):445-458.

Welch, K. D., Gardner, D. R., Green, B. T., Stonecipher, C. A., Cook, D., and Pfister, J. A. (2016). Comparison of the serum toxicokinetics of larkspur toxins in cattle, sheep and goats. *Toxicon*. 119:270-273.

Welch, K. D., Stonecipher, C. A., Lee, S. T., and Cook, D. (2020). The acute toxicity of water hemlock (*Cicuta douglasii*) in a goat model. *Toxicon*. 176:55-58.

Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*. 2(3):251-286.

Worku, M., Abdalla, A., Adjei-Fremah, S., and Ismail, H. (2016). The impact of diet on expression of genes involved in innate immunity in goat blood. *Journal of Agricultural Science*. 8(3):1.

Zeder, M. A. and Hesse, B. (2000). The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros mountains 10,000 years ago. *Science*. 287(5461):2254-225.

Zobel, G., Neave, W. H., and Webster, J. (2019). Understanding natural behavior to improve dairy goat (*Capra hircus*) management systems. *Translational Animal Science*. 3(1):212-224.



Capacidad antioxidante y mecanismo de acción de pigmentos en organismos marinos

Antioxidant capacity and mechanism of action of pigments in marine organisms

Josafat Marina Ezquerro-Brauer, Jesús Enrique Chan-Higuera*

RESUMEN

Los organismos marinos poseen maravillosos colores que los hacen muy atractivos. Las características únicas de los compuestos sintetizados por especies de origen marino van más allá de su apariencia. Los pigmentos responsables de esos colores son capaces también de generar diversas actividades biológicas, como la capacidad antioxidante, la cual puede ocurrir a través de diversos mecanismos. Esto ha propiciado un aumento de su investigación, debido a su amplia aplicación en la biotecnología, farmacéutica, cosmética y alimentación de organismos vivos, expandiendo los estudios tanto *in vitro* como en ensayos *in vivo*. El objetivo de este trabajo fue compilar y describir diversos estudios recientes, enfocados en demostrar y elucidar los mecanismos de acción de los diferentes compuestos bioquímicos con actividad antioxidante, provenientes de algunos organismos marinos. Para ello, se utilizaron las bases de datos Scopus®, Web of Science™ y Microsoft Academic. Los pigmentos provenientes de organismos marinos representan una alternativa promisoriosa frente a los antioxidantes y aditivos sintéticos utilizados en la actualidad. El establecimiento y comprensión de los mecanismos de acción de los componentes pigmentados bioactivos, aislados de los organismos marinos, permitirá determinar con mayor precisión su posible aplicación en la industria.

PALABRAS CLAVE: actividad biológica, antioxidante, compuestos naturales, organismos marinos.

ABSTRACT

Marine organisms have wonderful colors that make them very attractive. The unique characteristics of the compounds synthesized by species of marine origin go beyond their appearance. The pigments responsible for these colors are also capable of exerting biological activities, including the antioxidant capacity, which can be performed by different mechanisms. This has led to an increase in research attention due to their potential application in the pharmaceutical, cosmetics and food industries, and has expanded from *in vitro* studies to *in vivo* tests. The objective of this review is to compile and describe the studies aimed at establishing and elucidating the mechanisms of action of different biochemical compounds with antioxidant activities from marine species. In order to achieve that objective, the Scopus®, Web of Science™ and Microsoft Academic databases were used. Marine pigments represent a promising alternative to the antioxidants and synthetic additives used today. By establishing and understanding the mechanisms of action of the bioactive pigmented compounds isolated from marine organisms, it is possible to determine with greater precision their possible application in the industry.

KEYWORDS: biological activity, antioxidant, natural compounds, marine organisms.

*Correspondencia: jeen.chhi@gmail.com/ Fecha de recepción: 2 de diciembre de 2020/ Fecha de aceptación: 26 de enero de 2021/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

Universidad de Sonora, Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, boulevard Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora, México, C. P. 83000.

INTRODUCCIÓN

Los pigmentos en los organismos vivos cumplen diferentes funciones, entre ellas, como mecanismos de defensa para asegurar su desarrollo, supervivencia y procreación (Shamim y col., 2014). En los sistemas marinos algunos organismos, además de la pigmentación, poseen la capacidad de producir corazas o caparazones duros, otros son capaces de nadar, volar o correr a velocidades tales que logran escapar de posibles depredadores. Sin embargo, hay otros que su único sistema de protección son los cambios de color, como es el caso de los calamares (Ezquerro y Aubourg, 2019). Los cambios de coloración les permiten cambiar su apariencia y mimetizarse con el medio en el que habitan, mediante la síntesis acelerada de pigmentos o la modulación de células especializadas (cromatóforos) en la superficie de la piel (Chan-Higuera, 2019b). Muchas veces, la actividad de estos pigmentos va más allá del simple cambio de la coloración del organismo para mimetizarse con el entorno. La pigmentación en los organismos también sirve para alertar a los demás organismos de que son tóxicos (aposematismo).

Por otro lado, los organismos productores primarios de la cadena trófica se caracterizan por utilizar pigmentos para lograr captar y aprovechar la luz proveniente del sol, como fuente de energía. Plantas, algas y algunas bacterias son capaces, a través de pigmentos fotosintéticos, de realizar los procesos metabólicos necesarios para realizar esta función vital. De igual manera, la funcionalidad de dichos compuestos también ha sido vinculada a actividades biológicas, útiles en la supervivencia de los organismos marinos (Hsu y col., 2013).

Los pigmentos de los organismos marinos han sido de especial interés desde hace algunas décadas, debido a sus estructuras particulares y la potente actividad antioxidante que les confieren.

El objetivo de este trabajo fue compilar y describir estudios que muestran los mecanismos de acción de diferentes pigmentos con activi-

dad antioxidante, provenientes de algunos organismos marinos. En la compilación de la información se utilizaron las bases de datos Scopus®, Web of Science™ y Microsoft Academic, buscando fuentes de reciente publicación (preferentemente de 10 años o menos de antigüedad), en referencias redactadas en inglés, las cuales estuviesen relacionadas con la elucidación de actividad antioxidante de pigmentos de organismos marinos.

Azafilonas

Las azafilonas son pigmentos que pertenecen a la categoría de los policétidos. Estos compuestos se caracterizan por tener en su estructura grupos carbonilo (-CO-) y metileno (-CH₂-) alternados (Miyanga, 2017).

Las azafilonas han sido aisladas e identificadas principalmente a partir de hongos, de una gama diversa de especies del género *Monascus*, un hongo terrestre, cuya especie *M. purpureus* se caracteriza por su apariencia rojiza; sus propiedades como colorante y conservador se aprovechan desde la antigüedad (Wu y col., 2018). Así mismo, las azafilonas bioactivas han sido encontradas en hongos saprófitos de zonas acuáticas (*Pleosporales* sp.), hongos acuáticos como *Penicillium sclerotiorum*, *Chaetomium* sp., *Peyronellaea glomerata*, así como algunas esponjas marinas. Sin embargo, en el caso de estos últimos organismos, la evidencia sugiere que la presencia de azafilonas es derivada de la interacción simbiótica con hongos productores de pigmentos derivados de azafilonas (Jia y col., 2019).

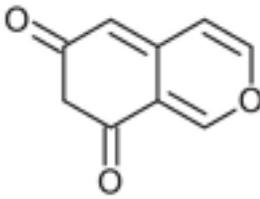
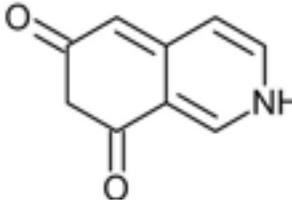
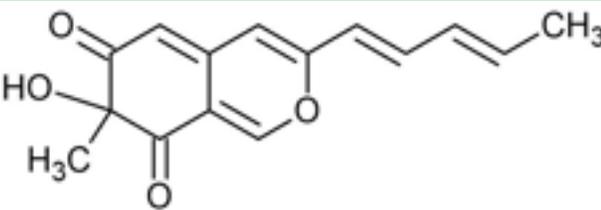
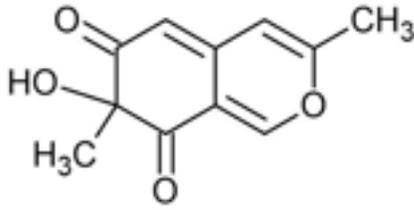
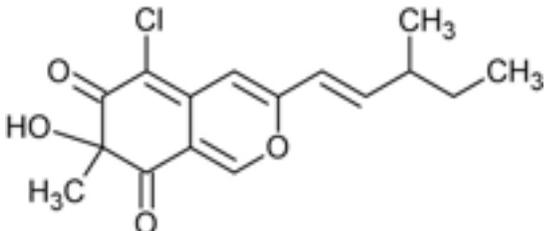
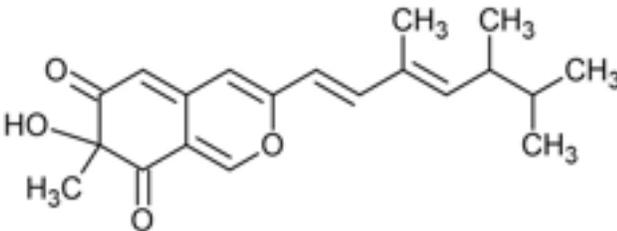
Las azafilonas, en su estructura cuentan con un núcleo de 2 anillos de piranoquinona altamente oxigenado, conocido como isocromo, así como un centro de carbono cuaternario. Estos pigmentos tienen como característica la capacidad de volverse de color rojo, en presencia de aminas primarias, cuando un átomo de nitrógeno sustituye al oxígeno del anillo de pirano. La saturación de los anillos del cromóforo policético también ocasiona un cambio en la coloración: la presencia de un doble enlace genera colores naranjas, y en ausencia, la apariencia

es amarilla (Chen y col., 2017). El precursor y las principales azafilonas identificadas en organismos marinos se muestran en la Tabla 1.

El efecto antioxidante de siete azafilonas y derivados de ellas ha sido establecido por varios grupos de investigación. Así, se tiene que los ex-

■ **Tabla 1. Principales azafilonas encontradas en organismos marinos.**

Table 1. Main azaphilones found in marine organisms.

Molécula	Estructura
Precursor oxigenado de azafilonas	
Precursor nitrogenado de azafilonas	
Ácido pulvilónico	
Austdioles	
Chaetoviridinas	
Esclerotiorinas	

Fuente: modificada a partir de Chen y col., 2020.

tractos metanólicos obtenidos a partir del hongo *Monascus* sp. demostraron tener actividad como antioxidante primario y secundario, logrando inhibir radicales sintéticos y retardando la peroxidación de los ácidos grasos presentes en las muestras. Las azafilonas presentaron comportamientos similares a compuestos antioxidantes sintéticos, en cuanto la capacidad de inhibir los radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico) (ABTS⁺) y iones superóxido (Yang y col., 2006). Se ha estudiado la utilización de azafilonas y sus derivados como posibles compuestos con potencial efecto protector durante a la disminución de oxígeno (hipoxia) (Li y col., 2018).

La actividad biológica de las azafilonas es dependiente de la estructura química. El potencial antioxidante se atribuye principalmente a dos mecanismos diferentes: la reacción directa entre radicales y los grupos hidroxilo unidos a anillos aromáticos, y la transformación de la molécula en piridonas (Chen y col., 2020). Varios autores reconocen como un paso clave, en la expresión de la actividad biológica de las azafilonas, la producción de compuestos derivados de la 4-piridona. Esta molécula (junto a su tautómero, el piridin-4-ol) se caracterizan por actuar como potentes antioxidantes, dada la reactividad de los grupos vinilo. Si bien, el mecanismo de transformación aún no está del todo esclarecido, se ha demostrado la relación estructura-función de las piridonas obtenidas a partir de las azafilonas (Gao y col., 2013). Los estudios descritos demuestran cómo las azafilonas y sus derivados son capaces de ejercer un efecto antioxidante desde la perspectiva farmacológica, así como en la conservación de alimentos.

Carotenoides

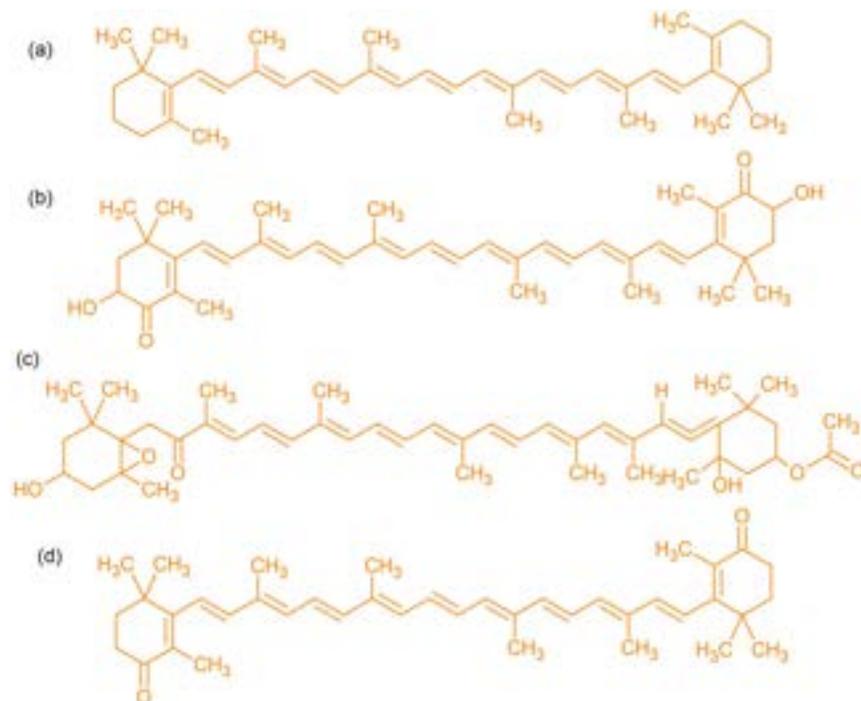
Los carotenoides son pigmentos producidos por organismos fotosintéticos, así como algunas especies de bacterias, hongos y levaduras. A pesar de que ciertos animales marinos son asociados a coloraciones naranjas intensas en sus músculos (salmónidos) o en sus exoesqueletos (crustáceos), dichos organismos son incapaces de sintetizar carotenoides: estos pigmentos son

ingeridos en la dieta (obtenidos de organismos productores en la cadena trófica) y almacenados para su posterior utilización. Se dividen en xantofilas (conteniendo átomos de oxígeno) y carotenos (sin oxígeno en sus estructuras) (Mao-ka, 2011; Sy y col., 2015).

Los carotenoides son compuestos liposolubles, caracterizados por cadenas insaturadas de aproximadamente 40 carbonos, los cuales se distinguen por la presencia de anillos en los carbonos ubicados en los extremos. Generalmente, los carotenoides obedecen a la clasificación de tetraterpenoides, que contienen dobles enlaces conjugados. Estas características estructurales les confieren atributos que hacen a los carotenoides pigmentos versátiles en funcionalidad y aplicación (Sy y col., 2015).

Los principales carotenoides de origen marino con actividad antioxidante reconocida en modelos *in vitro* e *in vivo* son, β -caroteno, fucoxantina, astaxantina y la cantaxantina. La fucoxantina es un carotenoide encontrado en las algas marinas cafés. Se trata de una molécula de 42 carbonos, con 2 anillos en los carbonos extremos de la cadena hidrocarbonada central. La presencia de un grupo epóxido y de un grupo carbonilo conjugado, en una cadena de polieno, confiere a la fucoxantina la capacidad de interactuar con los radicales libres, previniendo el daño que estos podrían desencadenar (Figura 1).

La fucoxantina obtenida de tres diferentes algas cafés (*Fucus serratus*, *Fucus vesiculosus* y *Laminaria digitata*) fue evaluada en función su actividad antioxidante por Sathasivam y Ki, 2018. Estos autores determinaron la actividad de inhibición del radical DPPH y la actividad quelante del ion hierro Fe²⁺. Si bien la fucoxantina tenía una actividad inhibitoria de DPPH menor que la del butilhidroxitolueno (BHT), demostró una actividad similar a la del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en la actividad quelante del hierro. La actividad antioxidante de la fucoxantina también se ha demostrado en modelos alimentarios. En la emulsión de agua y aceite de pescado al 5 %, en presen-



■ **Figura 1. Estructura química del betacaroteno (a), astaxantina (b), fucoxantina (c) y cantaxantina (d).**
Figure 1. Chemical structure of beta-carotene (a), astaxanthin (b), fucoxanthin (c) and canthaxanthin (d).

cia de hierro como inductor de oxidación, la fucoxantina mostró una mayor actividad antioxidante en comparación con el BHT, con niveles bajos de productos volátiles y reducción de la pérdida de tocoferol como medida de la oxidación.

También se ha evaluado la actividad antioxidante de la fucoxantina obtenida de la microalga *Phaeodactylum tricornutum*, por los métodos de inhibición de DPPH, peróxido de hidrógeno y eliminación del radical superóxido. Se encontró que la fucoxantina era más potente como antioxidante que el ácido ascórbico, butilhidroxianisol y tocoferol (Kawee-ai y col., 2013).

Entre los carotenoides de origen marino más representativos y de los que se reconoce una gran variedad de actividad biológica, destaca la astaxantina. Estructuralmente hablando, es una molécula que se compone de áreas polares (anillos localizados en los extremos) y áreas apolares (cadena de carbonos con enlaces insaturados) (Figura 1). La actividad antioxidante de la astaxantina se debe a la combinación de estas

dos áreas, las cuales permiten una interacción con los radicales y una capacidad de remover electrones de alta energía (Dose y col., 2016). Otra característica remarcable es la capacidad de mantener su estructura química, aún si ya participó en reacciones redox con radicales libres. Se reconoce a la astaxantina como un potente antioxidante, de hasta 10 veces mayor actividad, en comparación con otros carotenoides (Gammone y col., 2015).

El potencial de inhibición de radicales se ha logrado establecer con el DPPH, ABTS⁺ y ensayos de extinción de oxígeno singlete (¹O₂). El cual está vinculado con la generación de especies reactivas y radicales libres, así como con reacciones de oxidación celular y la prevención de blanqueo del betacaroteno. Chintong y col. (2019) realizaron la comparación de la actividad antioxidante de luteína, astaxantina, zeaxantina, acetato de tocoferol y ácido ascórbico y establecieron la dosis requerida contra el peróxido de hidrógeno y el radical superóxido de la astaxantina, luteína y zeaxantina, confirmando así la fuerte actividad antioxidante

de las xantofilas (carotenoides con uno o más átomos de oxígeno en su estructura). Desde la perspectiva de actividad antioxidante y su posible efecto en la salud humana, se han medido los efectos protectores de la zeaxantina, astaxantina y luteína contra las células del neuroblastoma humano, contra el daño del ácido desoxirribonucleico (ADN) causado por especies de nitrógeno reactivo (Santocono y col., 2007).

La cantaxantina es un carotenoide del orden de las xantofilas, la cual es un intermediario en la síntesis de astaxantina. Es sintetizada por especies de algas, tales como *Dactylococcus dissociatus*, *Haematococcus pluvialis* y *Chlorella zofungiensis*, por mencionar algunas. En la actualidad, este pigmento se utiliza como aditivo y como suplemente alimentario, dada la evidencia que demuestra su actividad antioxidante (Venugopalan y col., 2013). La isomerización geométrica se sugiere como un factor que impacta sobre la actividad captadora de radicales libres de la cantaxantina. Se ha demostrado que la 9-Z-cantaxantina es más eficaz que la E-cantaxantina total para inhibir a los radicales superóxido (Figura 1).

Además, la cantaxantina es un potente antioxidante lipofílico, que logra inhibir y “neutralizar” el oxígeno singlete, capaz de eliminar las especies reactivas de oxígeno; sin embargo, es ineficaz para inhibir los radicales libres del anión peroxinitrito (ONOO-) (Chang y col., 2013). Las xantofilas, en particular la astaxantina y la cantaxantina poseen una mayor capacidad antioxidante y para eliminar radicales libres que otros carotenoides, como el licopeno y el betacaroteno. Estas capacidades se atribuyen al grupo ceto, en conjugación con el esqueleto de polieno, al cual se considera que estabiliza los radicales centrados en carbono de manera más efectiva que el esqueleto de polieno por sí solo (Sy y col., 2015).

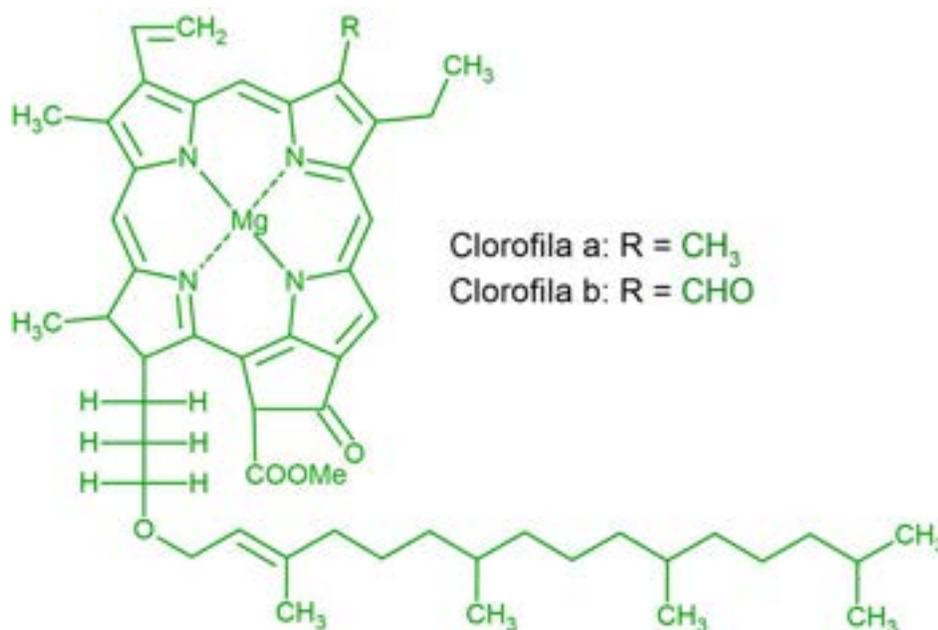
La capacidad antioxidante de la cantaxantina se ha determinado tanto en análisis *in vitro* como en estudios *in vivo*, mediante el empleo de cultivos celulares. La suplementación con cantaxantina resultó ser capaz de provocar efec-

tos moduladores sobre la peroxidación de lípidos y las actividades de las enzimas antioxidantes, en ratas que recibieron una dieta alta en grasa y colesterol. Estos hallazgos sugieren que la cantaxantina alteró el equilibrio prooxidativo/antioxidante y redujo el estrés oxidativo inducido por el colesterol, al modular los mecanismos de defensa antioxidantes endógenos (Shih y col., 2008).

Clorofilas

Las clorofilas son un grupo de pigmentos sintetizados por organismos productores en la cadena trófica (plantas y algas). Su principal función es permitir la utilización de la energía proveniente de la luz solar, para llevar a cabo procesos metabólicos donde se requiere gasto energético. Las clorofilas se dividen en función de su estructura química y la variación de sus sustituyentes, siendo las más comunes la clorofila *a* y la *b*, pero existen también la clorofila *c1*, *c2*, *d* y *f*. De manera general, se caracterizan por la presencia de un quinto anillo más allá de los cuatro anillos pirrol. La mayoría de las clorofilas se clasifican como clorinas, que son compuestos reducidos de las porfirinas. Tienen un átomo de magnesio unido al centro de los anillos aromáticos. El anillo de clorina puede tener varias cadenas laterales, que generalmente incluyen una cadena larga de fitol, un alcohol diterpénico acíclico (Nagini y col., 2015). Para ejemplificar lo anteriormente descrito, se muestra la Figura 2.

La capacidad antioxidante de la familia de clorofilas *a* es significativamente mayor que la de la familia *b*; a su vez, los derivados libres de metales (solamente los esqueletos carbonados) exhiben una menor actividad antirradical que los metalo-derivados (Hsu y col., 2013). El mecanismo antirradical propuesto de estos pigmentos de clorofila está basado en dos arreglos estructurales: el radical catión π en la estructura de la porfirina y la presencia de iones metálicos quelados. El primero contribuye a la donación eficaz de electrones para romper la reacción en cadena y el segundo acentúa esta capacidad mediante la concentración de la densidad de electrones hacia el metal delimitado



■ **Figura 2. Estructura química de las clorofilas a y b.**
Figure 2. Chemical structure of chlorophylls a and b.

central y contra las cadenas hidrocarbonadas de la porfirina (Başkan y col., 2013).

La capacidad antioxidante de las clorofilas puede ser explicada desde dos mecanismos distintos: debido a la interrupción de la reacción en cadena de la peroxidación, por la interacción directa con radicales oxigenados (peroxi, alcoxi), y por otro lado, la posible descomposición de los hidroperóxidos. Experimentalmente, se probó la última teoría utilizando hidroperóxidos del ácido linoleico, en combinación con clorofila y feofitina (Rigane y col., 2013). Ninguno de los dos compuestos fue capaz de descomponer los hidroperóxidos, demostrando que el efecto antioxidante debe estar mediado por la interacción con los radicales. Utilizando el radical DPPH, se encontró que la clorofila tiene la capacidad de donar átomos de hidrógeno, como su método de actividad antirradical. La evidencia demostró que la clorofila a fue capaz de neutralizar al DPPH, pero no de detener la oxidación mediada por radicales peroxilo. Estos hallazgos demuestran que la clorofila a, así como la feofitina, actúan como antioxidantes en etapas iniciales de la peroxidación (Fernandes y col., 2017).

La capacidad de actuar como agente antioxidante, evaluada a través del método de DPPH, se incrementó a medida que se encontraban en el medio una mayor cantidad de microalgas. En otro estudio, se observó que la fracción de clorofila obtenida de la *Phormidium autumnale* resultó ser 200 veces más potente que el α -tocoferol para captar los radicales peroxilo (Hsu y col., 2013).

En las clorofilas, aunque son reconocidas como agentes antioxidantes, también existe evidencia que establece su efecto prooxidante en aceites, a través del mecanismo de la formación del oxígeno singlete. El rol dual de las clorofilas depende, en gran parte, de la presencia de luz, dada la función original de la clorofila de aprovechar la luz solar como fuente de energía (Rigane y col., 2013).

Polihidroxi-naftoquinonas

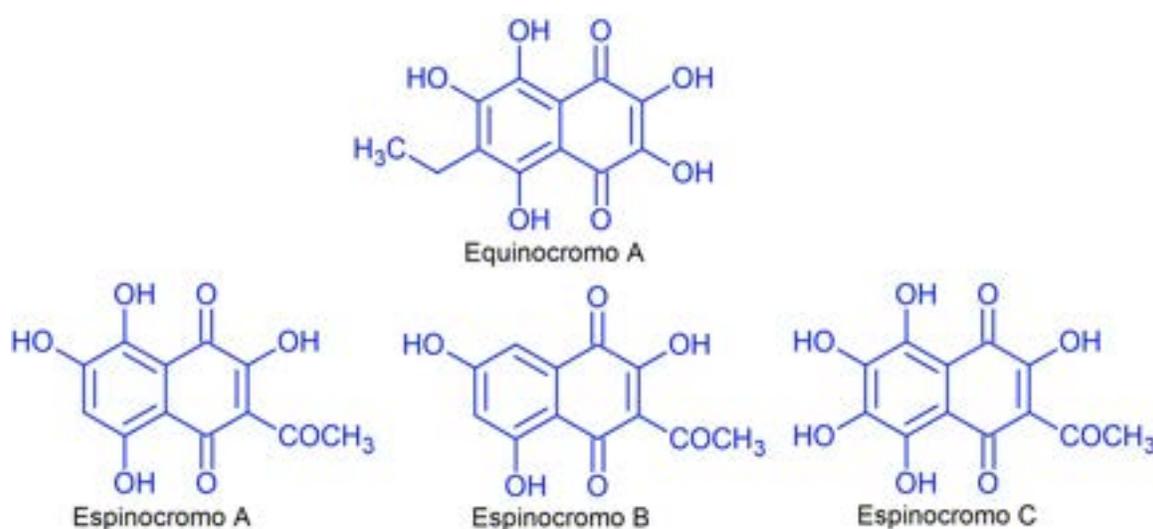
Los pigmentos del grupo de las polihidroxi-naftoquinonas (PHNQ) son compuestos encontrados en diversas especies marinas, principalmente erizos de mar. Se les suele dividir en equinocromos y espinocromos, siendo los primeros aislados de órganos internos y los últi-

mos son encontrados en las espinas y conchas de los erizos de mar (Hou y col., 2020a). Los espinocromos son derivados polihidroxilados de la 5-hidroxi-1,4-naftoquinona (conocida también como juglona) o de la 5,8-dihidroxi-1,4-naftoquinona (naftazarina). Estas moléculas están sustituidas con varios grupos funcionales, como metoxilo, etilo, acetil y amino (Hou y col., 2020a). La estructura de los principales PHNQ, encontrados en especies marinas, se muestra en la Figura 3.

Las estructuras de los PHNQ (con varios grupos OH unidos a anillos aromáticos) pueden actuar como captadores de radicales, la cual es la actividad más abundante reportada para los pigmentos de erizos de mar (Hou y col., 2020b). Un punto por resaltar es que, si bien, estos pigmentos están conformados por compuestos altamente hidroxilados, no todos los grupos OH de estas moléculas actúan como donantes de hidrógeno para eliminar los radicales libres. Así, se ha establecido que, la actividad captadora de radicales de los PHNQ depende, además del número, de la posición de los grupos hidroxilo (Lebedev y col., 2005). En el caso de los pigmentos diméricos, pueden donar 4, 5 y 6 protones, exhibiendo así una mayor capacidad antioxidante, en comparación de los monómeros (Valery y col., 2015).

Soleimani y col. (2016) reportaron que los extractos de pigmentos extraídos de los órganos internos del erizo de mar *Echinometra mathaei* poseían capacidad reductora del ion férrico (FRAP) y de eliminar radicales libres (DPPH), y que su efecto era dependiente de la concentración utilizada en los ensayos. Polonik y col. (2018) establecieron que un radical DPPH elimina un átomo de hidrógeno del grupo hidroxilo de PHNQ, para convertirse en una estructura diamagnética estable. Al obtener dos átomos de hidrógeno secuencialmente, PHNQ se convierte en naftosemiquinona como producto medio y naftotetracetona como producto de reacción final.

Con respecto a la contribución de los grupos hidroxilo, sobre la actividad antioxidante de los PHNQ, se evaluó la capacidad antioxidante de la 2-metil-1,4-naftoquinona (carente de grupos hidroxilo en la molécula) contra la peroxidación lipídica microsomal, en presencia de NADPH. Los resultados reportados sugieren que no solo los grupos hidroxilo, sino también otros factores, podrían estar involucrados en la actividad antioxidante de los pigmentos de naftoquinona del exoesqueleto de erizo de mar (Zhou y col., 2011). Si bien, algunos grupos hidroxilo fenólicos presentes en los pigmentos, así, como,



■ Figura 3. Estructura química de las principales polihidroxi-naftoquinonas encontradas en organismos marinos.

Figure 3. Chemical structures of the main polyhydroxynaphthoquinones found in marine organisms.

en otros polifenoles antioxidantes, deben jugar un papel importante en las propiedades antioxidantes observadas en este estudio; la sustitución de grupos hidroxilo por metoxilos en la molécula de naftoquinona provoca un cambio en la actividad antioxidante. Recientemente se ha demostrado que los PHNQ aminados son más potentes antioxidantes que sus análogos hidroxilados (Li y col., 2013).

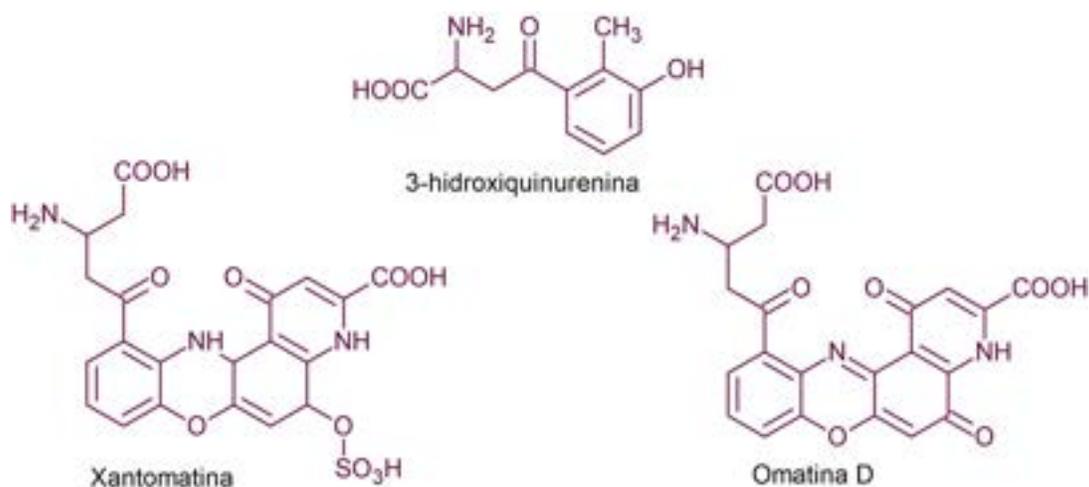
Omocromos

Los omocromos son pigmentos sintetizados por invertebrados, como crustáceos insectos y cefalópodos (Shamim y col., 2014). Su estructura química es parte del grupo tricíclico de compuestos y tiende a solubilizarse en ácidos y álcalis (Figura 4). La síntesis de omocromos proviene del triptófano, el cual se considera tóxico en altas concentraciones, y está relacionada con proceso de eliminación. Este aminoácido se metaboliza a través de la vía metabólica de la quinurenina y la 3-hidroxiquinurenina hasta ser transformado en omocromos (Shamim y col., 2014; Dontsov y col., 2020a).

Debido a su naturaleza, los omocromos son pigmentos fotoprotectores. Los tejidos más afectados por la luz son los dérmicos y los oculares, principalmente porque la peroxidación lipídica ocurre con mayor frecuencia en las células sensibles a la radiación. Los omocromos

pueden actuar como antioxidantes y el mecanismo antioxidante que pueden llevar a cabo sigue una de las siguientes alternativas: unir metales y ejercer actividad quelante, y pueden actuar como antioxidantes primarios al eliminar los radicales, como los aniones superóxido y el oxígeno singlete (Dontsov y col., 2020b).

La actividad antioxidante de los omocromos contra la oxidación de la cardiolipina ha sido demostrada. Utilizando extractos de pigmentos visuales, específicamente omocromos (omocromos de alto peso molecular), se evaluó su efecto sobre la oxidación mediada por hierro de la cardiolipina, en el crustáceo *Mysis relicta*. El mecanismo está relacionado con el efecto quelante de los omocromos contra la oxidación mediada por hierro, porque su forma ferrosa es un conocido estimulador de la peroxidación lipídica (Dontsov y col., 1999). Para observar y determinar los factores que impactan en la síntesis de omocromos, se compararon las poblaciones de crustáceos de mar y lago (*Mysis relicta*) en función de su estado oxidativo. La formación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, por sus siglas en inglés: Thiobarbituric acid Reactive Substances) fue inversamente proporcional a la concentración de omocromos. Los crustáceos de mar tenían una mayor concentración de omocromos, consistente con su mayor resistencia a la luz brillante. Esta eviden-



■ **Figura 4. Estructura química de los omocromos.**
Figure 4. Chemical structures of ommochromes.

cia establece, además, la relación entre la producción de antioxidantes endógenos y la exposición a la luz (Zak y col., 2013).

Los estudios realizados en la 3-hidroxiquinurenina indican que su papel puede ser dual (agente pro-oxidante, y a su vez, protector). Ramírez-Ortega y col. (2017) reportaron que esta molécula logró proteger los adipocitos contra la peroxidación lipídica y el daño celular inducido mediado por sulfato de cobre. La presencia de la 3-hidroxiquinurenina y el ácido 3-hidroxi-antranílico causaron una disminución del 70 % de la oxidación del glutatión, en comparación con el grupo control. El mecanismo que sigue este precursor de omocromos es posiblemente a través de una interacción directa en las reacciones en cadena que generan los radicales libres.

A través de métodos de predicción computarizada, se estimó la actividad antioxidante de los omocromos. Se encontró que todos los omocromos evaluados eran donantes de electrones, aunque era factible llevarse a cabo solo con la quinurenina, la 3-hidroxiquinurenina y omatina D. Para el mecanismo de transferencia de átomos de hidrógeno, el mejor antioxidante se estimó sería la omatina D (Romero y Martínez, 2015).

Con respecto a la aplicación de los omocromos, se ha logrado observar el efecto de los pigmentos de piel de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en la estabilidad y vida de anaquel de pescado fresco, donde se estableció cómo estos pigmentos, con actividad antioxidante, lograban prolongar la frescura de filetes de merluza y caballa (Ezquerro-Brauer y col., 2017). También se ha mostrado su eficacia en la prevención de la oxidación de aceite de pescado, evaluada con los parámetros de dienos conjugados, peróxidos y TBARS (Aubourg y col., 2016). De igual manera, estos extractos se incluyeron en la formulación de paté de atún, donde la adición de los mismos logró mantener la calidad y estabilidad oxidativa de las muestras donde fueron añadidos los omocromos de calamar gigante (Chan-Higuera y col., 2019a). Para establecer la molé-

cula responsable de la actividad antioxidante observada por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP, se fraccionó y se caracterizaron químicamente los compuestos presentes en los pigmentos de piel de calamar gigante (*Dosidicus gigas*). A través de métodos espectrofotométricos, se logró identificar al omocromo xantomatina, una molécula del grupo de las omatinas (Chan-Higuera y col., 2019b).

Los pigmentos, como azafilonas, carotenoides, clorofilas, polihidroxi-naftoquinonas y omocromos, derivados de organismos marinos como erizos, calamares, algas marinas, bacterias y hongos, a pesar de tener diferentes mecanismos de acción, se les reconoce una potente actividad antioxidante (Lebedev y col., 2005; Baskan y col., 2013; Chang y col., 2013; Chen y col., 2017; Chan-Higuera y col., 2019b). La aplicación e interpretación de esta información permitiría determinar con mayor precisión su posible aplicación en la industria, al sustituir a algunos de los antioxidantes sintéticos utilizados en la actualidad.

CONCLUSIONES

En la búsqueda de nuevos métodos de supervivencia, los organismos marinos han desarrollado la capacidad de sintetizar compuestos que ayuden en mantener su existencia en ambientes hostiles. Actualmente, son estos mismos compuestos los que están siendo aprovechados, por sus actividades biológicas, como agentes terapéuticos frente a enfermedades asociadas al estrés oxidativo, así como representar alternativas de origen natural a los conservadores y aditivos alimentarios. Los pigmentos de organismos marinos representan opciones prometedoras en áreas como la farmacéutica, la alimentaria y la cosmética, principalmente por su actividad antioxidante. Las azafilonas, carotenoides, clorofilas, polihidroxi-naftoquinonas y omocromos, descritos en esta revisión, poseen propiedades que van más allá de la actividad antioxidante y que trastocan la aplicación como agentes quimiopreventivos. En el futuro, las investigaciones podrían ser enfocadas hacia los mecanismos específicos de cada pigmento evaluado, desde la perspectiva particular de la apli-

cación que se está sugiriendo, ya sea como un fármaco, como un aditivo alimentario o un conservador.

REFERENCIAS

- Aubourg, S., Torres-Arreola, W., Trigo, M., and Ezquerra-Brauer, J. (2016). Partial characterization of jumbo squid skin pigment extract and its antioxidant potential in a marine oil system. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 118(9): 1293-1304.
- Başkan, K., Tütem, E., Özer, N., and Apak, R. (2013). Spectrophotometric and chromatographic assessment of contributions of carotenoids and chlorophylls to the total antioxidant capacities of plant foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(47): 11371-11381.
- Chan-Higuera, J., Ezquerra-Brauer, J., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Rizzitano, R., and Carbonell-Barrachina, A. (2019a). Evaluation of *Dosidicus gigas* skin extract as an antioxidant and preservative in tu-na pâté. *Foods*. 8(12): 693.
- Chan-Higuera, J., Santacruz-Ortega, H., Carbonell-Barrachina, A., Burgos-Hernández, A., Robles-Sánchez, R., Cruz-Ramírez, S., and Ezquerra-Brauer, J. (2019b). Xanthommatin is behind the antioxidant activity of the skin of *Dosidicus gigas*. *Molecules*. 24(19): 3420.
- Chang, C., Chang, C., and Lai, G. (2013). Reactive oxygen species scavenging activities in a chemiluminescence model and neuroprotection in rat pheochromocytoma cells by astaxanthin, betacarotene, and canthaxanthin. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. 29(8): 412-21.
- Chen, C., Tao, H., Chen, W., Yang, B., Zhou, X., Luo, X., and Liu, Y. (2020). Recent advances in the chemistry and biology of azaphilones. *RSC Advances*. 10(17): 10197-10220.
- Chen, W., Chen, R., Liu, Q., He, Y., He, K., Ding, X., ..., and Chen, F. (2017). Orange, red, yellow: biosynthesis of azaphilone pigments in *Monascus* fungi. *Chemical Science*. 8(7): 4917-4925.
- Chintong, S., Phatvej, W., Rerk-Am, U., Waiprib, Y., and Klaypa-drit, W. (2019). *In vitro* antioxidant, antityrosinase, and cytotoxic activities of astaxanthin from shrimp waste. *Antioxidants*. 8(5): 128.
- Dontsov, A., Fedorovich, I., Lindström, M., and Ostrovsky, M. (1999). Comparative study of spectral and antioxidant properties of pigments from the eyes of two *Mysis relicta* (Crustacea, Mysidacea) populations, with different light damage resistance. *Journal of Comparative Physiology B*. 169(3): 157-164.
- Dontsov, A., Sakina, N. L., Yakovleva, M. A., Bastrakov, A. I., Bastrakova, I. G., Zagorinsky, A. A., ..., and Ostrovsky, M. A. (2020a). Ommochromes from the compound eyes of insects: physicochemical properties and antioxidant activity. *Biochemistry (Moscow)*. 85(6): 668-678.
- Dontsov, A., Ushakova, N., and Sadykova, V. (2020b). Ommochromes from *Hermetia illucens*: isolation and study of antioxidant characteristics and antimicrobial activity. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 56(1): 91-95.
- Dose, J., Matsugo, S., Yokokawa, H., Koshida, Y., Okazaki, S., Seidel, U., ..., and Esatbeyoglu, T. (2016). Free radical scavenging and cellular antioxidant properties of astaxanthin. *International Journal of Molecular Sciences*. 17(1): 103.
- Ezquerra-Brauer, J. and Aubourg, S. (2019). Recent trends for the employment of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) by-products as a source of bioactive compounds with nutritional, functional and preservative applications: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 54(4): 987-998.
- Ezquerra-Brauer, J., Miranda, J., Chan-Higuera, J., Barros-Velázquez, J., and Aubourg, S. (2017). New icing media for quality enhancement of chilled hake (*Merluccius merluccius*) using a jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97(10): 3412-3419.
- Fernandes, A. S., Nogara, G. P., Menezes, C. R., Cichoski, A. J., Mercadante, A. Z., Jacob-Lopes, E., and Zepka, L. Q. (2017). Identification of chlorophyll molecules with peroxy radical scavenger capacity in microalgae *Phormidium autumnale* using ultrasound-assisted extraction. *Food Research International*. 99(3): 1036-1041.
- Gammone, M., Riccioni, G., and D'Orazio, N. (2015). Marine carotenoids against oxidative stress: effects on human health. *Marine Drugs*. 13(10): 6226-6246.
- Gao, J., Yang, S., and Qin, J. (2013). Azaphilone: chemistry and biology. *Chemical Reviews*. 113(7): 4755-811.
- Hou, Y., Carne, A., McConnell, M., Bekhit, A., Mros, S., Amagase, K., and Bekhit, A. (2020a). *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities, and *in vivo* anti-inflammatory activity of crude and fractionated PHNQs from sea urchin (*Evechinus chloroticus*). *Food Chemistry*. 316: 126339.
- Hou, Y., Carne, A., McConnell, M., Mros, S., Bekhit, A., and Bekhit, A. (2020b). Macroporous resin extraction of PHNQs from *Evechinus chloroticus* sea urchin and their *in vitro* antioxidant, anti-bacterial and *in silico* anti-inflammatory activities. *LWT*

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento y apoyo para la realización del presente, a través del proyecto 2174.

– *Food Science and Technology*. 131: 109817.

Hsu, C., Chao, P., Hu, S., and Yang, C. (2013). The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins. *Food and Nutrition Sciences*. 4(8): 1-8.

Jia, Q., Du, Y., Wang, C., Wang Y., Zhu, T., and Zhu, W. (2019). Azaphilones from the marine sponge-derived fungus *Penicillium sclerotiorum*. *Marine Drugs*. 17(5): 260.

Kawee-ai, A., Kuntiya, A., and Kim, S. M. (2013). Anticholinesterase and antioxidant activities of fucoxanthin purified from the microalga *Phaeodactylum tricornutum*. *Natural Product Communications*. 8(10): 1381-1386.

Lebedev, A., Ivanova, M., and Levitsky, D. (2005). Iron chelators and free radical scavengers in naturally occurring polyhydroxylated 1,4-Naphthoquinones. *Hemoglobin*. 32(1-2): 165-179.

Li, D., Zhou, D., Zhu, B., and Mao, L. (2013). Extraction, structural characterization and antioxidant activity of polyhydroxylated 1, 4-naphthoquinone pigments from spines of sea urchin *Glyptocidaris crenularis* and *Strongylocentrotus intermedius*. *European Food Research and Technology*. 237(3): 331-339.

Li, T., Liu, R., Wang, X., Luo, J., Luo, J., Kong, L., and Yang, M. (2018). Hypoxia-Protective Azaphilone Adducts from *Peyronella glomerata*. *Journal of Natural Products*. 81(5): 1148-1153.

Maoka, T. (2011). Carotenoids in marine animals. *Marine Drugs*. 9(2):278-293.

Miyanga, A. (2017). Structure and function of polyketide biosynthetic enzymes: various strategies for production of structurally diverse polyketides. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 81(12): 2227-2236.

Nagini, S., Palitti, F., and Natajara, A. (2015). Chemopreventive potential of chlorophyllin: A review of the mechanisms of action and molecular targets. *Nutrition and Cancer*. 67(2): 203-11.

Polonik, N., Sabutskii, Y., and Polonik, S. (2018). Free radical scavenging activity of synthetic and naturally occurring polyhydroxy-, aminohydroxynaphthazarins and related compounds. *Natural Product Communications*. 13(10): 1319-1322.

Ramírez-Ortega, D., Salazar, A., González-Esquivel, D., and Ríos, C. (2017). 3-Hydroxykynurenine and 3-Hydroxyanthranilic acid enhance the toxicity induced by Copper in rat astrocyte culture. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2017: 2371895.

Rigane, G., Bouaziz, M., Sayadi, S., and Salem, R. (2013). Effect of storage on refined olive oil composition: stabilization by addition of chlorophyll pigments and squalene. *Journal of Oleo Science*. 62(12): 981-987.

Romero, Y. and Martínez, A. (2015). Antiradical capacity of omochromes. *Journal of Molecular Modeling*. 21(8): 2773.

Santocono, M., Zurria, M., Berrettini, M., Fedelli, D., and Falcioni, G. (2007). Lutein, zeaxanthin and astaxanthin protect against DNA damage in SK-N-SH human neuroblastoma cells induced by reactive nitrogen species. *Journal of Photochemistry and Photo-*

biology. B, Biology. 88(1): 1-10.

Sathasivam, R. and Ki, J. S. (2018). A review of the biological activities of microalgal carotenoids and their potential use in healthcare and cosmetic industries. *Marine Drugs*. 16(1): 26.

Shamim, G., Ranjan, S., Pandey, D., and Ramani, R. (2014). Biochemistry and biosynthesis of insect pigments. *European Journal of Entomology*. 111(2): 149-164.

Shih, C., Chang, J., Yang, S., Chou, T., and Cheng, H. (2008). Beta-Carotene and canthaxanthin alter the pro-oxidation and antioxidant balance in rats fed a high-cholesterol and high-fat diet. *The British Journal of Nutrition*. 99(1): 59-66.

Soleimani, S., Yousefzadi, M., Moein, S., and Rezadoost, H. (2016). Identification and antioxidant of polyhydroxylated naphthoquinone pigments from sea urchin pigments of *Echinometra mathaei*. *Medicinal Chemistry Research*. 25(7): 1476-1483.

Sy, C., Dangles, O., Borel, P., and Caris-Veyrat, C. (2015). Interactions between carotenoids from marine bacteria and other micronutrients: impact on stability and antioxidant activity. *Marine Drugs*. 13(11): 7020-7039.

Valery, G., Berdyshev, D., and Novikov, V. (2015). DFT study of mechanisms of the antioxidant effect of natural polyhydroxy-1, 4-naphthoquinones. Reactions of echinamines A and B, metabolites of sea urchin *Scaphechinus mirabilis*, with hydroperoxyl radical. *Russian Chemical Bulletin*. 63(9): 1993-1999.

Venugopalan, V., Tripathi, S., Nahar, P., Saradhi, P., Das, R., and Gautam, H. (2013). Characterization of canthaxanthin isomers isolated from a new soil *Dietzia* sp. and their antioxidant activities. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 23(2): 237-245.

Wu, H. C., Cheng, M. J., Wu, M. D., Chen, J. J., Chen, Y. L., Chang, H. S., and Chen, K. P. (2018). Secondary metabolites from the fermented rice of the fungus *Monascus purpureus* and their bioactivities. *Natural Product Research*. 33(24): 3541-3550.

Yang, J., Tseng, Y., Lee, Y., and Mau, J. (2006). Antioxidant properties of methanolic extracts from monascal rice. *LWT – Food Science and Technology*. 39(7): 740-747.

Zak, P., Lindström, M., Demchuk, J., and Donner, K. (2013). The eye of the opossum shrimp *Mysis relicta* (Crustacea, Mysidae) contains two visual pigments located in different photoreceptor cells. *Doklady Biological Sciences*. 449(1): 68-72.

Zhou, D., Qin, L., Zhu, B., and Wang, X. (2011). Extraction and antioxidant property of polyhydroxylated naphthoquinone pigments from spines of purple sea urchin *Strongylocentrotus nudus*. *Food Chemistry*. 129(4): 1591-1597.