

# Handbook T-IX

## CIERMMI Mujeres en la Ciencia Biología

**MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel**  
**OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel**  
**CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo**  
**BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica**

*Coordinadores*

# ECORFAN®

## **Coordinadores**

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD  
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel. PhD  
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. BsC  
BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica. BsC

## **Editor en Jefe**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

## **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

## **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

## **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

## **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

## **Asistente Editorial**

SERRUDO-GONZÁLES, Javier. BsC

## **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

## **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8695-34-8

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control HCS: 2020-05

Clasificación HCS (2020): 051120-0405

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCS es parte de los medios de ECORFAN ([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## **Handbooks**

### **Definición de Handbooks**

#### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología e Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

#### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Handbooks es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

JIMÉNEZ - MOLEÓN, María Del Carmen. PhD  
Universidad de Granada

CARVAJAL - MILLAN, Elizabeth. PhD  
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

LOPEZ - ZAMORA, Leticia. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

MARTÍNEZ - QUIROZ, Marisela. PhD  
Centro de Graduados e Investigación en Química

OROPEZA - GUZMÁN, Mercedes Teresita. PhD  
Institut National Polytechnique de Toulouse

PINA – LUIS, Georgina Esther. PhD  
Universidad de La Habana

HERNÁNDEZ - MARTINEZ, Rufina. PhD  
University of California

SANDOVAL-SALAS Fabiola. PhD  
Institut National Polytechnique de Toulouse

PEREA-LUGO, Adriana. PhD  
Universidad Autónoma de Barcelona

STILIANOVA - STOYTCHEVA, Margarita. PhD  
Universidad de Tecnología Química y Metalurgia de Sofia

## **Comité Arbitral**

CALVA - BENÍTEZ, Laura Georgina  
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

LÓPEZ - URETA, Luz Cecilia. PhD  
Universidad de Guadalajara

CASTAÑÓN - OLIVARES, Laura Rosio. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTRO - CECEÑA, Ana Bertha. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CERTUCHA BARRAGÁN, María Teresa. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

DUARTE - ESCALANTE, Esperanza. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

FRÍAS - DE LEÓN, María Guadalupe. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

GAMBOA-HERNÁNDEZ, Adriana. PhD  
Instituto Tecnológico de Saltillo

HERNANDEZ - HERNANDEZ, Francisca. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

HURTADO - AYALA, Lilia Angélica. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

## **Cesión de Derechos**

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

## **Detección de Plagio**

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Handbooks con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos- Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

# ECORFAN CIERMMI Mujeres en la Ciencia

---

## Volumen IX

---

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. en sus áreas de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Educación, Potencia y Energía, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Aplicaciones Industriales y Comunicaciones, Gestión de la Tecnología en la Industria y en la Educación, Nuevas Tecnologías, Informática, Desarrollo de aplicaciones, Seguridad Informática, Tecnologías de la Información y Comunicación, Mantenimiento Industrial, Subestaciones Eléctricas, Motores Eléctricos, Termografía Infrarroja, Ahorro de Energía, Análisis de Vibraciones, Automatización, Cocinas Solares, Biomasa, Biocombustibles, Sistemas Fotovoltaicos, Celdas de Combustible, Energía Solar, Educación, Generación de Energía, Eléctrica, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica, Sistemas de Información, Energías Renovables, Aplicaciones Computacionales, Instrumentación aplicada a la industria, Telecomunicaciones y protocolos de seguridad. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. Se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Educación.

Para futuros volúmenes:

<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

**Marroquín-De Jesús, Ángel • Olivarez-Ramirez, Juan Manuel • Cruz-Carpio, Luis  
Eduardo • Bautista-Jiménez, Angélica**

Coordinadores

# CIERMMI Mujeres en la Ciencia T-IX Biología

*Handbooks*

Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C.

Noviembre 2020

DOI: 10.35429/H.2020.9.1.147

## Prólogo

La ciencia es incluyente por definición, no hay sexos, no hay razas, no hay creencias, es un mundo objetivo y ético. Un mundo competitivo y colaborativo en que todos nos ayudamos a ser mejores.

La generación de conocimiento es lo que ha marcado la pauta del desarrollo de la humanidad, la generosidad de compartir lo que se aprende permitirá que las futuras generaciones tengan mejores condiciones de vida. Y no hay mayor sinónimo de vida que la palabra “mujer”.

Este compendio es el reflejo de mucho empeño, muchos desvelos y muchos esfuerzos; esfuerzos materializados en artículos científicos desarrollados por profesoras-investigadoras de probado nivel, que laboran en distintas instituciones educativas de nivel superior de nuestro país. Profesionales que han demostrado cabalmente su capacidad y compromiso.

Desde hace varios años he tenido la oportunidad de colaborar con el CIERMMI y lo he visto crecer gracias a su autenticidad y compromiso, así que agradezco profundamente la participación en este Handbook, que no es otra cosa que el reflejo de su esencia científica. Los invito a todos a leerlo, discutirlo y retroalimentarlo, que se convierta en un ejercicio enriquecedor para el crecimiento de todos.

En este 2020 tan convulsionado, es inevitable que nuestra perspectiva humana se haya modificado, así que depende de nosotros que ese viraje de rumbo sea para hacernos crecer y compartir como sociedad.

Mi profundo respeto, mi alma y mi ciencia para todas las colaboradoras, felicitaciones.

*CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita. PhD  
Universidad Autónoma de Campeche.*

## Introducción

El Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. (CIER-QUERÉTARO), y sus capítulos de Energía Renovable, Mantenimiento industrial, Mecatrónica e Informática, patrocinadores técnicos del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2019 tiene como objetivo general establecer un espacio de discusión y reflexión en temas relacionados con las áreas de: energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática con la participación de estudiantes, profesores, investigadores y conferencistas nacionales e internacionales, promoviendo la conformación y consolidación de redes de investigación. Contribuyendo a brindar un espacio de divulgación y debate de las ponencias de estudiantes, egresados, académicos e investigadores, representantes de las distintas instituciones de educación superior y centros de investigación de nuestro país. Promoviendo la conformación de redes de investigación entre diferentes instituciones. Ofreciendo un espacio para los estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y de posdoctorado, en el cual puedan dar a conocer el avance de las investigaciones que llevan a cabo como tesis o trabajos de grado. Brindando un espacio en el cual los grupos de estudios e integrantes de cuerpos académicos, vinculados al programa curricular de las carreras de energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática, den a conocer los trabajos de investigación desarrollados al interior de su institución y en colaboración con otras instituciones educativas nacionales o internacionales. Estableciendo un espacio de capacitación para los (las) asistentes, mediante el desarrollo de ponencias y conferencias específicas.

Este volumen Mujeres en la ciencia TV-2020 contiene 10 Capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de 32 estados de México. Agradecemos a los revisores por su retroalimentación que contribuyeron en gran medida en el mejoramiento de los artículos, para la publicación en estos procedimientos revisando los manuscritos que fueron sometidos.

Como primer capítulo, *Navarro, Pita, Meraz y Santoyo*, presentan Ingesta e indicadores bioquímicos Sericos en ratones adultos expuestos a una dieta alta en grasa por un periodo corto, como segundo capítulo, *Silva*, hablara sobre la Conservación Voluntaria en núcleos agrarios de Oaxaca, México: Participación, costos y beneficios.

Como tercer capítulo *López, Saldaña y Messina* presentan la Capacidad de carga turística en el Parque Nacional Islas Marietas, Nayarit, México, como cuarto capítulo *Pérez, Ortega, Sánchez y Saldaña*, proponen una Efectividad para el control de arvenses en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) mediante la implementación de tapetes agroecológicos, como quinto capítulo *Barrera, Domínguez y Guzmán*, realizan Agua y salud en México: patógenos y legislación, como sexto capítulo *Valencia, García, López y Duarte*, desarrollaron una Caracterización de metabolitos secundarios de *Pouteria campechiana* (H.B.K. 1942), como séptimo capítulo *Gutiérrez y Cervantes*, hablaran de las tendencias en el estudio taxonómico de copépodos de agua dulce de México, como octavo número, *Ruiz, Gutiérrez y Frausto*, presentan el Biodiversidad y vulnerabilidad de Playa del Carmen ante el incremento del nivel medio del mar, como noveno capítulo, *Rodríguez, López, Alpizar y Calixto*, presentan Biopolímeros: de principio a fin y como último capítulo, *Alatamirano*, se enfocan en el uso del mezquite (*Prosopis spp.*) como recurso alimenticio.

*MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel*  
*OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel*  
*CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo*  
*BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica*

*Coordinadores*

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>1 Ingesta e indicadores bioquímicos Sricos en ratones adultos expuestos a una dieta alta en grasa por un periodo corto</b> NAVARRO-MEZA, Mónica, PITA-LOPEZ, María Luisa, MERAZ-MEDINA, Tzintli y SANTOYO-TELLES, Felipe	1-14
<b>2 Conservación Voluntaria en núcleos agrarios de Oaxaca, México: Participación, costos y beneficios</b> SILVA-APARICIO, Marisa	15-32
<b>3 Capacidad de carga turística en el Parque Nacional Islas Marietas, Nayarit, México</b> LOPÉZ-HUIDOBRO, Ana Luisa, SALDAÑA-DURÁN, Claudia E. y MESSINA-FERNÁNDEZ, Sarah	33-49
<b>4 Efectividad para el control de arvenses en palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) mediante la implementación de tapetes agroecológicos</b> PÉREZ-LUNA, Yolanda del Carmen, ORTEGA-RAMÍREZ, Marynor, SÁNCHEZ-ROQUE, Yazmin y SALDAÑA- TRINIDAD, Sergio	50-61
<b>5 Agua y salud en México: patógenos y legislación</b> BARRERA-BERNAL, Clementina, DOMÍNGUEZ-BARRERA, Clemen y GUZMÁN-GUILLERMO, Jorge	62-76
<b>6 Caracterización de metabolitos secundarios de <i>Pouteria campechiana</i> (H.B.K. 1942)</b> VALENCIA-GUTIERREZ, Marvel del Carmen, GARCÍA-RAMÍREZ, María de Jesús, LÓPEZ-MENDEZ, Magnolia del Rosario y DUARTE-UBALDO, Ivonne Esmeralda	77-85
<b>7 Tendencias en el estudio taxonómico de copépodos de agua dulce de México</b> GUTIÉRREZ-AGUIRRE, Martha Angélica y CERVANTES-MARTÍNEZ, Adrián	86-94
<b>8 Biodiversidad y vulnerabilidad de Playa del Carmen ante el incremento del nivel medio del mar</b> RUIZ-RAMÍREZ, Jennifer D., GUTIÉRREZ-AGUIRRE, Martha A. y FRAUSTO-MARTÍNEZ, Oscar.	95-106
<b>9 Biopolímeros: de principio a fin</b> RODRIGUEZ-GOMEZ, Divanery, LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia, ALPIZAR-NEGRETE, Ana Guadalupe y CALIXTO-OLALDE, Ma. Elena	107-129
<b>10 Uso del mezquite (<i>Prosopis spp.</i>) como recurso alimenticio</b> ALTAMIRANO-FORTOUL	130-147

## Capítulo 1 Ingesta e indicadores bioquímicos Sricos en ratones adultos expuestos a una dieta alta en grasa por un periodo corto

### Chapter 1 Food intake and biomedical serum indicators in mice adults exposed high fat diet for a short term

NAVARRO-MEZA, Mónica†\*, PITA-LOPEZ, María Luisa, MERAZ-MEDINA, Tzintli y SANTOYO-TELLES, Felipe

*Department of Health Promotion, Preservation and Development. University Center South (Cusur) University of Guadalajara. Enrique Arreola Silva No. 883, Colonia Centro C.P. 49000. Guzmán City, Jalisco México.*

*Department of Exact Sciences, Technologies and Methodologies. University Center South. University of Guadalajara. Enrique Arreola Silva No. 883, Colonia Centro C.P. 49000. Guzmán City, Jalisco México*

*Department of Basic Health Sciences. University Center South. University of Guadalajara. Enrique Arreola Silva No. 883, Colonia Centro C.P. 49000. Guzmán City, Jalisco México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Mónica, Navarro-Meza* / **ORC ID:** 0000-0003-4290-1977, **CVU CONACYT ID:** 41476.

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *María Luisa, Pita-Lopez* / **ORC ID:** 0000-0003-1300-9920

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Tzintli, Meraz-Medina* / **ORC ID:** 0000-0002-2062-8618, **CVU CONACYT ID:** 131300

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Felipe, Santoyo-Telles* / **ORC ID:** 0000-0003-3854-9405, **CVU CONACYT ID:** 224328.

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.1.14

M. Navarro, M. Pita, T. Meraz y F. Santoyo

monica.navarro@cusur.udg.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

Poco se sabe acerca de los cambios que ocurren en los indicadores bioquímicos en suero asociados con la ingesta de una dieta isocalórica alta en grasa (DAG) y su relación con el comportamiento alimentario por un período de tiempo corto. El objetivo de esta investigación fue evaluar la ingesta, el peso corporal y marcadores en suero: triglicéridos, glucosa y colesterol, en ratones adultos expuestos a DAG por un periodo de tiempo corto. Se trata de un estudio experimental y longitudinal, con un total de 30 ratones (10 por grupo: Dieta Estándar (DE), Dieta Alta en Grasa (DAG), Dieta Baja en Grasa (DBG)), se expusieron durante 5 semanas a la dieta correspondiente. Además, el hígado fue evaluado por la técnica histológica de hematoxilina y eosina, para determinar el porcentaje de microvesículas y macrovesículas de grasa. Los resultados indicaron que en el grupo con DAG presentó una disminución del 37% y 48% en la ingesta calórica y alimento, respectivamente; un incremento del 13% en el peso corporal; además, de una disminución del 34% de glucosa en suero y un aumento de 65% en el porcentaje de microvesículas de grasa en hígado en comparación con el grupo control. En conclusión, se resalta la importancia de considerar el contenido y la calidad de macronutrientes en la dieta. A pesar de que las dietas consumidas por los ratones en esta investigación fueron isocalóricas, la exposición a DAG por un período corto, evidenció una reducción en la ingesta de alimento y en los niveles séricos de glucosa, un incremento en el peso corporal y la presencia de esteatosis hepática. Se sugiere que este modelo experimental podría emplearse para evaluar el efecto de una DAG isocalórica sobre cambios en los niveles de glucosa y triglicéridos séricos, así como el desarrollo de esteatosis hepática y cambios en el comportamiento alimentario en adultos durante un período de tiempo corto. La evaluación de la ingesta de una DAG podría proporcionar una mejor comprensión de los mecanismos metabólicos relacionados con el desarrollo de enfermedades crónicas. Sin embargo, en el campo del comportamiento alimentario se requiere de más investigación, en aspectos fisiológicos, bioquímicos-moleculares y conductuales.

## Dieta alta en grasa, ingesta, adulto, ratón, indicadores séricos, microvesículas de grasa

### Abstract

Little is known about the changes that occur in serum biochemical indicators associated with the intake of a high fat isocaloric diet (HFD) and its relationship with eating behavior for a short term. The objective of this study was to evaluate food intake and serum markers: triglycerides, glucose and cholesterol, in adult mice exposed to HFD for a short term. Experimental and longitudinal study, with 30 mice (10 per group: Standard Diet (DE), HFD Low Fat Diet (LFD), they were exposed for 5 weeks to corresponding diet. Furthermore, the liver was evaluated to determine the percentage of microvesicles and macrovesicles of fat by histological technique (hematoxylin and eosin). The results were: In HFD group, decreased 37% and 48% in caloric and food intake, respectively; 13% increased, body weight; in addition, a 34% decrease glucose and increased triacylglyceride in serum and a 65% increase fat microvesicles in liver compared with control group. In conclusion, its importance considering the content and quality of macronutrients in diet Although the diets consumed by the mice in this research were isocaloric, exposure to HFD in short term evidenced a reduction in food intake and glucose triacylglycerides levels in serum, increase in body weight and hepatic steatosis. It is suggested this model could be used to evaluate the effect of an isocaloric HFD on changes in biomarker in serum, and development of hepatic steatosis in a short term. Assessing HFD intake could provide a better understanding of the metabolic mechanisms related to the development of chronic diseases.

## High fat diet, food intake, adult, mice, serum indicators, fat microvesicles

### 1. Introduction

High fat diet (HFD) represents “*western diet*”, which is associated with the development of metabolic disorders such as obesity and mellitus diabetes (Myles, 2014). Being exposed to HFD influences eating behaviors (Villamil et al., 2018). In a recent study in rats exposed to a long-term HFD induced impairments in glucose tolerance (la Fleur et al., 2011). The western diet and HFD intake also has been showed to modify the biochemical composition and function of high-density lipoproteins (HDL) in mice (Lewis et al., 2004; Mirmiran et al., 2014). Indeed, rats offered a free-choice high-fat, high-sucrose diet exhibited hyperphagic behavior, rapid onset of obesity, and impaired glucose tolerance (la Fleur et al., 2011). Is little evidence evaluating short-term consequences of isocaloric HFD intake and its relationship with peripheral markers such as glucose, triglycerides and cholesterol.

During development of obesity and changes in insulin levels, the liver can suffer modifications that are marked by the deposition of triglycerides in macro and microvesicular fat. Moreover, hypercaloric diet intake increases lipolysis in adipose tissue, modifying triglyceride levels (Blundell et al., 1995).

Nevertheless the mechanism to induce obesity by HFD is still not completely clear. Studies suggest that exposure to high-fat diets can produce behavioral changes before excessive weight gain occurs, mainly affecting food efficiency control mechanisms (Melhorn et al., 2010). Studies show that the intake of high fat diets are related to changes in insulin, with a consequent increase in the score for feeling of hunger and prospective desire to consume food, contributing to increased hyperphagia (Labayen et al., 1999). There is a lack of research-based evidence regarding isocaloric diets which modify the content of macronutrients such as fat and its relation with the consumption of food, is unknown. In this work, adult mice were exposed for short term to an isocaloric diet with HFD, LFD and a standard diet in order to evaluate food intake and development of damage signals at the hepatic level. Its experimental and longitudinal study, where a total of 30 mice (10 per group) were divided into the following groups and treated during 5 weeks: standard diet (SD) group, HFD group and low fat diet (LFD) group. In all groups, food and water intake, serum triglycerides, cholesterol and glucose were determined. In addition, liver was histologically evaluated.

## 1.2 Description of the method

### 1.3 Materials and Methods

#### 1.4 Study design

The methodological procedure for this experimental and longitudinal study is shown in Table 1.1 All procedures were carried out according to the Official Mexican Norm NOM-062-81 ZOO-1999.

**Table 1.1** Experimental Design.

Group	Diet	Registration of food intake	Decapitation
1 (n=10)	Standard		
2 (n=10)	HFD		
3 (n=10)	LFD		
Length of study		35days	Tissue samples from the hippocampus and liver were obtained in order to determine the genetic expression of the insulin receptor in the hippocampus and for the histological analysis of the liver
Scheduled registration of food intake and water (every 12 hours dark-light cycle)		7am (dark) 7pm (light)	

Three study groups were included: Group 1 mice with a standard diet, Group 2 mice with a HFD and Group 3 with a LFD. The length of the study period was 35 days and the scheduled registration of food intake and water was every 12 hours in a dark-light cycle (7am/7pm). Tissue samples of liver for histological analysis respectively.

#### 1.5 Subjects

The animal subjects were 30 male Bald/c mice, which were divided into three groups:

Group 1 (standard diet) was formed by n=10 mice with an average weight of (23±4g); Group 2 (HFD) was formed by n=10 mice with an average weight of (22±3g) and exposed to HFD that was composed of 26.2 % protein, 26.3 % carbohydrate and 34.9 % fat (D12492) Research diet; Group 3 LFD was formed by n=10 mice with an average weight of (22±3g) and exposed to a LFD composed of 19.2 % protein, 67.3 % carbohydrate and 4.3 % fat (D12450B) Research diet. All of the study groups were exposed to their corresponding diets ad libitum during the days (length of the experiment).

In table 1.2, the macronutrient and micronutrient content of diets for each study group is described.

**Table 1.2** Composition of diets

Diet	Kcal/gr	Macronutrients		
		Carbohydrates	Fats	Proteins
<b>Standard</b>	4.07	57.99%	13.49%	28.50%
<b>High Fat Diet (HFD)</b> <b>(D12492) Research diet</b>	4.07	26%	34.9%	26%
<b>Low Fat Diet (LFD)</b> <b>(D12450B2) Research diet</b>	4.07	63.3%	19.3%	4.3%

*Note: The Standard (SD), Low Fat Diet (LFD) and High Fat Diet (HFD) content based on kilocalorie per gram of meal and macronutrients percentage*

## 1.6 Materials

Three boxes measuring 21cm height, 23.5 cm width, and 38cm length with a metal grid to cover the box and divide food and water were used to feed the Babl/c mice. The bottom of the box was covered with sawdust, which was replaced every three days.

## 1.7 Experimental period

The experimental study was performed for a 7-day period to allow adaptation and 35-day (5 weeks) non-stop period to conduct the registration of the data.

## 1.8 Procedure

Ten mice were located per box (three groups) and they were kept inside for 7 days to allow the adaptation period; providing water and food to each group. Once the adaptation period was over, for 35 days the quantities of food and liquids during the consumption period were recorded as well as the body weight by using the *A&D Weighing serie GF-3000* scale. Food intake was registered twice a day (7pm and 7am), and body weight of each animal subject was registered every 24 hours. Afterwards, the mice were decapitated to obtain the brain and the liver. Once the organs were properly prepared to be stored, their weight was recorded so that the evaluation of the relationship between the organ and body weight could be drawn.

## 1.9 Food intake and body weight

To register body weight and food intake a precision scale (*A&D Weighing GF-3000*) was used. The high and low fat content diets were taken from the Research Diet Laboratory, and Rodent Laboratory Chow 5001 by Purina was defined to be the standard diet. Table 2 shows the nutritional content of the three diets included in this study. All mice were given purified water ad libitum. The diet specifications for Group 2, mice exposed to a HFD, included the (D12492) Research diet and Group 3, mice exposed to a LFD, included the (D12450B) Research diet for 35 days. In addition to peripheral markers, an extraction of body fat and tissues (liver) was performed with dissection materials. In order to maintain liver samples, a *Revco Thermo Fisher Scientific ULT1786-4-A47* container was needed as well as plastic containers with 4% formaldehyde, respectively. In order to prepare the formaldehyde, dibasic sodium phosphate anhydrous, sodium phosphate monobasic monohydrate, distilled water and paraformaldehyde were used. Sodium hydroxide (NaOH) was used to adjust the pH.

## 1.10 Determination of serum levels of triglycerides, glucose, total cholesterol, and high and low density lipoproteins

To determine levels of glucose, cholesterol and triglycerides, serum samples were stored at -80°C after the extraction and centrifugation of the blood.

To determine the values of glucose and the lipid profile, the following commercial kits from Spinreact were used: Glucose-LQ Ref: 41010, Cholesterol-LQ Ref: 41020, Triglycerides-LQ Ref: 41030 Ctra. Santa Coloma, Spain; the procedures given by the manufacturer were followed, and the readings were obtained by spectrophotometry using a colorimetric method.

### 1.11 Histological analysis

Once the livers extracted and weighed, the organs were fixed with 4% formaldehyde by applying a hematoxylin eosin technique for the histological analysis. Briefly, livers were embedded in paraffin and 3 micron coronal slices were made with a rotation microtome (*Leica DSCI*). These layers of liver were placed on slides to perform a staining of hematoxylin and eosin; paraffin sections were deparaffinized in xylol and rehydrated in ethanol in decreasing concentrations and then immersed in distilled water for 3 minutes; the staining process took 10 minutes and the dehydration in ethanol took place in increasing concentrations. The final clearing stage was performed with xylol. In order to determine hepatic damage by morphologic changes, cells were analyzed and the number of macrovesicular and microvesicular fat in liver cells as well as necrosis and inflammation values were obtained.

These results are shown in Table 1.3. Histological System Scoring System, and data are expressed as the percentage of cells with normal and abnormal morphology.

**Table 1.3** Histological damage scoring system

	Standard Diet %	HFD (D12492)g	LFD (D12450B)g
Casein		200	200
L Cystine		3	3
Corn Starch	31.9%	0	315
Maltrodextrin		125	35
Sucrose	3.7%	68.8	350
Cellulose		50	50
Soybean Oil		25	25
Lard		245	20
Mineral Mix	9.05%	10	10
Calcium Phosphate	0.95%	13	13
Calcium Carbonate		5.5	5.5
Potassium Citrate	1.18%	16.5	16.5
Vitamin Mix	293ppm	10	10
Choline Bitartrate	2250ppm	2	2
Cholesterol (mg/kg)	200ppm	300.8	51.6
Glucose	0.22%		
Fructose	0.30%		
Sucrose	3.70%		
Lactose	2.01%		
Fatty Acids	1.60%		

*Note: Adapted from (Morgan et al., 2008)*

Morgan, K., Uyuni, A., Nandgiri, G., Mao, L., Castaneda, L., Kathirvel, E., & Morgan, T. R. (2008). Altered expression of transcription factors and genes regulating lipogenesis in liver and adipose tissue of mice with high fat diet-induced obesity and nonalcoholic fatty liver disease. *European journal of gastroenterology & hepatology*, 20 (9), 843-854

### 1.12 Ethical considerations

The animals used in this experiment were held under controlled dark/light environmental conditions with ventilation and in cages that were suitable and clean. The procedures were carried out under the Official Mexican Norm NOM-062-ZOO-1999, which points out techniques for their reproduction, care and use of laboratory animals.

### 1.13 Statistical analyses

Statistical analyses were carried out using a SPSS software (version 19) and the values of  $p < 0.05$  were considered significant. Finally, to prove the normality of the chemical variables, the Kolmogorov-Smirnov test was used ( $p > 0.05$ ). The relationship between biochemical parameters (the levels of glucose, cholesterol and triglycerides) and eating parameters was carried out by the F-Fisher distribution with a post-hoc test.

### 1.14 Results

#### Food intake

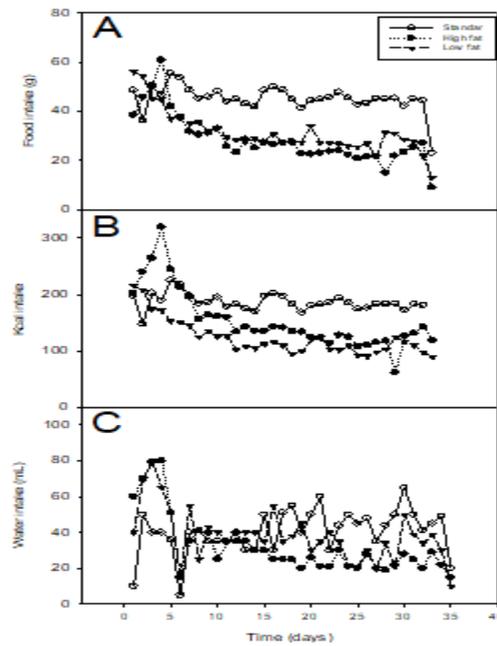
Food intake was recorded during light/dark cycles, as well as every 24 hours. The group that was provided with a HFD [Group 2] ( $29.8 \pm 1.9$ g) consumed less food when compared to the group with a standard diet [Group 1] ( $47 \pm 1.9$ g) ( $p > 0.05$ ) and also when compared with the LFD group (Group 3) ( $33.3 \pm 1.1$ g) ( $p > 0.05$ ). (Figure 1, A). During both time periods (light/dark cycles), the group that was exposed to a standard diet (Group 1) showed the highest food intake (Table 4) shows the recorded data per mice (data are expressed as mean values) regarding food intake in both time periods.

**Table 1.4. Food intake (g) during light/dark cycle:** The length of the study period was 35 days and the scheduled registration of food intake and water was every 12 hours in a dark-light cycle (7am/7pm). Data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation in day 35. A p value of  $< 0.05$  was considered statistically significant. HFD= High fat diet, LFD= Low fat diet

**Table 1.4** Food intake (g) during light/dark cycle

	Standar	HFD	LFD	p=
Light	1.95 $\pm$ 0.07	1.51 $\pm$ 0.09	1.62 $\pm$ 0.05	0.001
Dark	3.11 $\pm$ 0.10	1.42 $\pm$ 0.10	1.90 $\pm$ 0.11	0.005

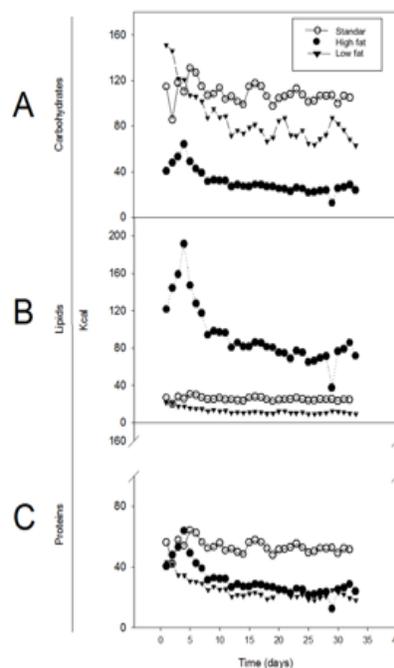
A lower food intake was observed in the group that was exposed to a HFD when compared the other groups (low fat and standard diet) ( $p > 0.05$ ). Moreover, the group that was exposed to a HFD showed a reduction in food intake and Kcal intake (Figure 1) (A and B). Regarding water intake, the study group exposed to a HFD group showed a lower intake, however these results were not significant (Figure 1C),  $p = 0.060$ .

**Figure 1.1** Food and water intake

**Figure 1.1 Food and water intake.** The food intake observed in groups. HFD group showed a reduction in food intake and Kcal intake (A and B),  $p$  value of  $<0.05$  was considered statistically significant. C) Water intake, the study groups, no significant differences were.

#### Kilocalorie consumption

Due to the differences in the data recorded from the study groups, a difference was found in kilocalories that were consumed. The group that showed the highest consumption of kilocalories was the group exposed to a standard diet with 94 Kcal/day. Mean while, group exposed to HFD consumed 34.72 Kcal/day and the group exposed to a LFD group consumed 69.46 Kcal/day (Figure 1, B). The study group exposed to HFD showed a lower consumption of kilocalories from carbohydrates with respect to the study group exposed to a LFD and the standard diet group ( $p<0.05$ ). The group exposed to a HFD showed a high consumption of kilocalories from lipids with respect to the group exposed to a low fat content diet and the standard diet group ( $p<0.05$ ), as well as a lower kilocalorie consumption from proteins with respect to the group exposed to standard diet ( $p<0.05$ ), (Figure 2, A,B,C).

**Figure 1.2** Kilocalorie, food and macronutrient intake

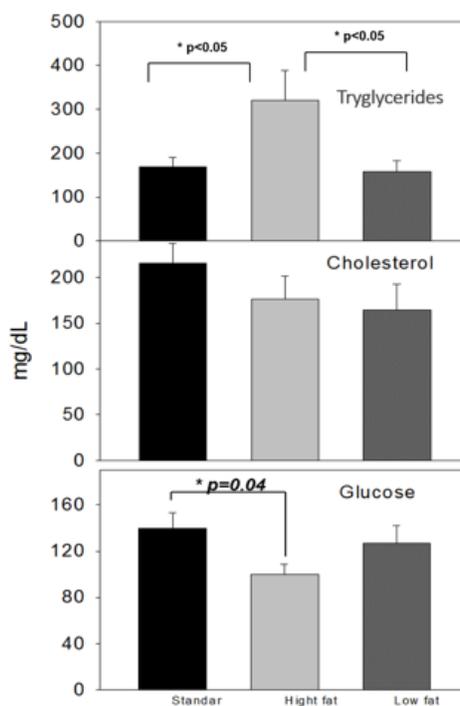
**Figure 1.2 Kilocalorie, food and macronutrient intake** (carbohydrates, lipids and proteins). The study group exposed to a high fat content diet showed a lower consumption of kilocalories from carbohydrates with respect to the study group exposed to a low fat content diet and the standard diet group. The group exposed to a HFD also showed a lower intake of kilocalories from lipids with respect to the group exposed to a LFD group and the standard diet group, as well as a lower kilocalorie consumption from proteins with respect to the group exposed to a LFD and the group exposed to the standard diet  $p$  value of  $<0.05$  was considered statistically significant.

### Body weight

Body weight was registered every 24 hours. The study group weighing (13%) more was the one exposed to the HFD (group 2) ( $30.49 \pm 1.30\text{g}$ ) when compared to the standard diet group ( $26.87 \pm 0.80\text{g}$ ) (group1); and LFD (group 3) ( $28.87 \pm 1.36\text{g}$ ) (Figure 3).

All study groups increased body weight after 35 days of exposure to each particular diet. The group with a HFD increased its body weight significantly after day-8 (9g) while group exposed to a standard diet increased its body weight 3g; and the group exposed to a LFD increased 6g. Regarding individual body weight, the group HFD content diet showed the highest body weight increment ( $3.04 \pm 0.13\text{g}$  vs  $2.68 \pm 0.08\text{g}$ ), and lowest was the group exposed to a LFD ( $3.04 \pm 0.13\text{g}$  and  $2.8 \pm 0.13\text{g}$ , respectively) [Figure 1.3].

**Figure 1.3 Body weight**

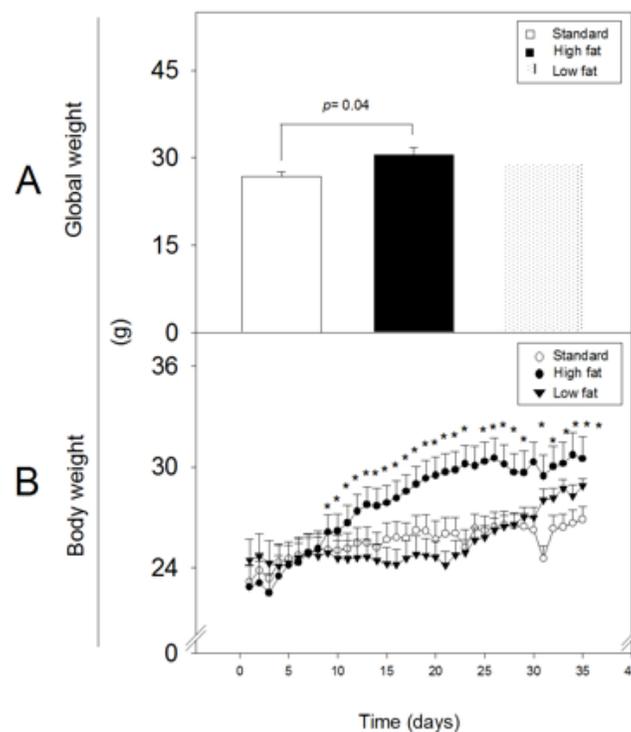


**Figure 1.3. Body weight.** The high fat diet (Group 2) compared to the standard diet group (Group1); and the low fat diet (group 3). Increase of body weight in HFD group in comparison with and LFD and diet group and standard group. Data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation.  $p$  value of  $<0.05$  was considered statistically significant.

### Triglycerides, cholesterol and glucose serum levels

For serum biochemical indicators, the concentration of triglycerides showed to increase in the group exposed to a HFD compared to the LFD group and the standard group ( $319.70 \pm 68 \text{ mg/dL}$  vs  $172.50 \pm 28 \text{ mg/dL}$ ,  $185.87 \pm 25 \text{ mg/dL}$ , respectively) ( $p < 0.05$ ) and the lowest concentration of glucose was shown significantly ( $99.70 \pm 27 \text{ mg/dL}$  vs  $134 \pm 51 \text{ mg/dL}$ ,  $149.6 \pm 42 \text{ mg/dL}$ , respectively) HFD vs standard group ( $p < 0.05$ ). Serum cholesterol values for each group were:  $185.11 \pm 78 \text{ mg/dL}$  (HFD group) and  $181.12 \pm 93 \text{ mg/dL}$  (LFD group) and  $228.22 \pm 59 \text{ mg/dL}$  (standard group), ( $p = 0.386$ ) [Figure 4].

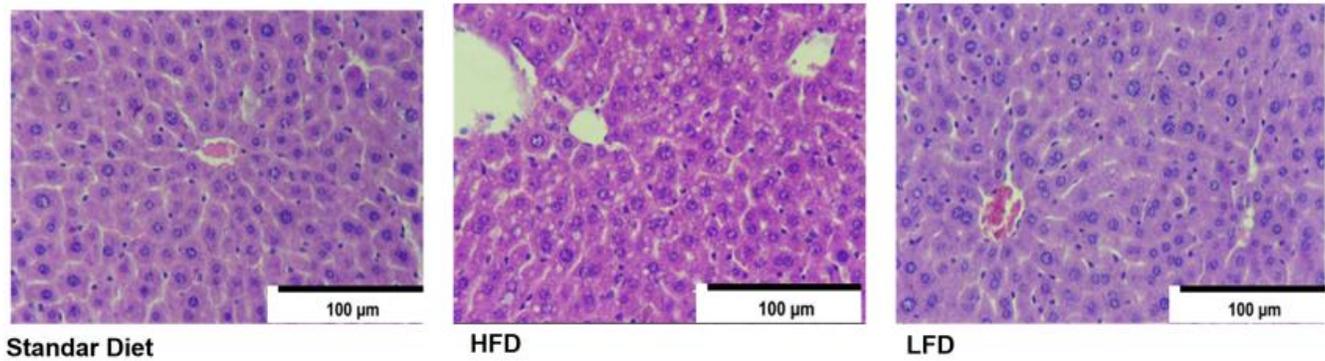
**Figure 1.4** Differences between groups in triglycerides, cholesterol and glucose serum levels



**Figure 1.4. Differences between groups in triglycerides, cholesterol and glucose serum levels.** Black bar, represent standar diet, light gray bar shows HFD and last dark gray bar shows LFD. The highest concentration of triglycerides founded in the group exposed to a HFD group compared to LFD group and the standard group and the lowest concentration of glucose. Serum cholesterol values for each group. p value of <0.05 was considered statistically significant.

#### Hepatic histology

The animals from the three groups underwent a histological liver analysis in order to evaluate the morphologic changes. The results are shown in Figure 6. The mean values for each study group regarding the presence of micro-vesicles of fat were: 5-33% for the standard group, >67% for the HFD group and 33-66% for the LFD group; the mean value for each study group regarding the presence of macrovesicles of fat was: 5% for the standard group, 33-66% for the HFD group, and 0% for LFD group. The mean values for the presence of necrosis per group were the following: standard diet group showed 2-3 per field (score of 2), in HFD group 4-5 per field (score of 3), and LCD group >5 per field (score of 4). The inflammation mean values per group were: standard diet 1-2 per field (score of 1), HFD group 3-4 per field (score of 2) and in LFD group 5-8 per field (score of 3). The standard diet did not show significant changes in architecture of the liver and neither in the observed hepatocytes, the cytoplasmic accumulation of cell infiltration or changes in cell nuclear morphology were also not observed. In addition, necrosis and sinusoidal dilatation or vascular congestion were also not observed. The LFD showed slight changes in the cytoplasmic accumulation of fat through a microvesicular type histology, but generally preserved tissue architecture, cell and vascular morphology. However, there was a slight nucleomegaly and binucleation. The HFD group showed liver damage. Presence of liver steatosis. In hepatocytes, fat accumulation was observed with macro and microvesicular fat, with sinusoidal dilation and a swelling cytoplasm and slightly edematous tissue; nucleomegaly and sinusoidal congestion were also observed. In some cuts, necrotic cells were also observed, Figure 1.6.

**Figure 1.5** Histologic liver injury scores

	Standard Diet				HFD				LFD				
Score	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	$p=$
Microvesicular fat (%)	2	7	1	0	1	0	2	7	4	1	5	0	0.001
Macrovesicular fat (%)	10	0	0	0	6	3	1	0	1	0	0	0	0.056
Necrosis (%)	9	1	0	0	5	4	0	0	8	2	0	0	0.269
Inflammation (%)	9	1	0	0	6	4	0	0	8	2	0	0	0.271

**Figure 1.5. Histologic liver injury scores** The mean values for each study group regarding the presence of micro-vesicles of fat, macrovesicles of fat, necrosis and inflammation, mean values per group were: standard diet 1-2 per field (score of 1), HFD group 3-4 per field (score of 2) and in LFD group 5-8 per field (score of 3),  $p$  value of  $<0.05$  was considered statistically significant.

## 1.15 Discussion

### *Food intake*

The excessive consumption of HFD is related to the development of chronic diseases such as obesity and type 2 diabetes mellitus (Myles, 2014). There is little research analyzing the effect of high-fat isocaloric diets intake on changes in serum biomarkers that are related to the development of chronic diseases. Based on this, the aim of this study was to evaluate the effect of a isocaloric HFD in food intake, body weight and biomarkers like triglycerides, glucose and cholesterol. All groups had free access to food diet (standard, HFD and LFD, as well as the control group) and a significant decrease of food intake in HFD group was shown when compared to the standard diet group. The harmful effects of a HFD could be different, depending on dietary fat quality. In fact, high fat diets rich in unsaturated fatty acids are considered less deleterious for human health than those rich in saturated fat (Crescenzo et al., 2015). Eating a high-fat diet is known to alter gut-brain communication and attenuate subsequent satiety signaling (Duca et al., 2013; Farley et al., 2003; Melhorn et al., 2010). The changes associated with HFD intake may be related to the fact that overfeeding of fats causes reduced carbohydrate oxidation and no change in fat oxidation (Schutz et al., 1989). The food intake observed during the light/dark cycles every 24 hours in group 1 (standard diet) was constant with patterns characteristic of murine models (Cripps & Williams, 1975). In addition, reports have shown that a high fat diet induces changes in metabolism regarding lipids since there is an imbalance between the lipogenesis and the lipolysis (Jiang et al., 2005). The reduction of food intake in HFD group suggests that there is a physiological reaction that adapts to diet composition. It is important to point out that diets applied in this study contained an isocaloric energetic portion with an alteration in the macronutrient distribution. However, it is essential to consider that the characteristics of diet provided such as caloric content, flavor, texture, color, temperature or size might have also determined the quantity of food intake. Nevertheless, in this research such characteristics were not taken into consideration, but there is a possibility that other factors (flavor and texture) may have altered the quantity ingested by the animal subjects. A report states that the energetic density is also related with food intake and that an energetic imbalance and increased body weight have been associated with a risk of developing obesity (Arroyo & Méndez, 2007).

Energetic density, diversity of diets and familial income in rural and urban households. On the other hand, isocaloric diets provide the same amount of grams, however, the alteration of the macro and micro-nutrient composition could affect the food regulation process. Flavor and post digestive consequences have been proposed as the main elements which influence the selection of food, the most common example is the preference for sweet choices, as a possible effect to an adaptation based on a basic survival instinct (Martínez Moreno et al., 2009). It has been suggested that the regulation of food consumption is carried out based on the energetic diet content and not based on palatability differences.

### *Body weight*

In group 1 (HFD), a steady body weight increase was observed versus 2 and 3 group. A possible explanation of these findings could be attributed to an adaptive mechanism metabolic of fats which influences weight development. Others studies showed that HFD intake for 10 weeks in rodents increased 10% in body weight compared to a LFD (Kennedy et al., 2007; Woods et al., 2003). In addition to energy density, the composition of macronutrients in the diet plays an important role in determining the type and magnitude of adaptive metabolic responses caused by diet in the body (So et al., 2011). These results could be related to macro-nutrient acquisition, studies about metabolic efficiency and eating behavior could help clear out the topic.

### *Peripheral biomarkers*

The increase in the lipid profile and food intake are main factors that lead to cardiovascular diseases. Diverse factors have been related to the increase of lipid serum such as high density lipoproteins, the increase in caloric intake, obesity and diabetes (de Oya, 1998). The evidence suggests that the consumption of HFD could influence change of glucose and cholesterol levels and decrease HDL, hence, these three biomarkers are associated to a higher risk of acquiring cardiovascular diseases (Adams et al., 2010; Estrany et al., 2013). In this study we pointed out these alterations, for example, to glucose levels. We shows that glucose levels decrease in animals that consumed the high fat diet and triglyceride levels increased. HFD is known to show high efficacy in inducing obesity in mice and rats (Cripps & Williams, 1975; Morgan et al., 2008), however excessive accumulation of adiposity caused by this approach in rodents is not necessarily accompanied by overfeeding (Arroyo & Méndez, 2007; Jiang et al., 2005; Martínez Moreno et al., 2009), although the absolute and relative energy intake of the HFD diet-induced obesity could be associated with changes in the eating pattern (larger food size and reduced frequency of eating) instead of overfeeding, since the total number of calories ingested by day was no different between animals on a control diet and HFD (Furnes et al., 2009; Woods et al., 2003).

### *Hepatic histology*

The excess of adipose tissue, which affects health negatively, has been defined by the *World Health Organization* as the main cause of obesity. The quantification of adipose tissue and its percentage of fat body are risk indicators of suffering diseases related to feeding behavior such as DM2 (García-García et al., 2008). In this work the group exposed to a HFD presented microvesicles of fat in 67% of hepatocytes, and 4 to 5 characteristics of necrosis per layer. Several authors have pointed out the relationship between high fat intake and increase of adipose tissue. The concentrations of insulin could be implicated in the decrease of insulin sensitiveness in diana tissues, for example adipose tissues, which are also associated with an increase of fat deposits in the organism. Therefore, it is suggested that the consumption of fat could be related directly with the increase of adipose tissue, less insulin sensitiveness and higher levels of serum insulin during fasting periods. The mechanisms possibly implicated in a greater fat body accumulation can be related to the development of microvesicles of fat. The analysis of the accumulation of liver lipids might be caused by the activation of nonalcoholic fatty disease in the liver. The mechanism of hepatic steatosis recent studies suggested persistent hepatic lipogenesis (Diraison et al., 2002). Fat synthesis is a dynamic process could that responds to dietary conditions.

## **1.16 Acknowledgments**

We appreciate the valuable contribution as well as: PhD. Cruz-Ramos JA, for the support in histological techniques as well as in pathological evaluation of liver. To PhD Luna-Moreno Dalia for the support in making the figures. Maria Liliana Napoles Anguiano for his valuable support in registration of feeding behavior.

For the support provided by the University Center of the South of the University of Guadalajara.

### 1.17 Conclusions

In conclusion, the content and quality of macronutrients in the diet is highlighted, despite the fact that those consumed by the mice in this research were isocaloric, exposure to HFD for a short period, evidenced a reduction in food intake and blood glucose and hepatic steatosis. This experimental model could be used to evaluate to effect an isocaloric HFD on development of hepatic steatosis and changes in eating behavior in short period of time. Assessing the intake of a HFD could provide a better understanding of the metabolic mechanisms that are connected to the development of chronic diseases. However, in the field of eating behavior, more research is required, related to physiological and biochemical-molecular behavioral aspects.

### 1.18 Referencias

Adams, T. H., Walzem, R. L., Smith, D. R., Tseng, S., & Smith, S. B. (2010). Hamburger high in total, saturated and trans-fatty acids decreases HDL cholesterol and LDL particle diameter, and increases TAG, in mildly hypercholesterolaemic men. *The British Journal of Nutrition*, *103*(1), 91-98. <https://doi.org/10.1017/S0007114509991516>

Arroyo, P., & Méndez, O. (2007). [Energetic density, diversity of diets and familial income in rural and urban households of Mexico]. *Gaceta Medica De Mexico*, *143*(4), 301-307.

Blundell, J. E., Lawton, C. L., & Halford, J. C. (1995). Serotonin, eating behavior, and fat intake. *Obesity Research*, *3 Suppl 4*, 471S-476S. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1995.tb00214.x>

Camargo, A., Meneses, M. E., Pérez-Martínez, P., Delgado-Lista, J., Rangel-Zúñiga, O. A., Marín, C., Almadén, Y., Yubero-Serrano, E. M., González-Guardia, L., Fuentes, F., Tinahones, F. J., Roche, H. M., Malagón, M. M., Pérez-Jiménez, F., & López-Miranda, J. (2014). Dietary fat modifies lipid metabolism in the adipose tissue of metabolic syndrome patients. *Genes & Nutrition*, *9*(4), 409. <https://doi.org/10.1007/s12263-014-0409-3>

Caprio, S., Perry, R., & Kursawe, R. (2017). Adolescent Obesity and Insulin Resistance: Roles of Ectopic Fat Accumulation and Adipose Inflammation. *Gastroenterology*, *152*(7), 1638-1646. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2016.12.051>

Crescenzo, R., Bianco, F., Mazzoli, A., Giacco, A., Cancelliere, R., di Fabio, G., Zarrelli, A., Liverini, G., & Iossa, S. (2015). Fat Quality Influences the Obesogenic Effect of High Fat Diets. *Nutrients*, *7*(11), 9475-9491. <https://doi.org/10.3390/nu7115480>

Cripps, A. W., & Williams, V. J. (1975). The effect of pregnancy and lactation on food intake, gastrointestinal anatomy and the absorptive capacity of the small intestine in the albino rat. *The British Journal of Nutrition*, *33*(1), 17-32. <https://doi.org/10.1079/bjn19750005>

de Oya, M. (1998). [HDL cholesterol and cardiovascular mortality in Spain]. *Revista Espanola De Cardiologia*, *51*(12), 988-990. [https://doi.org/10.1016/s0300-8932\(98\)74852-3](https://doi.org/10.1016/s0300-8932(98)74852-3)

Diraison, F., Dusserre, E., Vidal, H., Sothier, M., & Beylot, M. (2002). Increased hepatic lipogenesis but decreased expression of lipogenic gene in adipose tissue in human obesity. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, *282*(1), E46-51. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2002.282.1.E46>

Duca, F. A., Swartz, T. D., Sakar, Y., & Covasa, M. (2013). Decreased intestinal nutrient response in diet-induced obese rats: Role of gut peptides and nutrient receptors. *International Journal of Obesity* (2005), *37*(3), 375-381. <https://doi.org/10.1038/ijo.2012.45>

Estrany, M. E., Proenza, A. M., Gianotti, M., & Lladó, I. (2013). High-fat diet feeding induces sex-dependent changes in inflammatory and insulin sensitivity profiles of rat adipose tissue. *Cell Biochemistry and Function*, *31*(6), 504-510. <https://doi.org/10.1002/cbf.2927>

- Farley, C., Cook, J. A., Spar, B. D., Austin, T. M., & Kowalski, T. J. (2003). Meal pattern analysis of diet-induced obesity in susceptible and resistant rats. *Obesity Research*, *11*(7), 845-851. <https://doi.org/10.1038/oby.2003.116>
- Furnes, M. W., Zhao, C.-M., & Chen, D. (2009). Development of obesity is associated with increased calories per meal rather than per day. A study of high-fat diet-induced obesity in young rats. *Obesity Surgery*, *19*(10), 1430-1438. <https://doi.org/10.1007/s11695-009-9863-1>
- García-García, E., De la Llata-Romero, M., Kaufer-Horwitz, M., Tusié-Luna, M. T., Calzada-León, R., Vázquez-Velázquez, V., Barquera-Cervera, S., Caballero-Romo, A. J., Orozco, L., Velásquez-Fernández, D., Rosas-Peralta, M., Barriguete-Meléndez, A., Zacarías-Castillo, R., & Sotelo-Morales, J. (2008). [Obesity and metabolic syndrome as public health problem. A reflection]. *Archivos De Cardiología De Mexico*, *78*(3), 318-337.
- Jiang, T., Wang, Z., Proctor, G., Moskowitz, S., Liebman, S. E., Rogers, T., Lucia, M. S., Li, J., & Levi, M. (2005). Diet-induced obesity in C57BL/6J mice causes increased renal lipid accumulation and glomerulosclerosis via a sterol regulatory element-binding protein-1c-dependent pathway. *The Journal of Biological Chemistry*, *280*(37), 32317-32325. <https://doi.org/10.1074/jbc.M500801200>
- Kennedy, A. R., Pissios, P., Otu, H., Roberson, R., Xue, B., Asakura, K., Furukawa, N., Marino, F. E., Liu, F.-F., Kahn, B. B., Libermann, T. A., & Maratos-Flier, E. (2007). A high-fat, ketogenic diet induces a unique metabolic state in mice. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, *292*(6), E1724-1739. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00717.2006>
- la Fleur, S. E., Luijendijk, M. C. M., van Rozen, A. J., Kalsbeek, A., & Adan, R. a. H. (2011). A free-choice high-fat high-sugar diet induces glucose intolerance and insulin unresponsiveness to a glucose load not explained by obesity. *International Journal of Obesity (2005)*, *35*(4), 595-604. <https://doi.org/10.1038/ijo.2010.164>
- Labayen, I., Forga, L., & Martínez, J. A. (1999). Nutrient oxidation and metabolic rate as affected by meals containing different proportions of carbohydrate and fat, in healthy young women. *European Journal of Nutrition*, *38*(3), 158-166. <https://doi.org/10.1007/s003940050057>
- Lewis, K. E., Kirk, E. A., McDonald, T. O., Wang, S., Wight, T. N., O'Brien, K. D., & Chait, A. (2004). Increase in serum amyloid a evoked by dietary cholesterol is associated with increased atherosclerosis in mice. *Circulation*, *110*(5), 540-545. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000136819.93989.E1>
- Martínez Moreno, A. G., López-Espinoza, A., de Jesús Díaz Reséndiz, F., & Valdés Miramontes, E. (2009). [Sweetened solution intake in albino rats: Taste versus calories]. *Psicothema*, *21*(2), 191-198.
- Melhorn, S. J., Krause, E. G., Scott, K. A., Mooney, M. R., Johnson, J. D., Woods, S. C., & Sakai, R. R. (2010). Acute exposure to a high-fat diet alters meal patterns and body composition. *Physiology & Behavior*, *99*(1), 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.10.004>
- Mirmiran, P., Bahadoran, Z., Mirzaei, S., & Azizi, F. (2014). Dietary Intake, Changes in Lipid Parameters and the Risk of Hypertriglyceridemia: A Prospective Approach in the Tehran Lipid and Glucose Study. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research. Internationale Zeitschrift Fur Vitamin- Und Ernährungsforschung. Journal International De Vitaminologie Et De Nutrition*, *84*(5-6), 269-276. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000213>
- Morgan, K., Uyuni, A., Nandgiri, G., Mao, L., Castaneda, L., Kathirvel, E., French, S. W., & Morgan, T. R. (2008). Altered expression of transcription factors and genes regulating lipogenesis in liver and adipose tissue of mice with high fat diet-induced obesity and nonalcoholic fatty liver disease. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*, *20*(9), 843-854. <https://doi.org/10.1097/MEG.0b013e3282f9b203>
- Myles, I. A. (2014). Fast food fever: Reviewing the impacts of the Western diet on immunity. *Nutrition Journal*, *13*, 61. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-61>

Schulze, R. J., & McNiven, M. A. (2019). Lipid Droplet Formation and Lipophagy in Fatty Liver Disease. *Seminars in Liver Disease, 39*(3), 283-290. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1685524>

Schutz, Y., Flatt, J. P., & Jéquier, E. (1989). Failure of dietary fat intake to promote fat oxidation: A factor favoring the development of obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition, 50*(2), 307-314. <https://doi.org/10.1093/ajcn/50.2.307>

So, M., Gaidhu, M. P., Maghdoori, B., & Ceddia, R. B. (2011). Analysis of time-dependent adaptations in whole-body energy balance in obesity induced by high-fat diet in rats. *Lipids in Health and Disease, 10*, 99. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-99>

Villamil, S. I., Huerlimann, R., Morianos, C., Sarnyai, Z., & Maes, G. E. (2018). Adverse effect of early-life high-fat/high-carbohydrate («Western») diet on bacterial community in the distal bowel of mice. *Nutrition Research (New York, N.Y.), 50*, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.11.008>

Woods, S. C., Seeley, R. J., Rushing, P. A., D'Alessio, D., & Tso, P. (2003). A controlled high-fat diet induces an obese syndrome in rats. *The Journal of Nutrition, 133*(4), 1081-1087. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1081>

## **Capítulo 2 La Conservación Voluntaria en núcleos agrarios de Oaxaca, México: Participación, costos y beneficios**

### **Chapter 2 Voluntary conservation in agrarian nuclei of Oaxaca, Mexico: Participation, costs and benefits**

SILVA-APARICIO, Marisa\*†

*Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. Km. 45 Carretera Tlapa-Marquelia, La Ciénega, Malinaltepec, C.P. 41500. Guerrero, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Marisa, Silva-Aparicio* / **ORC ID:** 0000-0001-5362-3488, **CVU CONACYT ID:** 100079

**DOI:** 10.35429/H.2029.9.15.32

M. Silva

masilva@ecosur.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) *Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.*

## Resumen

La conservación con enfoque basado en la comunidad (CBC) señala que su aplicación, además de preservar recursos biológicos en áreas naturales, también contribuye a mejorar la calidad de vida de quienes de manera activa la llevan a cabo. El presente trabajo analiza la participación, los beneficios y costos que la certificación de Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación ([ADVC] referida como una modalidad de áreas naturales protegidas [ANP] y orientación de CBC) ha traído a pobladores de los núcleos agrarios ubicados en las regiones Istmo, Valles Centrales y Mixteca del estado de Oaxaca. Para ello se realizaron entrevistas a comisariados y ejidatarios, además de aplicar cuestionarios de manera aleatoria a sus habitantes. Los resultados muestran que la participación de la población local en la certificación y gestión de las ADVC es baja y pasiva. La organización previa de la Asamblea y las formas de intervención del Estado afecta de manera negativa su participación. Asimismo, los beneficios son limitados y dirigidos a la aplicación de programas gubernamentales relacionados con el ecoturismo. Los pobladores de los distintos núcleos agrarios no señalan costos por la certificación, no obstante, expresan preocupación debido a la exclusión de gran parte de ellos, generada para el acceso a los apoyos económicos relacionados el proyecto de ecoturismo en el ADVC. Las comunidades e instituciones de gobierno mantienen una relación de tensión en cuanto a la toma de decisiones referentes a la gestión de los recursos designados a las ADVC.

**Areas protegidas; ecoturismo; desarrollo; conservación comunitaria; gobierno local**

## Abstract

Conservation with a community-based approach (CBC) points out that its application, in addition to preserving biological resources in natural areas, also contributes to improving the quality of life of those who participate in it. This work analyzes the participation, benefits and costs that the certification of Voluntary Areas Destined for Conservation ([VADC] referred to as a modality of protected natural areas [PNA] and guidance from CBA) has brought to the residents of the farming settlement located in the Isthmus, Valles Centrales and Mixteca regions of the state of Oaxaca. To do this, interviews were conducted with local authorities and *ejidatarios* (property owners), in addition to applying random questionnaires to their inhabitants. The results show that the participation of the local population in the certification and management of the VADC is low and passive. The prior organization of the Assembly and the forms of State intervention negatively affect its participation. Also, the benefits are limited and directed to the application of government programs related to ecotourism. The residents of the different farming settlement do not indicate costs for certification, however, they express concern due to the exclusion of a large number of them generated for access to economic support related to the ecotourism project in the VADC. Communities and government institutions maintain a relationship of tension regarding decision-making concerning the management of resources designed to the VADC.

**Protected areas, ecotourism; development; community conservation; local government**

## 2. Introducción

Integrar a las poblaciones locales en la gestión de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) es parte del discurso actual tanto de actores gubernamentales como no gubernamentales, sin embargo, su aplicación en la práctica aún es cuestionable (Berkes, 2004; Goldman, 2003; Stoll-Kleeman et al., 2010; Durand et al., 2014). Un problema subyacente es que, en muchos casos, los objetivos de desarrollo de las comunidades no coinciden con los de la conservación (Berkes, 2004). No obstante, la denominada Conservación Basada en la Comunidad (CBC) enmarcada dentro del discurso del desarrollo ‘sustentable’ que refiere a la mejora de la calidad de la vida humana, sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sostienen (UICN/PNUMA/WWF, 1991), afirma que estos dos aspectos pueden alcanzarse con la participación de la población local. En este sentido Horwich y Lyon (2007) señalan el aumento en las últimas décadas de iniciativas para integrar a las poblaciones locales en la gestión de las ANP, resaltando el éxito de aquellas que atendieron de manera particular la problemática de cada comunidad y mantuvieron respaldo financiero, aunque pequeño, constante durante un tiempo determinado. Asimismo, también indican la prevaecía de los proyectos que continúan priorizando los objetivos de las financiadoras, fomentando prácticas paternalistas, unilaterales que ignoran los intereses de las poblaciones locales, ocasionando la dependencia a éstas (Chapin, 2004).

Lo anterior muestra el evidente debate sobre las ventajas y desventajas de la CBC (Agrawal y Gibson, 1999; Reyes et al., 2013), considerando factores como comunidad, participación, empoderamiento y sostenibilidad (Brown, 2002).

La participación de las comunidades es indispensable, no obstante, el término es utilizado de manera ambigua en diferentes ámbitos (Parfitt, 2004). En este sentido Bass et al. (1995) y Parfitt (2004) señalan que la participación puede utilizarse como un medio o un fin, cada una con distintos efectos sobre las relaciones de poder. Cuando se emplea como un medio, las relaciones verticales quedan en gran parte intactas; pero cuando es vista como un fin, sugiere la transformación en dichas relaciones, siendo en este caso un componente emancipador. Pero la idea de participación, como lo señalan Durand et al. (2014), remite a la voluntad de generar cambios en la dinámica de poder, donde no sean exclusivamente los externos quienes tomen las decisiones, sino también la población local. Sin embargo, precisar la forma y el grado de participación en el manejo de áreas protegidas es complejo. Para tratar de mitigar este problema Pimbert y Pretty (1995) indican que el término debe ser utilizado con mayor cuidado y proponen una tipología que puede ser empleada para ayudar a precisar el nivel de participación de las poblaciones locales (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Tipología de la participación sugerida para la conservación de recursos naturales

Tipología	Componentes de cada tipo
	Las personas participan:
<b>1. Participación pasiva</b>	Siendo informado de lo que va a suceder o ya pasó.
<b>2. Participación en dar información</b>	Responden preguntas formuladas por investigadores extractivos y gerentes de proyecto mediante encuestas, cuestionarios o enfoques similares.
<b>3. Participación por consulta</b>	Son consultadas y los agentes externos escuchan las opiniones.
<b>4. Participación para incentivos materiales</b>	Proporcionan recursos, por mano de obra, alimentos, efectivo u otros incentivos materiales.
<b>5. Participación funcional</b>	Forman grupos para cumplir objetivos predeterminados relacionados con el proyecto, lo que puede implicar el desarrollo o la promoción de una organización social iniciada externamente.
<b>6. Participación interactiva</b>	Analizan en conjunto lo que conduce a planes de acción y la formación de nuevos grupos locales o el fortalecimiento de los existentes.
<b>7. Auto-movilización</b>	Toman iniciativas independientes de las instituciones externas para cambiar los sistemas.

*Fuente: Pimbert y Pretty (1995)*

Las discusiones sobre la pertinencia y formas de participación local en las ANP ocurre en un contexto en donde el gobierno mexicano se ha comprometido a implementar el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica (2011-2020) y cumplir las 20 metas Aichi<sup>1</sup> (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica [SCDB], 2012). La número 11 compromete a los países firmantes del CDB, a incrementar para 2020 al menos el 17% de su territorio como superficie protegida. En México hasta el 2019 se tenía un 13.2% de cobertura en áreas terrestres y 20.78% de marinas y costera (REDPARQUES, 2018). En este sentido, Massieu (2017) apunta, que los nuevos decretos de ANP en nuestro país son parte de una simulación para el lucimiento del gobierno, puesto que el aumento del número de áreas o superficies protegidas no significa la conservación de la biodiversidad, ya que existen problemas, no atendidos, relacionados con su administración, operación y vigilancia, vinculados con las poblaciones asentadas dentro y alrededor de éstas (Von Bertrab, 2010; Legorreta et al., 2014; Trench, 2017).

<sup>1</sup> En octubre de 2010, en Japón, se acordó el Plan Estratégico de la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi como base para detener y revertir la larga pérdida de la diversidad biológica del planeta.

En la actual Ley General de Equilibrio Ecológico para la Protección del Ambiente (LGEEPA [DOF. 24-01-2017]) se contempla la participación social y se indica la importancia del vínculo de las comunidades agrarias y pueblos indígenas con los recursos naturales (Art. XV, Fracc. XIII, LGEEPA [DOF. 24-04-2012]) no obstante, en la guía para la certificación de las ADVC (CONANP, 2014), no se indica de manera clara cómo y cuándo deben hacerlo; por lo que la participación está supeditada a los objetivos de quienes las promueven, basados en gran medida en experiencias de establecimiento y seguimiento de otras ANP.

La necesidad urgente de integrar a las comunidades rurales de México en la estrategia de conservación de la biodiversidad se debe a que el 53% del territorio nacional es propiedad social (Merino y Segura, 2007) y alrededor del 60% de los bosques y selvas está en manos de estos ejidos y comunidades (Madrid et al., 2009), que los usan y manejan de diferentes maneras (Toledo, 2015). Asimismo, hasta el 2008, el 60% de las ANP con un decreto federal eran de propiedad social (Bezaury-Creel y Gutiérrez, 2009). Los bosques y selvas no parcelados son áreas de uso común de los núcleos agrarios y se encuentran bajo su control colectivo. Cabe señalar que los artículos 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) y 59 de la Ley Agraria establecen la imposibilidad de parcelar o privatizar las tierras de uso común con bosques o selvas tropicales (Cámara de Diputados, 2017).

La certificación de Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC) contribuyó al aumento de la superficie de las áreas protegidas y a alcanzar la meta comprometida por gobierno mexicano. Además estas áreas también son promovidas como un elemento que apoya el desarrollo (sustentable) de las poblaciones locales (Anta, 2007). El enfoque de áreas de conservación comunitarias que ya habían sido trabajado por diversas organizaciones no gubernamentales, fue retomado por el gobierno mexicano con el afán de legitimar la conservación, además de descargar responsabilidades para lograrlo (Durand, 2014). Así, se busca modificar las estrategias económicas de las poblaciones rurales hacia esquemas rentables, para lo cual deben acceder a los mercados y permanecer en ellos (Igoe y Brockington, 2007). Algunas formas de realizarlas son el turismo de naturaleza, el pago por servicios ambientales (PSA) y la certificación de productos forestales no maderables, entre otras (Durand, 2014). La creación de una ANP por decreto reduce el control de la población sobre sus recursos, ya que es el Estado (a través de las instituciones como SEMARNAT y CONANP) quien fija las reglas para su incorporación como área protegida y define la estrategia para su manejo. No obstante, en el caso de las ADVC, el Estado ha tenido que negociar con las comunidades para que acepten certificar, esto a cambio de programas y proyectos productivos, es decir, adoptar el camino hacia la conservación neoliberal (Durand, 2014).

## **2.1 Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación**

Las ADVC fueron oficialmente reconocidas en México con la reformulación del artículo 59 de la LGEEPA en 2008, donde se aprueba la designación legal de tierras para la conservación por las comunidades (Martin et al., 2011). Su origen se da a partir del establecimiento de reservas privadas y comunitarias, con y sin reconocimiento gubernamental, en diferentes países de América, además de la conformación de Redes de Reservas Naturales Privadas (Solano y Chacon, 2008). Estas áreas fueron impulsadas por organismos de conservación nacional e internacional (PRONATURA, Conservación Internacional y la WWF), partiendo de lo que ya muchas comunidades realizaban (de manera no oficial) (Martin et al., 2011). La CONANP promovió las ADVC desde 2000 y en 2002 el Estado Mexicano dio inicio a las primeras certificaciones, antes de reformar al Art. 59 de la LGEEPA. Actualmente, en México existen 354 ADVC reconocidas por el gobierno que cubren 551 206 ha, distribuidas en 23 entidades y categorizadas como: privadas, público-paraestatal (fideicomisos), público-centralizado y social-ejidos (tierras de uso común y parcelas); estas últimas son las que mayor superficie abarcan (125 920.85 ha). En el estado de Oaxaca se localiza el 38% (135) de las ADVC certificadas en México, aumentando de 335 884 (que incluye las ANP con decreto federal) a 462 614 ha la superficie protegida en la entidad (CONANP, 2020).

Por otro lado gran parte de los núcleos agrarios en Oaxaca son reconocidos por el manejo colectivo de sus recursos forestales. Asimismo de los 517 municipios, 418 se rigen por una gobernanza basada en un sistema local distinto a la organización política estatal o nacional, descrita como ‘usos y costumbres’ (Canedo, 2008).

Este sistema enfatiza el servicio comunitario (no remunerado) como base de la integración formal de un individuo en la comunidad, quien debe llevar a cabo las obligaciones cívicas de contribuir con trabajo en los proyectos comunitarios (tequios o faenas) y prestar su servicio en las comisarías oficiales (Antinori, 2007).

Esta investigación aporta información sobre la participación, beneficios y costos que las ADVC han traído a las poblaciones de tres núcleos agrarios, ubicados en las regiones Istmo (San Pedro Huamelula), Valles Centrales (Unión Zapata) y Mixteca (San Marcos Arteaga) del estado de Oaxaca (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2** Características físico-ambientales de los núcleos agrarios y sus ADVC de tres regiones de Oaxaca, México

Región	Área	Superficie ha	Número de habitantes	Actividades económicas	Clima	Vegetación
<b>Istmo-Costa</b>	Ejido San Pedro Huamelula	55,000	8500	Agricultura de temporal y de riego. Ganadería extensiva, extracción de leña	Temperatura 18-28 °C Precipitación 700-1000 mm. Cálido subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano.	Selva mediana, baja caducifolia, bosque templado, palmar inducido y dunas.
	ADVC Mascalco	10,000	250			
<b>Valles Centrales</b>	Ejido Unión Zapata	451.7	665	Agricultura de temporal y riego. Extracción de leña.	Temperatura 14-22 °C Precipitación 600-1500 mm. Seco, semiseco-semicálido	Bosque, pastizal inducido y selva baja caducifolia.
	ADVC El Fuerte	989	0			
<b>Mixteca</b>	Ejido San Marcos Arteaga	4977	2110	Agricultura de temporal y de riego. Ganadería extensiva. Extracción de leña.	Temperatura 18-22 °C Precipitación 700-1000 mm. Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	Selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de encino-pino y pastizal inducido
	ADVC El Cerro de la Culebra	464	0			

Fuente: INEGI (2010) y CONANP (2014)

## 2.2 Descripción del método

La investigación se llevó a cabo entre marzo de 2015 y agosto de 2016. El trabajo de campo incluyó la realización de 35 entrevistas abiertas semiestructuradas a ejidatarios y líderes comunitarios de los tres núcleos agrarios, así como a los directores de las ANP de la CONANP ([Parque Nacional Huatulco y Área de Protección de Flora y Fauna, Boquerón de Tonalá] quienes también son encargados de las ADVC). Además, se aplicaron 50 cuestionarios a familias con y sin derechos sobre las áreas de uso común, utilizando un croquis que incluía la ubicación de las casas de cada núcleo agrario (NA), para después numerarlas y seleccionarlas de manera aleatoria. En el caso de San Pedro Huamelula, de las 14 agencias, las elegidas fueron Playa Grande (ubicada dentro del ADVC) y Coyul, por ser las más cercanas al área protegida y contar con la 50% de la población total del NA. Las entrevistas y encuestas abordaron los motivos por los que visitaban dichas áreas, la participación que los pobladores tuvieron para decidir la certificación y, con base en la actual gestión (Tabla 2.3), los beneficios recibidos y los costos vinculados con cada ADVC.

**Tabla 2.3** Criterios, categorías y variables consideradas en la indagación sobre la participación, costos y beneficios de tres ADVC en Oaxaca.

<b>Criterio</b>	<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Medida</b>
<b>Participación</b>	Certificación	Conocimiento de causa (motivación).  Asistencia a las asambleas. Participación en los trabajos para la certificación. Vigilancia.	<b>Porcentaje de pobladores que señalan la causa.</b> <b>Porcentaje de los habitantes que asistieron.</b>
	Gestión actual	Conocimiento sobre la certificación del ADVC. Participan en los proyectos actuales.	<b>Porcentaje de la población que conoce sobre la certificación.</b> <b>Porcentaje que participa en los distintos proyectos.</b>
<b>Beneficios</b>	Empleo temporal Proyectos Capacitación	Beneficiarios.	<b>Porcentaje de los pobladores que participan en estos rubros.</b> <b>Cantidad de recursos obtenidos.</b>
<b>Costos</b>	Control de sus territorios y recursos.	Acceso (permisos, sanciones, exclusiones). Uso de recursos (disponibilidad).	<b>Porcentaje de la población que pide permiso.</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Se obtuvo el porcentaje de los encuestados que conocen los sitios certificados como ADVC, además de los que las han visitado, así como la frecuencia de visitas. También se determinaron los porcentajes de participantes en el proyecto de ecoturismo, la vigilancia, el trabajo y cursos de capacitación. Los beneficios se estimaron por el número de personas que participan en los diferentes programas, el pago por jornal y los días de trabajo realizados anualmente.

La participación de los habitantes de los núcleos agrarios se determinó primero de manera cualitativa, utilizando los criterios de Pimbert y Pretty (1995) y sostenida con los resultados cuantitativos (porcentajes de participación). Los beneficios se estimaron considerando el porcentaje de habitantes que se integran a los proyectos y reciben alguna remuneración económica, así como a actividades de capacitación (cursos sobre ecoturismo, medio ambiente, reforestación, entre otras). Los costos que atrae la certificación se establecieron con la información que señalaron sobre las restricciones al ADVC, es decir, sobre la libertad o confianza para el acceso y uso de los recursos en esas áreas.

## 2.3 Resultados

### 2.4 Participación

En los tres sitios, la Asamblea General de los núcleos agrarios es la instancia formal para tomar decisiones a la cual asisten los ejidatarios y/o comuneros reconocidos en el padrón del Registro Agrario Nacional (RAN). Asimismo, también existen agencias municipales que se encargan de atender asuntos de la población en general (avecindados y posesionarios), por lo que la Asamblea General y Agencias Municipales son espacios propios para la gestión del núcleo agrario.

*Reconocimiento de su núcleo agrario:* Un indicador de la participación es el grado de conocimiento local sobre el área seleccionada para ADVC. En Unión Zapata se presentó el porcentaje más alto (100%) de habitantes que señalan haber recorrido dicha área, posiblemente se debe a su cercanía con el poblado y sitios donde cultivan maíz, además de que en ese sitio extraían leña, hacían trabajo comunitario y en la época de lluvias funcionaba como área recreativa por la formación de pequeños arroyos. En San Pedro Huamelula la interacción de los pobladores con la ADVC resultó menos frecuente, probablemente por la dispersión de sus localidades (de 5 a 20 km); solamente algunos habitantes, en general hombres, visitaban la Laguna de Mascalco para pescar. En el área protegida existe el asentamiento de Playa Grande, con 200 habitantes, que utiliza leña del ADVC (Tabla 2.4).

En San Marcos Arteaga, los pobladores acudían ocasionalmente al ADVC por diversión, aunque la consideran lejana del poblado (8 km).

**Tabla 2.4** Porcentaje de encuestados que están al tanto y han visitado las ADVC, así como los motivos de visita y actividades que realizaban antes de la certificación, por núcleo agrario en Oaxaca

	San Pedro Huamelula		Unión Zapata		San Marcos Arteaga	
<b>% de encuestados que:</b>						
Están informados del área	86		100		100	
Visitaron el área	41		91		52	
<b>Motivos de la visita</b>						
Recreación	2		32		40	
Vivía o vive en esa área	36		0		4	
Trabajo	26		48		10	
Dar servicio (Tequio)	0		10		0	
Recolecta de leña	36		2		0	
<b>Visitas realizadas por los encuestados</b>						
	$\bar{X}$	Mínimos-Máximos	$\bar{X}$	Mínimos-Máximos	$\bar{X}$	Mínimos-Máximos
Años en que hicieron la primera visita	21.5	2-47	31.2	5-61	21.1	1-70
Años que realizaron la última visita	3.3	0.1-12	2.5	1-26	4.2	0.1-21
Días de visita al año	2.2	1-5	29.2	1-36	21.5	1-200

Fuente: Elaboración propia

*Promotores de la certificación de las ADVC:* En los tres núcleos agrarios la promoción la realizó la CONANP, institución encargada de llevar el proceso de certificación. Otro actor identificado como promotor fue la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ya que fue el encargado de la elaboración del Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC). En Unión Zapata también figura el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), ya que el ADVC, además de albergar recursos naturales posee cuevas con pinturas rupestres y vestigios de maíz, calabaza y frijol. La asociación civil La Ventana A.C. impulsó la certificación en San Pedro Huamelula, además de realizar el OTC; sin embargo, la mayoría de los encuestados desconocen o no recuerdan quién o quienes promocionaron la certificación de dichas área, ya que han pasado más de 10 años (Tabla 2.5). En la tabla 5 se observa que, de los 50 encuestados en cada núcleo agrario, los porcentajes más altos sobre los promotores de las ADVC se adjudican a los comisariados y otro gran porcentaje señala no saber quién o quienes la realizaron.

**Tabla 2.5** Porcentaje (%) y número de encuestados (N) que identifican a los promotores y motivos de la certificación del área de conservación voluntaria, en los tres núcleos agrarios de Oaxaca

	San Pedro Huamelula		Unión Zapata		San Marcos Arteaga	
Promotores	%	N	%	N	%	N
Comisariado	16	8	10	5	48	24
Comisariado-INAH	0	0	24	12	0	0
Comisariado-CONANP	2	1	2	1	0	0
Comisariado- A.C.	2	1	8	4	6	3
CONANP-INAH	0	0	4	2	0	0
A.C	0	0	4	2	2	1
INAH	0	0	2	1	0	0
Otra	2	1	4	2	0	0
No sabe	78	39	42	21	44	22
<b>Motivos</b>						
Descubrimiento de las cuevas	0	0	58	29	0	0
Conservación	8	4	12	6	46	23
Apoyos	2	1	8	4	0	0
Decisión del gobierno	4	2	2	1	2	1
No sabe	86	43	20	10	52	26

Fuente: Elaboración propia

*Conocimiento de causa:* En las comunidades de estudio se registran diferentes motivos que los llevó a certificar un ADVC. En San Pedro Huamelula, más del 80% de los encuestados indicaron no saber por qué decidieron certificarla y es que, a pesar de tener un padrón amplio de comuneros registrados (965) (RAN, 2017), parte de la población (10 000 habitantes, distribuidos en 2 281 familias) no tiene derechos sobre las tierras de uso común, ni acceso a las asambleas. En Unión Zapata más que el 60% de los encuestados sabía que la presencia de vestigios de maíz, frijol y calabaza en cuevas ubicadas en el núcleo agrario fue la principal causa para la certificación; al respecto uno de los entrevistados menciona “*ser comisariado requiere tiempo y ya el INAH había ido a ver las cuevas, nos dijeron que podíamos obtener proyectos por esas cuevas, pero que teníamos que cuidarlas*”. En 2010 la UNESCO denominó el corredor Yagul - Mitla (que incluye las cuevas de Unión Zapata) como Patrimonio Cultural de la Humanidad, sin embargo, una cuarta parte de los encuestados expresó no conocer la razón de la certificación. En San Marcos Arteaga el 52% declaró desconocer los motivos de la certificación, sin embargo el 42% señaló que la conservación fue la causa principal; “*conservar el Cerro de la Culebra era importante, así ya no cazan los venados*” comentó uno de los entrevistados. En este núcleo agrario a diferencias de los otros estudiados se registra el señalamiento de la destrucción de los bosques, por lo que es importante protegerlos, una percepción que ha sido aumentada por el regreso de migrantes quienes valoran los paisajes por sus fines recreativos y tienen estilos de vida que aprovechan menos los recursos naturales locales.

En San Pedro Huamelula, uno de los entrevistados que fungió como Comisariado y Presidente Municipal, narra cómo decidieron certificar: “*Vinieron varias gentes y nos explicaron lo que está pasando con los bosques y la importancia de las áreas de conservación, por eso decidimos que sí debíamos certificar, porque nosotros solos no hubiéramos hecho nada, nosotros vivimos al día*”.

Los motivos que llevaron a certificar son diferentes en cada caso, no obstante, en todos ellos existe la influencia de actores cercanos a las instituciones gubernamentales encargadas de promover este tipo de espacios, a través de la reflexión sobre la importancia de los bosques y los beneficios que podrían obtener por esta acción.

*¿Quiénes tomaron la decisión?* La certificación del ADVC en los tres núcleos agrarios fue una decisión de los pobladores con derechos agrarios (ejidatarios/comuneros), puesto que las tierras donde se establecen son de uso común. Cabe señalar de los hijos de los comuneros, avecindados y poseionarios se muestran inconformes, ya que a pesar de no tener derechos, ni voz ni voto en las decisiones concernientes a las áreas de usos común, son usuarios de los recursos y han sido partícipes en actividades (como la habilitación de accesos) o eventos (de difusión) relacionados con estas áreas.

La Asamblea en general se realizan con la asistencia de al menos el 50% de los ejidatarios o comuneros registrados, sin embargo, cada núcleo agrario tiene sus particularidades. En Unión Zapata la asistencia a las reuniones regularmente alcanza el 100%, los que faltan deben justificar su ausencia, de lo contrario deben pagar una multa. En San Pedro Huamelula el funcionamiento es similar al de Unión Zapata (pagan multa por no asistir) y, a pesar de que la Asamblea está integrada por casi 1 000 comuneros dispersos en 14 agencias, casi siempre acuden entre 700 y 750. En el caso de San Marcos Arteaga, la Asamblea se realiza a pesar de la falta de quórum, de un total de 70, frecuentemente asisten de 20 a 30 y aunque existen sanciones al igual que en los otros núcleos, estas no se aplican, debido a que quieren evitar ‘más problemas’, ya que las relaciones sociales al interior de éste, no son del todo armoniosas y son tan añejas como el origen del núcleo.

De los 18 encuestados con derechos en San Pedro Huamelula, sólo ocho participaron en la certificación (menos del 50%); el resto vincula su inasistencia a los gastos económicos que significa asistir a la asamblea (\$ 320 pesos por persona, sin incluir los alimentos), por lo que es mejor pagar la multa (\$ 200 pesos). En el caso de Unión Zapata, de los 34 encuestados que forman parte de la Asamblea, 22 participaron, los otros 12 adquirieron sus derechos después de la certificación o se encontraban viviendo en Estados Unidos. En San Marcos, de los 11 comuneros encuestados solo seis participaron en la certificación del ADVC, los otros cinco mencionan que no asistieron debido a problemas personales con el comisariado (falta de reconocimiento como autoridad), por lo que prefieren no asistir para evitar mayores conflictos.

En los tres núcleos agrarios, la forma de participación en la certificación incluyó la promoción dentro de la Asamblea, votando a favor de ella, además de la integración al trabajo de campo (recorridos para verificación de linderos, vegetación y fauna).

En San Pedro Huamelula y Unión Zapata mencionaron que su participación fue solo a través de la asistencia a las reuniones. Un 5% de los encuestados de Unión Zapata también apoyaron en los recorridos para el reconocimiento del área. En San Marcos Arteaga el 77% de los entrevistados asistieron a las asambleas (11% de los cuales fueron promotores del ADVC), 33% también participó en los recorridos planeados por la CONANP y asociaciones civiles. En San Pedro Huamelula, la Ventana A.C. elaboró el Ordenamiento Territorial y la Estrategia de Manejo; en Unión Zapata fue el Grupo Mesófilo (ONG); y en San Marcos Arteaga, el Grupo Econativo.

*Conocimiento sobre la certificación del ADVC:* Los integrantes de las Asambleas aprobaron la certificación del ADVC, así como el periodo de vigencia. En San Pedro Huamelula, el 88.9% de los encuestados reconoce la certificación, el 40.6% de los habitantes sin derechos también conocen la designación, sin embargo, en ambos casos ignoran la vigencia del certificado. Uno de los avecindados<sup>2</sup> de Playa Grande (que señala ser afectado por la designación) refiere: “*nosotros no sabíamos que la agencia estaba dentro de la reserva, porque no sabíamos que ya era una reserva. A los que no somos comuneros no nos toman en cuenta y somos los que vivimos aquí; los comuneros que viven en esta agencia somos pocos y cuando votamos en las asambleas, nos ganan los de la cabecera municipal, que no saben nada de este lugar, ni vienen aquí*”. Es necesario señalar la dificultad para informar y consensuar las decisiones en un núcleo agrario con casi nueve mil habitantes distribuidos en 14 agencias. Lo cual se observa en la manifiesta sorpresa cuando se les recuerda que la certificación del ADCV es a perpetuidad, ya que no recuerdan haber sido informados y votado sobre dicha decisión. Su preocupación es evidente cuando expresan la pregunta “*¿Qué va a pasar con nuestras tierras?*”.

En Unión Zapata, el 85.5% de los ejidatarios tiene conocimiento de la certificación, así como el 68% los habitantes sin derechos; ambos grupos de pobladores saben de la vigencia del área. Los pobladores que no son ejidatarios señalan que se enteran de las decisiones de la Asamblea, porque al menos uno de los integrantes de cada familia si lo es, por lo que la información llega de manera efectiva. En el caso de San Marcos Arteaga, el 90.9% de los encuestados señala conocer la certificación del Cerro de la Culebra como área protegida, así como del periodo de vigencia. La información ha llegado a los habitantes de este núcleo agrario a través de su difusión en la radio local.

La decisión de certificar un ADVC en los núcleos agrarios en estudio, aparentemente fue de los integrantes de la Asamblea, no obstante, la participación sigue siendo ambigua, ya que ésta solo consistió en asistir las reuniones, sin involucrarse en otras fases del proceso.

*Vigilancia:* En San Pedro Huamelula esta actividad fue estipulada hace 25 años por la Asamblea, mucho antes de la certificación del ADVC, con el fin de vigilar el territorio y prevenir la extracción de recursos naturales por parte de foráneos. La vigilancia se sigue realizando sin recibir remuneración alguna, sin embargo, hace un par de décadas la CONANP integró a un grupo de habitantes de Playa Grande (agencia de San Pedro), al programa de protección de tortugas, por la cual si reciben un pago durante cuatro meses.

En Unión Zapata la vigilancia comenzó tres años antes de la certificación, con el interés de resguardar las pinturas rupestres de las diferentes cuevas. En San Marcos Arteaga también inició tres años antes de la certificación; los comuneros de éste núcleo advierten que comenzaron con el cuidado de esta zona, porque se enteraron que a Santo Domingo Tonalá donde se ubica el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá y propietarios ADVC denominada las Huertas recibieron apoyo de la CONANP para realizar esta actividad, por lo que también ellos podrían obtener los mismos recursos y utilizarlos en la gestión del núcleo agrario.

---

<sup>2</sup> Los avecindados de Playa grande (agencia ubicada dentro del ADVC) que utilizan los recursos de las áreas de uso común, señalan que deberían ser informados de las decisiones tomadas por los comuneros, ya que si bien no tienen derecho para decidir, si son usuarios directos de los recursos naturales en dichos sitios.

Los habitantes de las tres comunidades señalan que la vigilancia de las ADVC se debe a la certificación. En Unión Zapata fue establecida desde la Asamblea, designando al comisariado (junto con su cabildo) responsable de la organización de esta actividad. Las autoridades de San Pedro Huamelula señalan que en cada una de las agencias pertenecientes al municipio existe un guardabosque que se encarga de la vigilancia.

No obstante, al momento de indicar al responsable del cuidado del uso de los recursos forestales, se mencionan a diversos actores como la Asamblea, el agente municipal, instituciones como PROFEPA/SEMARNAT, los integrantes de la cooperativa (formada en 2013, para el proyecto de ecoturismo) y/o el comisariado. Esta confusión puede ser originada a partir de la Asamblea, ya que como se mencionó el número de integrantes es alto y frecuentemente participan todos los personajes antes mencionados; a ello se suma la dispersión de las agencias del núcleo agrario y los avisos por parte de la PROFEPA, en algunas de ellas sobre las sanciones por la extracción ilegal de recursos naturales; estas últimas entendidas como advertencias por parte del gobierno, para dejar de utilizar los recursos que les pertenecen. En San Marcos Arteaga la situación es similar, la gente advierte que los encargados de vigilar son el comisariado, la asamblea y/o la CONANP, por sus visitas relativamente frecuentes (cada dos meses) a la comunidad. Llama la atención que en los tres casos, los encuestados no se señalan a sí mismos como responsables del cuidado de la naturaleza, la adjudican a otros.

*Trabajo y capacitación:* Algunos de los habitantes de los tres núcleos agrarios han trabajado en el ADVC (reforestando, construyendo brechas contra fuego, entre otras actividades) con el fin de restaurar las zonas degradadas, estas actividades forman parte de las responsabilidades adquiridas con la certificación y remuneradas a través de pagos de jornales por la CONANP, el número de beneficiarios y el tiempo en que el beneficio es recibido varía de acuerdo con cada núcleo agrario.

La participación de los pobladores en los tres núcleos agrarios que es cercana al 25% (20% en San Pedro Huamelula, 28% en Unión Zapata y 28% en San Marcos Arteaga), se limita a realizar actividades relacionadas con el ADVC que ofrecen un pago. Al respecto, los encuestados de Unión Zapata mencionan que los recursos económicos (designados para pagar los jornales) no son suficientes para incluir a todos los integrantes de la Asamblea, por lo que la participación es rotativa. En San Marcos Arteaga, la asignación para el pago de jornales como empleo temporal señalan los encuestados ha sido suficiente, ya que la participación es baja, debido a que muchos de los comuneros prefieren dedicarse a sus ocupaciones habituales, porque el tiempo que dura el trabajo es reducido.

Otra forma de participar en acciones vinculadas al ADVC es en la capacitación, la cual se ofrece (con temas designados desde fuera de las localidades) en los tres núcleos agrarios por la CONANP, CONAFOR y de manera particular en San Marcos Arteaga por el Proyecto Mixteca; sin embargo, la asistencia al último de estos fue de 8 a 14 personas. Por otro lado, los pobladores de Unión Zapata señalan que los obligados a asistir a las capacitaciones son los integrantes del Comisariado (14 integrantes), para los demás es opcional y la mayoría no acude porque no tienen tiempo. En San Pedro Huamelula indican que cada año los ‘biólogos’ de la CONANP dan pláticas sobre la naturaleza y la mayoría de los pobladores las han escuchado, por lo que muchos ya no asisten: *“cada año los biólogos vienen a dar curso, siempre nos hablan del ambiente, a veces vamos, cuando tenemos tiempo, los que están en las brigadas de vigilancia de tortugas, tienen que ir, es obligatorio”*.

En San Marcos Arteaga señalan que las capacitaciones no son obligatorias, asiste quien quiera, pero hay muy poca asistencia por que se realizan en horarios de trabajo.

Los testimonios de los pobladores de los núcleos agrarios estudiados indican actividades relacionadas con las ADVC, no obstante en ninguna de ellas parece funcionar, ya que en ciertas comunidades la integración de todos aquellos que quieren participar es casi imposible y en otras no les interesa por el tiempo de trabajo y la remuneración que se les ofrece, lo cual alude nuevamente a la falta de conocimiento o atención a las características particulares de cada núcleo agrario; lo cual también se observa en la planificación de las capacitaciones, a las cuales los ejidatarios y comuneros no asisten por falta de tiempo o interés, ya que en algunos casos se han impartido más de una vez.

## 2.5 Beneficios

*Ecoturismo:* Esta actividad ha sido propuesta por la CONANP para establecerse en las ANP (incluidas las ADVC) como elemento clave para fomentar el desarrollo de la población. Para el caso de los tres núcleos agrarios incluidos en este trabajo, el personal de dicha institución también gestiona el proyecto y planifica según el potencial que ofrece cada sitio. Del 58 al 76% de los habitantes de los núcleos agrarios saben del proyecto ecoturístico; pero el porcentaje que participa directamente va del 3 al 7%.

En San Pedro Huamelula, los socios que forman parte del proyecto pertenecen a una cooperativa constituida en 2013 y recibieron un millón 300 mil pesos de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) destinados a la construcción de un restaurante y un muelle junto a la laguna de Mascalco. De los 965 comuneros registrados en el núcleo agrario conformado por 14 agencias, los beneficiarios actuales (que reciben un apoyo económico por pago de jornales) son sólo 3 de las agencias Morro Ayuta, El Coyul y Playa Grande.

En Unión Zapata el objetivo de ecoturismo se enfoca a realizar recorridos por las cuevas para observar los registros arqueológicos del maíz y las pinturas rupestres. En el año 2015, el núcleo agrario recibió 100 mil pesos por parte de la CONANP, de los cuales 50 mil se invirtieron en una plataforma de observación del paisaje, propuesta por dicha institución. Además parte de este presupuesto se utilizó en gasolina, herramientas, pago de técnicos externos para la revisión de las cámaras fijas establecidas en toda el ADVC y el pago a un instructor de un curso sobre turismo. En este sentido, un comunero de Unión Zapata señala: *“vinieron a dar un curso para el ecoturismo, pero casi nadie fue. Dan cursos, pero si no hay puente no van a poder pasar los turistas y eso es lo importante. Le pagaron como 30,000 pesos a una señora que dio un curso de tres días pero nadie fue, así qué chiste y además es de la misma gente del gobierno. El dinero que nos deberían de dar a nosotros se lo quedan ellos mismos, ¿de qué sirve que digan que a Unión Zapata le dieron \$ 250 mil pesos, si ellos [CONANP] deciden en qué se va a gastar y la mayoría es para ellos mismos?”* La gente considera como una necesidad construir un puente para facilitar el acceso del turismo a las cuevas, pero las instituciones no responden a esta petición.

En San Marcos Arteaga el proyecto turístico está en proceso y, por la lejanía del ADVC (a 8 km del centro poblacional), se inició en un área más cercana (1.5 km), conocida como La Angostura. Parte del dinero proporcionado por la CDI y la CONANP se utilizó para la elaboración de materiales de promoción como playeras, posters y calendarios, que hacen referencia tanto a El Cerro de la Culebra como a La Angostura; la participación de los habitantes se limitó a la venta de esos artículos.

Los colaboradores en el proyecto de ecoturismo de los tres núcleos agrarios, aún no tienen beneficios estables, ocasionalmente reciben el pago de jornales por realizar trabajos relacionados con éste. Los socios en San Pedro Huamelula señalan que continuarán en él y esperan que en el futuro haya ganancias económicas, tal vez no para ellos, pero sí para sus hijos e indican *“nosotros hemos trabajado y tenemos la certificación [refiriendo a los compromisos adquiridos con el proyecto de ecoturismo ante la CDI] de que estaremos en el proyecto por 50 años”*. No obstante, los comuneros que no participan indican que la Asamblea acordó que la integración al proyecto era rotativa, es decir, que todos los que poseen derechos en el núcleo agrario tendrían la oportunidad de participar y señalan: *“la asamblea quedó que los puestos en la cooperativa se irían rotando, porque todos tenemos derecho a participar, aunque los que están ahora digan lo contrario”*.

En Unión Zapata esperan que a largo plazo el ADVC les brinde ganancias, ya que están en un corredor turístico importante (Oaxaca-Mitla) y han observado que de esta actividad se obtienen beneficios económicos importantes, por lo que seguirán trabajando para mantenerla de manera permanente. En este caso es responsabilidad del comisariado ejecutar el proyecto, pero todos deben trabajar para conseguir cimentarlo. Los habitantes de San Marcos esperan que a largo plazo el ecoturismo les brinde empleos a sus habitantes, sobre todo para que en los jóvenes se queden en la comunidad.

*Programa de Empleo Temporal (PET)*: es auspiciado por la SEMARNAT y el pago a los habitantes es de \$150 pesos por jornal. Las actividades y duración las define la CONANP y en cada núcleo agrario existen grupos directamente beneficiados. En San Pedro Huamelula, específicamente en Playa Grande, se emplean recursos PET para pagar los recorridos vigilancia del desove de las tortugas durante cuatro meses, que representa \$18 000 pesos para cada uno de los 12 participantes. En Valles Centrales, los beneficiarios permanentes son los integrantes del comisariado ejidal. Pero existen otras actividades donde el resto de habitantes se integran. En San Marcos Arteaga hacen trabajos de reforestación y construcción de obras de conservación, también como parte del PET. En San Pedro Huamelula, cada involucrado recibió un poco más de \$1 650 pesos, \$1 050 en Unión Zapata y \$ 600 en San Marcos Arteaga. Los encuestados señalan que a los integrantes del comisariado se les entrega el recurso y ellos son quienes deciden la forma en que lo distribuyen. En San Marcos Arteaga el número de días trabajados fue mayor que en los otros núcleos agrarios (tabla 2.6).

**Tabla 2.6** Número de encuestados (de los 50) que participaron en actividades relacionadas con el ADVC, así como los ingresos captados por persona en los tres núcleos agrarios de Oaxaca

Actividad	San Pedro Huamelula	Unión Zapata	San Marcos Arteaga
Reforestación	6	19	11
Obras de conservación	2	0	4
Vigilancia	4	4	8
Combate contra incendios	6	1	4
Monitoreo de flora y fauna	0	0	1
Número total de participantes	19	19	13
Días trabajados por persona	11	7	4
Promedio de ingresos /persona/año	1650	1050	600

*Fuente: Elaboración propia*

*Pago por servicios ambientales (PSA)*: Las ADVC poseen ventajas al realizar solicitudes PSA, sobre las áreas sin certificado de protección, ya que por su condición de ANP se les asigna mayor puntaje en la dictaminación. En el caso de los tres núcleos estudiados, ninguno ha sido beneficiado por este programa; aun así, algunos de los encuestados señalan que sí hay PSA pero sus autoridades no lo informan y tampoco distribuyen los recursos; la información relacionada con los recursos económicos no siempre es compartida con los comuneros, por lo que desconfían de sus autoridades.

*Creación de empleos y mejora de la infraestructura de los núcleos agrarios*: Los encuestados de dos núcleos agrarios reconocen que la certificación de un ADVC trajo consigo la creación de empleos temporales. En Unión Zapata el 36% señala que la creación del museo representó un avance y en San Marcos Arteaga el 32% de los encuestados indicaron cambios positivos en la limpieza en las vías de acceso al ADVC y La Angostura. En San Pedro solo el 2% reconoció cambios, pero no los mencionaron (tabla 2.7).

**Tabla 2.7** Porcentaje de encuestados de los tres núcleos agrarios que señalan los beneficios por la certificación del ADVC, en distintos rubros

Beneficio	San Pedro Huamelula	Unión Zapata	San Marcos Arteaga	Observaciones
Piensen que hay pago por servicios ambientales	6	6	16	Los que respondieron que sí, no saben a quién le dan el dinero.
Consideran que se crearon empleos por el proyecto ecoturístico	20	74	74	
Consideran que se crearon empleos por otros proyectos	18	0	14	En Huamelula, la CONANP ha integrado proyectos de vivero. En San Marcos Arteaga, el proyecto en La Angostura es considerado ajeno al ADVC.
Indican que ha habido mejora de la infraestructura en su núcleo agrario	2	36	32	

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.5 Costos

*Acceso y uso de los recursos:* Antes de la certificación del ADVC, para tener acceso y hacer uso de los recursos naturales de las áreas de uso común, los pobladores de los tres núcleos agrarios seguían las reglas establecidas en las asambleas comunitarias, que incluían no hacer destrozos o desperdiciar recursos, evitar cazar de manera indiscriminada y extraer cantidades excesivas de leña para venderla.

A partir de la certificación ha aumentado el número de personas que pide autorización para ingresar a las ADVC para aprovechar los recursos de alguna forma. En los tres núcleos agrarios consideran que actualmente es más difícil e incómodo tener acceso a los sitios donde antes solían ir a cazar, extraer leña o pasear, debido a que tienen que pedir permiso al comisariado.

En San Pedro Huamelula indican que la certificación del área para la protección de la naturaleza trajo consigo mayor vigilancia por parte de las instituciones de gobierno, como PROFEPA, CONAFOR y CONANP. La primera de ellas utiliza el aparato de sonido de las distintas agencias municipales para advertir sobre la prohibición de la cacería, y la extracción de leña y madera, enfatizando las sanciones en que incurrirían por realizar dichas actividades. A los habitantes les parece un problema ya que, al vivir en una comunidad rural, les resulta indispensable hacer uso de los recursos naturales. La población de Unión Zapata considera que la certificación del ADVC ha limitado la recolección de leña, que es más abundante en esa área, pero a la vez consideran que es necesario el permiso que no se otorga de manera permanente. Como no tienen acceso a gas, esta situación les ha obligado a recoger todo tipo de material que pueda ser quemado, como carrizo, pencas (hojas) de agave, trozos de árboles que no son buenos para leña, entre otras. Incluso, comúnmente realizan la recolección de material combustible sin el permiso de los dueños de terrenos en localidades aledañas. Otra manera de conseguir leña es comprándola pero su costo es alto. En Unión Zapata advierten que el haber hecho el “contrato” (refiriéndose a la certificación del ADVC) es como haber vendido al gobierno esa área y les preocupa lo que sucederá a futuro.

Los pobladores de San Marcos Arteaga esperan que la certificación del ADVC contribuya a la conservación de los recursos naturales, aunque mencionan que les incómoda tener que pedir permiso para acceder a al área protegida y usar recursos que son de uso común.

## 2.6 Agradecimientos

A los habitantes de San Pedro Huamelula, Unión Zapata y San Marcos Arteaga por su apoyo en la realización del proyecto de investigación. Al personal de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por las facilidades para realizar el contacto con los habitantes de las regiones. La primera autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No 100079.

## 2.7 Discusión y conclusiones

*Participación:* Los resultados de este trabajo, muestran la escasa participación de los pobladores locales en la gestión de las ADVC (incluido el proceso de certificación). Considerando la clasificación de Pimbert y Pretty (1995), se puede decir que en los tres núcleos agrarios estudiados ocupan los eslabones más bajos que incluyen la pasiva, por extracción de información, consulta e interés en incentivos. Este resultado no es nuevo, ya que, autores como Hensler y Merçon (2020) señalan que el tipo de participación más común en el diseño, la delimitación y la definición de las reglas de una ANP en México es una “participación simbólica” (Según Arnstein [1969] incluye información, consulta y apaciguamiento). Estos mismos resultados los han encontrado Méndez-López et al. (2014) que estudiaron la participación local en tres esquemas de conservación (áreas protegidas, esquemas de pagos por servicios ambientales y conservación basada en la comunidad) en el sureste de México, encontrando que más de dos tercios de las personas que encuestaron no participaron en ninguna actividad explícitamente relacionada con iniciativas de conservación en sus comunidades (creación, diseño o implementación). Asimismo observan que el 62% en comunidades con iniciativas de PSA y el 77% de los informantes en comunidades con las áreas conservadas por pueblos indígenas y comunidades locales (ICCA) tampoco participaron en este tipo de iniciativas locales de conservación.

Un factor central observado en este trabajo que afecta la participación en la gestión de las ADVC es el funcionamiento de la Asamblea General, el cual es un espacio donde se toman las decisiones para la gestión de las ADVC. Según los integrantes de los distintos núcleos agrarios, estos espacios no funcionan de manera adecuada por diversas causas; una de ellas es el número de integrantes. En San Pedro Huamelula, el quorum es comúnmente mayor a 700 comuneros, lo que vuelve a las reuniones desordenadas y poco ágiles para la toma de decisiones, por lo que es común que las decisiones regresan a las manos del comisariado (Assennatto y De León, 1996), quien habitualmente es influenciado por actores externos, como el personal de la CONANP y de organizaciones civiles. Otro elemento que influye directamente en el tipo de participación es el conocimiento previo del tema a tratar.

Los que opinan en la Asamblea son, en su mayoría, líderes que han tenido algún cargo y poseen relaciones con el personal de las instituciones promoventes, el resto sólo vota, a veces sin entender por completo el tema tratado.

La escasa y raquítica designación de recursos por parte del Estado, a través de programas y proyectos, también limita la participación de los pobladores, ya que el número de beneficiarios siempre es mucho menor que los interesados en participar y esto ocasiona conflictos, por considerarse ‘desparejo’ e ‘injusto’. En San Pedro Huamelula señalan: *“los familiares y amigos del agente municipal siempre les toca participar en el trabajo que traen los de la CONANP”*. En Unión Zapata comentan: *“se supone que vamos participando conforme a la lista del comisariado, pero a mí nunca me ha tocado, no sé si es por mi apellido que va al final y vuelven a empezar y no alcanzo lugar”*. En San Marcos Arteaga no mencionaron problemas con la integración a las actividades determinadas por la CONANP y señalan que ha beneficiado a sus habitantes.

*Beneficios:* Los indicados por los pobladores de los núcleos agrarios son el PET y el proyecto de ecoturismo, los cuales, sólo llegan a una pequeña parte de los habitantes. Asimismo, consideran que los apoyos destinados al desarrollo del ecoturismo son poco útiles, como en el caso de la plataforma de observación construida en Unión Zapata, donde la obra prioritaria es la construcción de un puente que permita el acceso de los turistas (en vehículos) a las cuevas. Los ejidatarios comentan: *“nosotros hemos pedido que se construya el puente, pero dicen que sale muy caro y que no hay dinero; esa cosa [refiriéndose a la plataforma] no sirve, allí se perdió el dinero y nuestro tiempo”*. Este comentario ejemplifica, como las necesidades observadas por los pobladores locales para avanzar en el proyecto, no son consideradas, y las obras a realizar dentro de las ADVC son fijadas de manera vertical, relacionadas posiblemente con el presupuesto asignado a estas anualmente, ya que recordemos que no existe una partida especial para su funcionamiento.

Otro de los beneficios por la certificación del ADVC debería ser la capacitación, no obstante, su contenido refleja agendas externas, que presentan el ecoturismo como única opción viable para el cuidado del ADVC y el desarrollo de la comunidad. Los pobladores no parecen estar interesados en los cursos que les ofrecen, lo que evidencia la diferencia de intereses de dichos actores.

*Costos:* Los pobladores no indican algún costo, sin embargo, si identifican problemas generados por la certificación de las ADVC. Uno de ellos es la exclusión de la mayoría de comuneros de actividades como empleo temporal. Otro problema se relaciona con los vecindados y posesionarios, ya que estos se sienten relegados en temas que dicen ser de su interés. En el caso de San Pedro Huamelula, la mayoría de los comuneros vive en la cabecera municipal y toma decisiones sobre las áreas de uso común, sin considerar a los habitantes que viven en las agencias que también necesitan hacer uso de los recursos naturales del ADVC.

En Unión Zapata, los encuestados excluidos comentan: *“A las asambleas asisten solo ejidatarios registrados y la mayoría son señores grandes, que tienen ideas antiguas. Los ejidatarios reciben beneficios y nosotros no”*. *“A El Fuerte [ahora ADVC] podíamos ir todos, ya sea a recoger leña o de paseo, pero ahora hay que pedir permiso y para no tener problemas mejor no vamos, a ver qué van a hacer los ejidatarios con esa área”*

Muchos de los comuneros de San Marcos Arteaga migraron el siglo pasado por trabajo a Estados Unidos de América. Después de décadas regresaron a formar parte de la Asamblea, pero los habitantes que siempre vivieron en la comunidad sin tener derechos señalan *“los agraristas [los comuneros] son personas que no saben nada de la comunidad, se fueron muchos años y ahora quieren venir a mandar, los que hemos vivido siempre aquí no somos comuneros”*.

Algunos autores como Durand (2014), Dressler et al. (2010) y Büscher et al. (2012), señalan que el ecoturismo puede servir punta de lanza para incorporar poblaciones rurales dentro de nuevos mercados, resultando a veces en procesos de enajenación y privatización. En el caso de los núcleos agrarios estudiados esta reconfiguración aún no es evidente, y las inversiones privadas todavía no se han hecho presentes. Sin embargo, el tema sobre el despojo está presente, ya que como lo menciona un expresidente del comisariado de San Pedro Huamelula señala: *“¿Por qué si somos los dueños de los lugares con atractivos para el turismo, siempre terminamos como mozos?”*.

Las poblaciones locales participan de manera limitada en la gestión de las ADVC, la cual tiene que ver con su organización interna y la forma en que el Estado interviene, al vigilar y guiar la gestión pero sin otorgar un presupuesto operativo base. Los escasos recursos que les son otorgados se fragmentan en actividades poco significativas para el proyecto y se avanza sin una planeación basada en la idea de la co-gestión. En este sentido Horwich y Lyon (2007), consideran necesario que los núcleos agrarios cuenten con financiamiento constante, aunque sea pequeño, que se canalice a los intereses de las poblaciones locales, lo que ayudaría a incentivar más su participación

Por otra parte, la amplia labor de CONANP en el estado de Oaxaca para la creación de las ADVC, parece haber sido sin considerar el presupuesto para el establecimiento y operación de cada una de ellas. Así con los actuales recortes presupuestales del gobierno en el rubro ambiental, para el 2017 fue del 37.6% (Transparencia presupuestaria, 2017) se reducirá aún más la inversión pública en estas áreas. Lo anterior abre la puerta a la inversión privada y como señalan Massé y Guzmán (2015), la propiedad social queda vulnerable frente el capital privado. En el caso de los tres núcleos agrarios incluidos en este estudio, los proyectos ecoturísticos se encuentran en una etapa inicial y operan con recursos federales. Sin embargo, González y Vázquez (2016) señalan que poblaciones con proyectos ecoturísticos de este tipo podrían estar en riesgo, ya que existen antecedentes de despojo utilizando esta actividad económica para llevarlo a cabo, incluso siendo ANP.

Aunque el artículo 77 de la LGEEPA subraya que la Secretaría otorgará la asesoría técnica necesaria, la estrategia de conservación en las tres ADVC incluye elementos que la mayor parte de la población no conoce (zonificación, uso sustentable, uso tradicional, restauración, entre otras) y los documentos relacionados terminan siendo elaborados por actores externos (técnicos de la CONANP, ONGs, entre otras). Para lograr que las poblaciones locales se interesen y participen en la conservación de los recursos naturales, es necesario atender sus necesidades básicas y dejar que ellos definan el propósito de sus bosques; así los pobladores locales tal vez tengan la motivación y el compromiso para llevarlo a cabo.

La participación genuina en la planeación del desarrollo territorial, donde se acuerde el uso de herramientas como el OTC y la certificación de ADVC pueden apoyar en la construcción de un medio de vida sustentable. Pero existen obstáculos como la falta de presupuesto y los recortes al sector ambiental, además de la apertura de espacios de planeación con una visión en común, la imposición de soluciones genéricas (como el ecoturismo), instituciones (agrarias) deficientes, participación de terceros (ONGs) con otros intereses, y la pobreza entre otras. Las iniciativas que pretenden la integración de las poblaciones locales en la gestión de las ANP deben ser transparentes al momento de promoverlas, señalar las ventajas y desventajas de la certificación, ya que, al ceder parte de sus áreas de uso común pierden el control de sus derechos sin recibir beneficios.

Este estudio muestra que la participación local es baja en la gestión de las ADVC, contrario a lo esperado, debido a que la connotación de voluntario la muestra como una “iniciativa de la comunidad”, por lo que la participación sería activa. Sin embargo, los resultados indican que en los núcleos agrarios estudiados, la decisión de certificar no surge directamente de éstos. Asimismo, el contexto cultural y ambiental local son parte esencial en la configuración de la participación de los interesados en procesos de toma de decisiones y gestión de las ADVC. Estas áreas de conservación basadas en la comunidad, aun y cuando está planificada para que ejidatarios y comuneros tomen las decisiones sobre su gestión, todavía no lo es, por lo que existe una tensión entre estas y los encargados de promoverlas. Es necesario seguir el monitoreo de los avances de esta modalidad de ANP, con la finalidad de visualizar las diversas situaciones que deben mejorarse a través de la modificación de ciertos lineamientos o patrones establecidos de gestión de otras áreas de conservación.

## 2.8 Referencias

Agrawal, A. y Gibson, C. (1999). Enchantment and Disenchantment: The Role of Community in Natural Resource Conservation. *World Development* 27 (4): 629-49.

Anta-Fonseca, S. (2007). *Áreas Naturales de Conservación Voluntaria*. México: Inicitiva Cuenca.

Antinori, C. (2007). Integración vertical en las empresas forestales comunitarias de Oaxaca. En D. Barton, L. Merino y B. Deborah (Eds), *Los Bosques Comunitarios de México. Manejo Sustentable de Paisajes Forestales* (págs. 303-42). México: SEMARNAT, INE.

Assennatto, B. S. y De León Mojarro, P. (1996). La democracia interna en el ejido. *Estudios Agrarios*, (julio-septiembre), 1-16.

Bass, S., Dalal-Clayton, B. y Pretty J. (1995). Participation in strategies for sustainable development. *Environmental Planning Issues*. London, UK.: Environmental Planning Group.

Berkes, F. (2004). Rethinking Community-Based Conservation. *Conservation Biology* 18 (3), 621-630. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00077.x>

Bezaury-Creel, J. y Gutiérrez, D. (2009). Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. En R. Dirzo, R. Gonzáles y I. March (Eds.), *Conservación de la biodiversidad en México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 398-425). México: CONABIO.

Brown, K. (2002). Innovations for Conservation and Development. *Geographical Journal* 168 (1), 6-17.  
Büscher, B., Sullivan, S., Neves, K., Igoe, J. y Brockington, D. (2012). Towards a synthesized critique of neoliberal biodiversity conservation. *Capitalism Nature Socialism*, 23 (2), 4-30.

Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. (2017). Ley Agraria: Últimas reformas. *Secretaría General de Servicios Parlamentarios*. DOF 27-03-2017: 1-46. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/384/cap2.html>.

Canedo, G. (2008). Una conquista indígena. Reconocimiento de municipios por usos y costumbres, Oaxaca (México). En Alberto Cimadamore (editor), *La Economía Política de la Pobreza* (pp.401-26). Buenos Aires: CLACSO.

Chapin, M. (2004). A Challenge to conservationists. *World Watch*, 17 (6), 17-31.

Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2020). Áreas Protegidas Decretadas. [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/).

Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2014). Guía para la certificación y manejo de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106215/Gui\\_a\\_para\\_la\\_Certificacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_A\\_reas\\_Destinadas\\_Voluntariamente\\_a\\_la\\_Conservacio\\_n.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106215/Gui_a_para_la_Certificacion_y_Manejo_de_A_reas_Destinadas_Voluntariamente_a_la_Conservacio_n.pdf)

- Dressler, W., Büscher, B., Schoon, M., Brockington, D., Hayes, T., Kull, C. A., McCarthy, J. y Shrestha, K. (2010). From hope to crisis and back again? A critical history of the global CBNRM narrative. *Environmental Conservation* 37 (1), 5-15.
- Durand, L. (2014). ¿Todos Ganan? Neoliberalismo, naturaleza y conservación en México. *Sociológica* 29 (82), 183-223.
- Durand, L. Figueroa, F. y Trench, T. (2014) Inclusion and exclusion in participation strategies in the Montes Azules Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Conservation and Society* 12(2): 175-189.
- Escalante, N. L. (2014). Una mirada desde las prácticas comunitarias a las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación. Casos de estudio: Oaxaca y Chiapas. *Textual* 63, 103-112.
- Goldman, M. (2003). Partitioned nature, privileged knowledge: Community Based Conservation in the Maasai ecosystem, Tanzania. *Development and Change* 34 (5), 833-862.
- Hensler, L. y Merçon, J. (2020). Áreas Naturales Protegidas como territorios en disputa: intereses, resistencias y acciones colectivas en la gestión compartida. *Sociedad y ambiente* 22: 181-211.
- Horwich, R. y Lyon, J. (2007). Community conservation: Practitioners answer to critics. *Oryx* 41 (3), 376-385.
- Igoe, J. y Brockington, D. (2007). Neoliberal conservation: a brief introduction. *Conservation and Society*, 5 (4), 432-449.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (2009). Las Reformas a la LGEEPA. México: INECC. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/384/cap2.html>.
- INEGI (2010). Medio ambiente. <https://www.inegi.org.mx/datos/>
- Legorreta, C., Márquez, C. y Trench, T. (coords.) *Las paradojas de las tierras protegidas en Chiapas*. México: CEIICH, CRIM y UACH.
- LGEEPA (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente). (2017). Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_240117.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_240117.pdf).
- Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G. y Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación Ambiental*, 1 (2), 179-196.
- Martin, G. J., Camacho Benavides, C. I., Del Campo García, C. A., Anta Fonseca, S., Chapela Mendoza, F. y González Ortíz, M. A. (2011). Indigenous and community conserved areas in Oaxaca, Mexico. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 22 (2), 250-266.
- Massieu, Y. (2017). Simulaciones del Estado Mexicano en La COP13. *Jornada Ecológica: Políticas públicas para un México megadiverso y pluricultural*, 1-31.
- Méndez-López, M. E., García-Frapolli, E., Pritchard, D. J., Sánchez-González, M. C., Ruiz-Mallén, I., Porter-Bolland, L. y Reyes-García, V. (2014). Local participation in biodiversity conservation initiatives: A comparative analysis of different models in south east Mexico. *Journal of Environmental Management* 145, 321-329.
- Massé, M., Marobel, V. y Guzmán, H. C. (2015). El Estado y los megaproyectos turísticos. El caso de Cabo Pulmo, Baja California Sur, México. *Teoría y Praxis*, 18, 101-129.
- Merino, L. y Segura, G. (2007). El manejo de los recursos forestales en México (1992-2002). Procesos, tenencias y políticas publicas. *Instituto Nacional de Ecología*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/363/cap10.html>.
- Parfitt, T. (2004). The ambiguity of participation: a qualified defence of participatory development. *Third World Quarterly* 25(3), 537-555.

- Pimbert, M. y Pretty, J. (1995). Parks, people and professionals: Putting participation into protected area management. *Social Change and Conservation*, (57), 1-15. doi.org/10.4324/9781315066189.
- RAN (Registro Agrario Nacional). (2017). Padron Historico PHINA. Recuperado en <http://phina.ran.gob.mx/phina2/Sesiones>
- Reyes, E. J., Cáceres, R. y Díaz-Aguilar, A. L. (2013). Las apariencias engañan. Conservación, sociedad local y relaciones de poder: el caso de Caño Negro (Costa Rica). *Revista de Antropología Iberoamericana* 8 (3), 369-94.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). (2012). Plan estratégico para la diversidad biológica 2011-2020 y las metas de Aichi. *SCDB*, 1 (514), 1-2.
- SEMARNAT. (2016). *Prontuario Estadístico y Geográfico de las Áreas Naturales Protegidas de México*. México: SEMARNAT.
- Solano, P. y Chacon, C. M. (2008). Conservación voluntaria por la sociedad civil en América Latina. En C. Chacon (Ed), *Voluntad de Conservar* (pp.1-7). San José Costa Rica: The Nature Conservancy.
- Stoll-Kleemann, de la Vega-Leinert, S.C., Schultz, L. (2010). The role of community participation in the effectiveness of UNESCO biosphere reserve management: Evidence and reflections of two parallel global surveys. *Environmental Conservation* 37: 227-238.
- Toledo, V. (2015). *Hacia un molde de conservación bio-regional en regiones tropicales de México: biodiversidad, sustentabilidad y pueblos indígenas*. México: Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Transparencia Presupuestaria (2017). Proyecto de egresos 2017. [http://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/es/PTP/infografia\\_ppef2017#vision](http://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/es/PTP/infografia_ppef2017#vision).
- Trench T. (2017). Exclusión y Áreas Naturales Protegidas: La agenda pendiente de los poblados 'irregulares' en la Reserva de la Biosfera Montes Azules (Chiapas). En: Garcia Garcia A. (coord.) *Extractivismo y neo-extractivismo en el sur de México: Múltiples Miradas* (Págs. 215-252).Texcoco: UACH,
- UICN/PNUMA/WWF. (1991). Cuidar la Tierra. Estrategia para el Futuro de la Vida. Gland, Suiza.
- REDPARQUES, Pronatura México. (2018). Progreso de cumplimiento de la 11 de Aichi en los países de la Redparques: resultados y perspectivas al 2020. CDB, Proyecto IAPA, Unión Europea, WWF, FAO, UICN, ONU Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Von Bertrab, T. A. (2010). Conflicto social alrededor de la conservación en la reserva de la biosfera los Tuxtles: Un análisis de intereses, posturas y consecuencias. *Nueva Antropología* 23 (72), 55-81.

### Capítulo 3 Capacidad de carga turística en el Parque Nacional Islas Marietas, Nayarit, México

#### Chapter 3 Carrying capacity in Marietas Islands National Park, Nayarit, México

LOPÉZ-HUIDOBRO, Ana Luisa†\*, SALDAÑA-DURÁN, Claudia E. y MESSINA-FERNÁNDEZ, Sarah

*Universidad Tecnológica de la Sierra  
Universidad Autónoma de Nayarit*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Ana Luisa, López-Huidobro* / **ORC ID:** 0000-0002-6546-5517

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Claudia E., Saldaña-Durán* / **ORC ID:** 0000-0002-2022-6379

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Sarah, Messina-Fernández* / **ORC ID:** 0000-0002-6529-4818

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.33.49

A. Lopéz, C. Saldaña y S. Messina

analuisa.lopez@utdelasierra.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

La planificación de recorridos turísticos en áreas naturales protegidas es esencial para mitigar los impactos ambientales que estas acciones producen en los ecosistemas visitados. En México existen varias zonas naturales que merecen especial atención para su protección contra daños por visitación turística, entre las que se encuentra el Parque Nacional Islas Marietas (PNIM) en el Estado de Nayarit, México. Con el propósito de valorar el impacto de la afluencia de turistas sobre la conservación de esta área natural protegida, así como sobre la percepción del turista respecto al hacinamiento. Se llevó a cabo el estudio sobre la capacidad de carga turística en el PNIM durante el periodo 2014-2015. Para ello se realizaron visitas a campo y encuestas a turistas se implementó la metodología que se basa en la evaluación de la capacidad de carga física, capacidad de carga efectiva y capacidad de carga real, centrandó el estudio a la zona de Punta de Mita, Nayarit, México. Los resultados obtenidos indican una capacidad de carga efectiva en el límite de visitación, lo que representa una afluencia abundante en los meses de temporada vacacional, que afecta seriamente el lugar visitado, sin embargo, la percepción y satisfacción del turista, no cambió. Se concluye que al verse rebasada la capacidad de carga turística, debe realizarse una revisión y ordenamiento por parte de las dependencias gubernamentales involucradas en la gestión turística del área natural protegida, para regular los beneficios económicos, los impactos ambientales y el manejo adecuado de los recorridos.

### Satisfacción del turista, Visitación, Ecosistema.

#### Abstract

Sightseeing tours in ANP's planning is essential to mitigate the environmental impacts that these actions produce in visited ecosystem. México has natural areas that deserve special attention for their protection by tourist visitation, among which is the Parque Nacional Islas. Marietas (PNIM), for that reason was conducted a study on load carrying capacity tourism during the period 2014-2015, in order to assess the effect of the influx of tourists on the conservation of this protected natural area, as well as the perception of the tourist with respect to overcrowding. For this purpose, were carried out field visits and surveys to tourists. The used methodology is based on the evaluation of physical carrying capacity, effective carrying capacity and real carrying capacity, focusing the study area of Punta de Mita, Nayarit, Mexico. The results shed a carrying capacity effective on the top level of visitation, which represents an influx of abundant during holiday season, affecting seriously the place visited, however the perception and satisfaction of tourists, does not change. It is concluded that the tourist carrying capacity is exceeded, a review and planning by government agencies involved in the tourism management of the protected area, should be to regulate the economic benefits, environmental impacts and the proper handling of the tours.

### Tourist satisfaction, Visitation, Ecosystem.

## 3. Introducción

La actividad turística se caracteriza por representar una fuente generadora de empleo, captación de divisas y desarrollo económico regional, que por su efecto multiplicador promueve el fortalecimiento de las demás actividades productivas, sin embargo, generalmente se ocasionan impactos ambientales negativos principalmente en zonas costeras como lo es en las playas e islas que forman parte importante de los atractivos naturales (Sati, 2018).

Es importante considerar las cadenas de valor que promueven el equilibrio entre los aspectos sociales, económicos y ambientales de un destino, pues el éxito de la actividad turística se encuentra en evaluar todos los eslabones que convergen en un producto o servicio turístico; “esto implica que los actores estén dispuestos a colaborar construyendo objetivos, metas y estrategias comunes, compartir riesgos y beneficios e invertir tiempo y recursos en pro de la satisfacción del visitante del destino turístico” (Yumisaca, Bohórquez, Mendoza, & Gonzabay, 2020).

En el mismo sentido, la tendencia de los turistas actuales se distingue por la predilección de los viajes cortos (que son más frecuentes durante el año que los viajes de estancias más largas que son básicamente de temporada), un servicio más personalizado y diversidad en el producto que se adapte a sus necesidades específicas (Mussalam & Tajeddini, 2016).

Por ello, la motivación de los turistas está basada en la escapada y el descubrimiento superficial del destino ofertado, además de que pide autenticidad en la experiencia y un mayor grado de aventura (Elliot-Spivack, 2014). Así mismo, la percepción del turista es significativa en cuanto a la experiencia vivida, al igual que la satisfacción adquirida por el servicio recibido en el destino visitado, pues permite conocer las tendencias y preferencias de los nuevos turistas.

Es así que se ha volteado la mirada al turismo basado en la naturaleza, el cual como su nombre lo indica, es todo tipo de turismo que se da en las áreas naturales. Por ejemplo, el turismo de aventura que es una variante del turismo de naturaleza, cuya definición es extensa, sin embargo, su característica principal es que da respuesta a la actual demanda experiencial en la cual el turista busca nuevas sensaciones, experiencias y vivencias (Araújo, Paül, & Fraiz, 2011).

De esta forma, la biodiversidad se ha convertido en un atractivo para millones de turistas que viajan alrededor del mundo. Sin embargo, la presión ejercida por el uso turístico sobre la misma puede provocar la desaparición de especies o interferir en los procesos ecológicos que la sostienen (Hernández, Suárez, & López, 2015).

Esto ha ocasionado que la dominación humana sobre el ambiente represente una disminución de la biodiversidad en todos los niveles y una aceleración en la extinción de especies (Klein, 2014). La construcción de destinos turísticos ha estado involucrada directamente con esta pérdida de biodiversidad además de contribuir significativamente con el cambio climático (Márquez, 2008). La justificación e importancia central que los mercados capitalistas manejan se encuentra en el beneficio económico de un supuesto desarrollo sustentable, sin embargo, es esencial la conservación de hábitats y de especies para el continuo desarrollo del turismo (Hernández-López & Hernández-López, 2015).

En este sentido, las áreas naturales protegidas surgen como medida de conservación y preservación de ecosistemas (Chanie & Tesfaye, 2015). Como destinos turísticos, son utilizadas para el aprovechamiento y beneficio económico de las localidades sufriendo impactos negativos sobre el ambiente (Hall, 2010), donde corresponde a la planificación turística tomar medidas para reorientar sus políticas y lograr que se reduzca en la medida de lo posible los impactos negativos para que no se vean afectados los ecosistemas por la presencia humana en ellos, ya que se considera que el turismo tiene la capacidad y responsabilidad de regular los aspectos negativos y positivos en términos de conservación de la biodiversidad (Tolvanen & Kangas, 2016).

Por ello, se debe tener mucho cuidado en no perder el sentido de creación de las ANP pues en el auge del ecoturismo (en donde existe una línea muy delgada que podría detonar un turismo masivo) y el ímpetu por conocerlas, requiere de gestión y manejo con bases sólidas que orienten a la conservación de la biodiversidad para que exista coherencia entre turismo y conservación (Pérez, 2020).

México cuenta con cerca de 1 000 Islas y son de los ecosistemas más ricos en especies únicas del mundo y también de los ecosistemas más frágiles. Por su aislamiento geográfico, las Islas de Revillagigedo, Colima y Guadalupe, Baja California tienen una elevada porción de endemismos, además de que son dos de las Islas más importantes del país (Aguirre-Muñoz, y otros, 2016). México ha realizado un gran esfuerzo para la protección y conservación de sus Islas, la mayoría cuenta con protección legal. Sin embargo, aún no se ha hecho lo suficiente respecto a la elaboración, implementación o actualización de sus Programas de Manejo (PM). La regulación requiere de un manejo sustentable que se traduce en restricciones que aplican sobre el territorio y los recursos que ahí se encuentran, lo cual es difícil de asimilar y aplicar por parte de los grupos interesados (Matos & Pérez, 2019).

La conservación de la biodiversidad en destinos que se utilizan como atractivos turísticos naturales, es un desafío al que se deben enfrentar los empresarios de esta actividad en el mundo, pues cada vez son más los turistas que manifiestan su preferencia por productos y servicios que demuestren compromiso en los aspectos ambientales y sociales reales (Reyes P., Torres A., Villarraga F., & Mesa E., 2017).

Para ello es necesario el logro de un turismo sustentable, el cual es un proceso al que debe dársele continuidad además de que requiere un seguimiento y medición constante de los impactos para introducir las medidas correctivas o preventivas que resulten necesarias.

El turismo sustentable también debe aportar alto grado de satisfacción a los turistas y representar para ellos una experiencia significativa que los haga conscientes de los problemas de la sustentabilidad y fomente en ellos prácticas turísticas sustentables (OMT, 2005).

Por otra parte, es importante contemplar que dentro de las alternativas que se pueden tomar para asegurar la completa funcionalidad de la conservación de la biodiversidad se deben incluir medidas de protección legal, planes de gestión, tiempo y esfuerzo (Santamarta, 2014). Un elemento clave en el éxito potencial de las políticas de un país depende de la calidad del gobierno o de la práctica de un buen gobierno (Din, Habibullah & Choo, 2014).

En este sentido, y como apoyo para la gestión de planes de manejo turístico y ambiental al igual que como indicador de sustentabilidad, se debe considerar la estimación de la Capacidad de Carga Turística (CCT), la cual se refiere al nivel máximo de visitantes que puede sostener un lugar en base a las condiciones físicas, operacionales y psico-sociales de un destino turístico (Segrado, Gonzáles-Baca, Arroyo-Arcos, & Quiroga-García, 2017).

De acuerdo con Cifuentes et al. (1992) citado por Paz, Contreras y Balanta, (2019) la capacidad de carga física se determina considerando el área disponible, en donde influyen los factores relacionados con la visita como lo son el tiempo de visita, duración del recorrido, horario de apertura del área turística y el espacio ocupado por cada visitante; la capacidad de carga real además considera factores de corrección como por ejemplo temporada de huracanes entre otros; la capacidad de carga efectiva también considera los recursos operativos y de infraestructura utilizada en el área de visitación.

Los antecedentes más remotos permiten vincular el concepto de capacidad de carga turística con el pensamiento de autores como Malthus y Ricardo quienes en el siglo XVII, prestaron atención a los problemas que el crecimiento de la población plantearía en relación con la escasez del recurso tierra de uso limitado y la producción de alimentos (Klein, 2014).

En un inicio, las estimaciones de capacidad de carga fueron utilizadas para la gestión de poblaciones de ganado y recursos renovables, en donde se consideraba que una determinada extensión de pastizal tiene cierta capacidad de carga ganadera para abastecer de alimento a un número determinado de cabezas de ganado (Gomez-Limón & Ventura, 2014).

Es importante mencionar que la capacidad de carga turística no solo se ha limitado a su aplicación en espacios naturales, sino que además se ha visto determinada por la evolución del mercado turístico y el comportamiento de la demanda como mencionan Butler (1991) y Van der Borg (1998) citados por García M. (2000).

“La determinación de la capacidad de carga turística no debe ser tomada como un fin en sí misma ni como la solución a los problemas de visitación. Es una herramienta de planificación que sustenta y requiere decisiones de manejo” (Amador, Cayot, Cifuentes, Cruz & Cruz, 1996).

Para la Organización Mundial del Turismo (2005) capacidad de carga turística es: el máximo número de visitantes que puede recibir un lugar geográfico o entidad física sin que provoque una alteración inaceptable de los entornos físico y social ni una reducción inaceptable de la calidad de la experiencia de los visitantes.

Por ello capacidad de carga turística, nos proporciona elementos para la gestión, planificación y sirve como herramienta aplicada al uso público para reducir sus impactos ambientales mediante la zonificación de las áreas de aprovechamiento sustentable de un área natural protegida. Lo anterior, tomando en cuenta por igual los factores referentes a las condiciones físicas del ecosistema, las operacionales de los prestadores de servicios, así como la experiencia que vive el turista respecto a los hacinamientos en los destinos turísticos y valorar que tanto se ve afectada su experiencia vivida respecto al destino visitado.

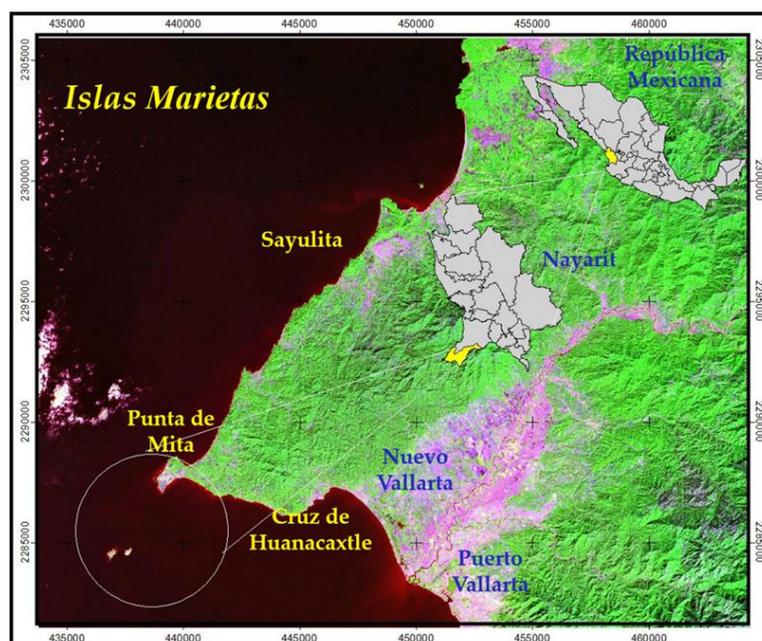
En este sentido, la experiencia turística se trata de un proceso acumulativo, una percepción subjetiva en donde las principales dimensiones como lo mencionan Caballo, Moreno, León y Bren (2015) son las siguientes: 1) la involucración del turista, integrando los elementos del entorno externos al turista con los internos del individuo, siendo la naturaleza una pieza clave. 2) El choque sensorial, apelando a los cinco sentidos y generando una excitación y estimulando al turista, creando sorpresa y un entorno de escape. 3) Autenticidad, vinculando lo vivido con el entorno inmediato y el destino. 4) Diversión, generando placer y un entorno agradable y de entretenimiento. 5) Sociabilidad, proporcionando la posibilidad de compartir y de participar en una comunidad. 6) Personalización, que aporta libertad y control, donde el turista siente que puede elegir y definir en cierta medida gracias a su habilidad y esfuerzo el resultado final, consiguiéndolo por el mismo; y autodescubrimiento y transformación, donde a través de un aprendizaje y un intercambio de valores y reflexiones, el turista siente un cierto cambio.

La medición de la capacidad de carga turística, como indicador de sustentabilidad, pretende servir de apoyo a las autoridades que regulan las actividades en el Parque Nacional Islas Marietas (PNIM) para encontrar el punto dinamizador en los tres componentes de la sustentabilidad (ambiental, económico y social), pues se considera que es pertinente y fundamental debido a la dinámica que se realiza específicamente en esta área de estudio. Se analizó la afluencia turística en el PNIM que forma parte de los destinos sobre cargados y poco regulados en materia turística y representan una mayor problemática en su regulación, procurando de igual manera no afectar la expectativa y experiencia vivida del visitante en el destino turístico. Por lo cual se evaluó la CCT de la ruta acuática que siguen los prestadores de servicio turístico; la CCT de la Playa Escondida y la percepción del turista en el PNIM; se planteó la hipótesis la cual hace referencia a que la capacidad de carga turística basada en la capacidad de carga física, operativa y psico-social se encuentra rebasada en su límite máximo debido a que no existe control y manejo por parte de las autoridades, generando en los turistas una satisfacción y experiencia negativa.

### 3.1 Materiales y Métodos

Las Islas Marietas (IM) se ubican en la costa sur del estado de Nayarit, México ver Figura 1.1 conocidas actualmente bajo la denominación de “Parque Nacional Islas Marietas”. En 1997, la SEMARNAT (Bahía Unida A. C., 2019) consideró a las IM como área prioritaria para ser decretada como área natural protegida (ANP) de acuerdo con lo establecido en el documento denominado Áreas Naturales Prioritarias para la Conservación en la Región II. Así se destaca como objetivos la conservación de recursos genéticos y el mantenimiento de ecosistemas representativos. Adicionalmente, el 6 de febrero de 2008, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020) declaró a las Islas Marietas como Reserva de la Biosfera, dentro del programa El hombre y la biosfera, Man And Biosphere (MAB). Las Islas Marietas también forman parte de los sitios Ramsar, por considerarse como humedal de importancia a nivel mundial.

**Figura 3.1** Mapa de ubicación del Parque Nacional Islas Marietas



En cuanto a su importancia para la conservación de la biodiversidad, el PNIM protege 44 especies de flora y fauna que se encuentran en alguna categoría de riesgo. El PNIM, posee un gran valor científico, educativo y turístico, constituye un sitio fundamental para los procesos reproductivos de poblaciones de especies en riesgo, como la ballena jorobada, la tortuga golfina y varias especies de aves. Además, el área posee no sólo un hábitat natural propicio para el desarrollo de diversas especies, sino también una particular belleza escénica y natural por lo que es un sitio favorable para el desarrollo de actividades turísticas y de investigación (SEMARNAT, 2007).

De acuerdo con los datos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en el año 2009 hubo 10,428 visitantes, en el año 2010 hasta el mes de mayo hubo 5,435 visitantes y para el año 2013 hubo más de 30,000 visitantes de los cuales el 58 por ciento eran extranjeros y 42 por ciento mexicanos. La publicidad que se ha hecho al sitio en medios electrónicos, principalmente de la Playa del Amor, incrementó el número de turistas, a más de 650 diariamente.

Actualmente, este sitio recibe cerca de 2500 visitantes diarios en temporada alta y puentes vacacionales, a través de prestadores de servicios turísticos desde las costas de Nayarit y Jalisco. Quizá el atractivo principal del área sea la Playa Escondida, situada en la isla y a la cual se tiene acceso nadando a través de un túnel (10 m de longitud); se trata de una pequeña playa de alrededor de 400 m<sup>2</sup> que tiene una afluencia turística masificada y ocasiona el hacinamiento de personas provocando así que la experiencia del visitante no sea del todo satisfactoria además de provocar afectaciones al ecosistema.

Se realizó la evaluación de la capacidad de carga física en la ruta acuática de visitación a la isla, así como de la Playa Escondida para conocer el máximo de visitantes que puede soportar el área. De esta forma, se complementó el estudio con la evaluación de la capacidad de carga operativa, no solo como elemento de la capacidad de carga turística, si no también, para tener el conocimiento de la operatividad. Las embarcaciones estudiadas fueron la zona de Punta de Mita/Corral del Risco, quienes realizan más tours hacia el PNIM. Por otra parte, se aplicó una encuesta para evaluar la capacidad de carga psico-social para conocer la percepción y satisfacción del turista al visitar PNIM. Pues se consideró que entre mayor sea el volumen de personas, la satisfacción del turista se ve afectada negativamente, teniendo una mala experiencia del tour.

### 3.2 Capacidad de carga ruta acuática

Se trazó la ruta acuática (Figura 3), se consideró los principales puntos de atracción turística en los alrededores de las Islas Marietas. Posteriormente se obtuvo la medida longitudinal expresada en metros, se utilizó el Arc Gis versión 10. (Benavides R. & Carvajal P., 2018; Dias, Körössy & Fragoso, 2012).

Se adoptó la metodología propuesta por Cifuentes (1992) la cual considera tres niveles a) capacidad de carga física (CCF), b) capacidad de carga real (CCR), c) capacidad de carga efectiva (CCE).

Se calculó la capacidad de carga física CCF en el Parque Nacional Islas Marietas,

$$CCF = S/AG \times NV/\text{día}$$

En donde:

S= a la superficie del sendero

AG = área ocupada por un grupo

NV/día es el número de veces que el sitio puede ser visitado por un grupo en el día.

La capacidad de carga real CCR es el límite máximo de grupos, determinado a partir de la CCF de un sitio, luego de someterlo a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del sitio. Esto hace que la capacidad de carga de un área protegida tenga que calcularse sitio por sitio. Los factores de corrección se obtienen considerando variables físicas, ambientales, biológicas y de manejo.

Los factores de corrección están estrechamente asociados a las condiciones y características específicas de cada sitio. Aplicando estos factores de corrección al cálculo de la CCF, se obtiene la CCR por sitio por día.

Los factores de corrección se expresan en términos de porcentaje y para calcularlos se utiliza la fórmula general:

$$FC = MI/Mt \times 100$$

Dónde: FC = factor de corrección

MI = magnitud limitante de la variable

Mt = magnitud total de la variable

Una vez calculados todos los factores de corrección, la CCR puede expresarse con la fórmula general siguiente:

$$CCR = (CCF-FC1) \dots FCn$$

Donde FC es un factor de corrección expresado en porcentaje. Por tanto, la fórmula de cálculo sería la siguiente:

$$CCR = CCF \times (100-FC1)/100 \times (100-FC2)/100 \times \dots (100-FCn) /100$$

La Capacidad de carga Efectiva CCE de acuerdo con la evaluación del manejo y ordenación de los servicios, es el límite máximo de grupos que se puede permitir, dada la capacidad para ordenarlos y manejarlos. Se obtiene comparando la CCR con la Capacidad de Manejo (CM) de la administración de los prestadores de servicio. La CCE será el porcentaje de la CM, relacionada esta última con su óptimo.

La fórmula general de cálculo es la siguiente:

$$CCE = CCR \times CM$$

Donde CM es el porcentaje de la capacidad de manejo óptima.

### 3.3 Capacidad de carga playa escondida

La capacidad de carga física CCF determinó, cuántos visitantes puede recibir por día una determinada área (playa), considerando sólo las características biofísicas de la misma. De acuerdo con Dias, Körössy & Fragoso (2012) el cálculo considera el tamaño del lugar, el tiempo que el lugar permanece abierto a las visitas y el espacio ocupado por cada visitante.

$$S \cdot T / s \cdot t$$

S= área total de visita, s= espacio ocupado por una persona, T= tiempo total que el área está abierta, t= tiempo necesario para visitar el lugar.

Se midió la superficie de la playa escondida, utilizando GPS y cinta métrica. Además, el valor del área ocupada por un visitante se estimó en 10m<sup>2</sup> de acuerdo con la metodología de Ruschmann, Paolucci y Maciel (2008), Dias, Körössy y Fragoso (2012) mencionan que se trata de un área adecuada al confort y la calidad de la experiencia de los visitantes.

Para estimar la CCR de la Playa Escondida, se tomaron en cuenta los mismos factores de corrección que para el sendero.

### 3.4 Capacidad de carga psico-social

El cuestionario se aplicó a los turistas y a los prestadores de servicios turísticos. Se basó en la metodología de Shelby y Heberlein, (1989), adaptada por Damian y Navarro-Jurado (2005) y se dividió en dos secciones: la primera se relaciona con el viaje: número de visitas que ha realizado a Riviera Nayarit, número de visitas que ha realizado a las Islas Marietas, si recomendaría el destino, la percepción respecto al hacinamiento de la playa escondida, la satisfacción y la percepción respecto a la conservación ambiental, así como del servicio recibido; la segunda sección recoge las características de los turistas: edad, nivel de estudios, situación laboral y lugar de procedencia.

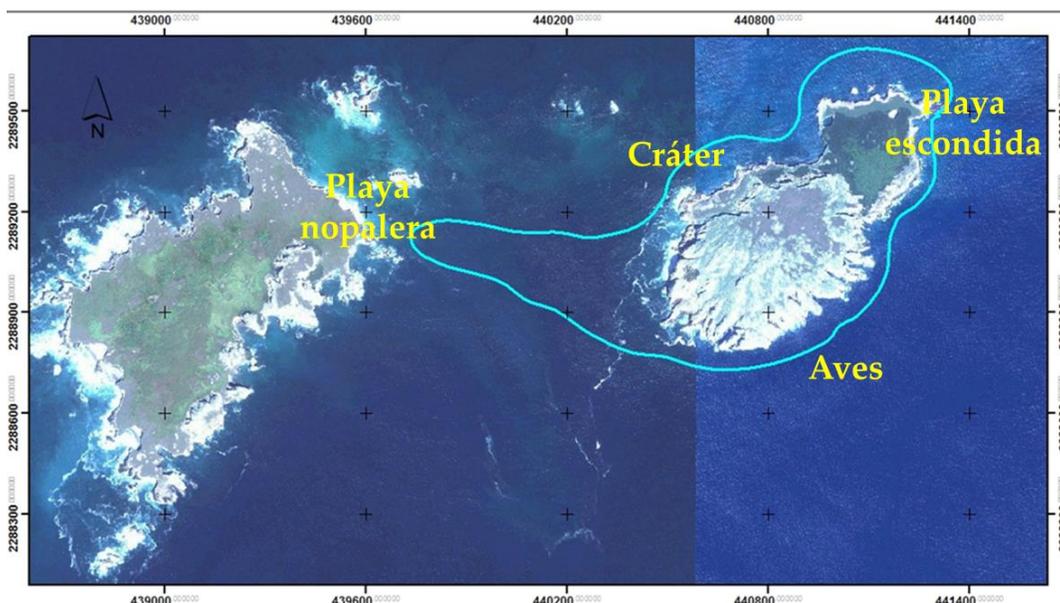
El análisis de los resultados se aplicó una correlación de Spearman, además se realizó un análisis de tablas cruzadas para visualizar en gráficos el comportamiento de las variables correlacionadas. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics versión 22.0.

### 3.5 Resultados

La ruta acuática cubre los diferentes atractivos que existen alrededor de las Islas, tomando únicamente como punto de salida Punta de Mita.

Para la estimación de la Capacidad de Carga Física, las características del área a considerar fueron las siguientes: Superficie 4500 metros de longitud de la ruta acuática como se observa en la Figura 3.1.

**Figura 3.1** Sendero acuático. Recorrido tour Islas Marietas



Las características de la operatividad del recorrido turístico por la ruta acuática se obtuvieron en el estudio de campo realizado al área de estudio, ver Tabla 3.1

**Tabla 3.1** Matriz de las características de la ruta acuática

<i>Tamaño de lancha</i>	<b>7 metros</b>	<b>Medición de embarcaciones en trabajo de campo</b>
<i>Distancia entre lancha y lancha</i>	40 metros	Cálculo aproximado por prestadores de servicio.
<i>Longitud del sendero</i>	4500 metros	Estimación mediante la aplicación de un SIG
<i>Duración del recorrido</i>	3 horas (180 min.)	Estimación del tiempo de duración del tour mediante la toma de tiempo en los tours contratados
<i>Horario de visita al parque</i>	10 horas (600 min.)	Tiempo permitido por la CONANP

El resultado que la capacidad de carga física de las Islas Marietas constituye 315 viajes al día. Lo cual, representa una afluencia turística de 2520 personas por día, sin ningún límite ni factor de corrección aplicado.

#### Capacidad de carga real

Para obtener la capacidad de carga real, se definieron factores de corrección, ver Tabla 3.1. Los cuales representan factores que favorecen la disminución de afluencia turística en el área de estudio. En este caso específico se consideraron los siguientes:

Los factores de corrección se obtuvieron mediante las siguientes ecuaciones:

-Temporada baja

$$275/365 \times 100 = 75.3425$$

-Condiciones climáticas

120 = cuatro meses del año de temporada de huracán convertido en días

15= días del año que dejan de trabajar por cuestiones climáticas

$$15/120 \times 100 = 12.5$$

$$CCR = 315 \times (100-75) / 100 \times (100-12.5)/100$$

$$CCR = 315 \times 25/100 \times 87.5/100$$

$$CCR = 315 \times .25 \times .875$$

$$CCR = 68.90$$

**Tabla 3.1** Factores que representan disminución de afluencia turística a las Islas

Factores de corrección	
Temporada baja de turismo	75 días inhábiles aprox.
Temporada de huracanes	12.5 días inhábiles aprox.

La capacidad de carga real obtenida es de 69 viajes al día y representa una afluencia turística de 552 personas por día disminuyendo considerablemente respecto a la capacidad de carga física

Para la estimación de la capacidad de carga efectiva, se tomaron en cuenta valores como: tipo de motor, personal (guía turístico y capitán), equipo, capacitación, como se observa en la Tabla 3.1. La capacidad de carga de manejo como se indica en la Tabla 4.1, se evaluó solo del punto de salida de Punta de Mita, pues es el sitio que tiene mayor afluencia y actividad para visitar el Parque Nacional Islas Marietas por su cercanía.

Fórmula:

$$CCE = CCM * CCR / 100$$

$$CCE = 53.2 * 69 / 100$$

$$3670.8 / 100$$

$$CCE = 36.708$$

$$CCF > CCR \geq CCE$$

La capacidad de carga efectiva arrojó un total de 37 viajes al día lo que representa un aproximado de 296 personas por día.

**Tabla 3.2** Elementos básicos que deben contener las embarcaciones al momento de prestar el servicio del tour a Islas Marietas.

Permiso Capitanía de puerto	Estado físico de las embarcaciones	Personal
Chalecos salvavidas	Motores	Capitán
Brújula	Toldos	Guía especializado
Radio		
Espejo		
Cubeta de arena		
Remos		
Botiquín		
Extintidor		
Linterna		
Compás		

**Tabla 3.3** Evaluación de la infraestructura básica de los prestadores de servicio de Punta de Mita/Corral del Risco lo que representa su capacidad de manejo turístico

Ítem	Número existente	Número Optimo	Valor %	Capacidad de Manejo
Permiso CONANP	38	50	20%	11.4%
Permiso de capitanía de puerto	38	50	20%	11.4%
Guías certificados por SECTUR	0	50	10%	0
Idioma	25	50	10%	5%
Estado físico de las embarcaciones	43	50	10%	8.6%
Embarcadero	0	1	10%	0
Personal a bordo	68	100	10%	6.8%
Establecimiento	1	1	10%	10%
<b>Total</b>				53.2%

Características físicas de la Playa Escondida ver la Tabla 5.1, permitieron la estimación de la capacidad de carga física de la playa escondida en donde se utilizó la fórmula empleada por Ruschmann et al. 2003.

S= área total de visita            400 metros cuadrados

s= área ocupada por un visitante    10 metros cuadrados

T= tiempo de apertura de PNIM    10 horas (600 min)

t= tiempo requerido para visita la zona    .5 horas (30 min.)

Cuadro 5: Matriz de las características de la Playa Escondida.

Fórmula:

$$CCF = S * T / s * t$$

$$CCF = 400 * 600 / 10 * 30$$

$$CCF = 240,000 / 300$$

$$CCF = 800$$

Los resultados obtenidos señalan que la capacidad de carga física que la playa escondida puede tolerar es de 800 personas al día, sin ningún factor de corrección aplicado.

**Tabla 3.4** Matriz de las características de la Playa Escondida

<b>S= área total de visita</b>	<b>400 metros cuadrados</b>
<b>s= área ocupada por un visitante</b>	10 metros cuadrados
<b>T= tiempo de apertura de PNIM</b>	10 horas (600 min)
<b>t= tiempo requerido para visita la zona</b>	.5 horas (30 min.)

Los factores de corrección considerados aptos para la estimación de la capacidad de carga real de Playa Escondida como se indica en la Tabla 3.5.

Fórmula:

$$CCR = CCF \times (100 - FC1) / 100 \times 100 (FC2) / 100$$

$$CCR = 800 \times (100 - 75) / 100 \times (100 - 12.5) / 100$$

$$CCR = 800 \times 25 / 100 \times 87.5 / 100$$

$$CCR = 800 \times .25 \times .875$$

$$CCR = 175$$

Lo que representa una afluencia de 175 personas al día que la Playa Escondida puede soportar sin afectaciones al ecosistema.

**Tabla 3.5** Factores que representan la disminución de afluencia turística a la playa Escondida

<b>Factores de corrección</b>	
<b>Accesibilidad</b>	Riesgo por edad. El 6% de personas por cada lancha son mayores de 50 años se considera que hay una condición de riesgo por cuestiones de oleaje y 50 metros de natación
<b>Temporada de huracanes</b>	12.5 días inhábiles aprox.

Los datos que arrojan los límites de la capacidad de carga física (CCF), real (CCR) y efectiva (CCE) de la ruta acuática en el Parque Nacional Islas Marietas se observan en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6** Capacidad de carga turística de la ruta acuática

	<b>CCF &gt;</b>	<b>CCR ≥</b>	<b>CCE</b>
Viajes	315	<b>69</b>	37
Personas	2520	<b>562</b>	296

En la Tabla 3.7 se resume los límites de la capacidad de carga de la playa escondida los cuales son.

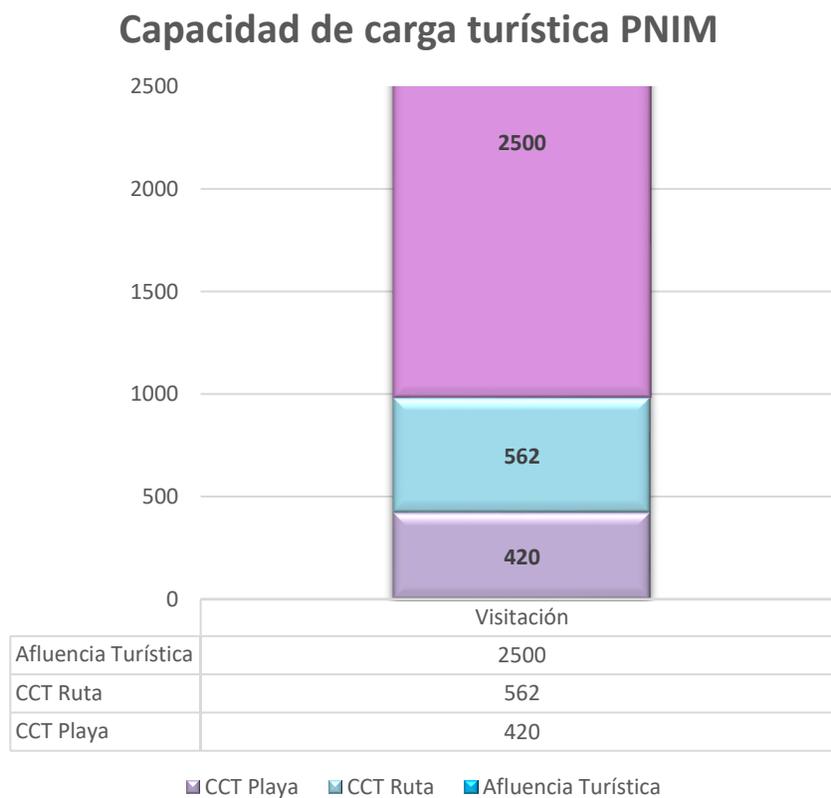
**Tabla 3.7** Capacidad de carga turística playa escondida

CCF	800 personas al día
CCR	420 personas al día

De acuerdo con la Tabla 9.1 se puede observar los niveles de visitación óptimos de la ruta acuática como de la playa del amor, los cuales se encuentran rebasadas en su límite máximo pues la visitación que recibe el PNIM es cerca de 2500 personas al día (Figura 3.1)

**Tabla 3.8** Comparación de la capacidad de carga turística óptima de la ruta acuática y de la playa escondida

CCR/Personas día	
Ruta acuática	562
Playa Escondida	420

**Figura 3.2** Afluencia turística y capacidad de carga turística óptima de la ruta acuática y playa escondida del PNIM

### 3.6 Percepción

La correlación se realizó para conocer el comportamiento entre las variables que demuestran la relevancia de éstas y denotan mejor las percepciones de los turistas en su visita a las Islas Marietas; Se presentan las correlaciones más significativas y señalan lo siguiente:

Satisfacción del recorrido.

Con el análisis estadístico de la correlación de Spearman, las variables oscilan entre una correlación inversa débil a una correlación moderada como se muestra en la Tabla 3.9 Siendo más relevantes la satisfacción del recorrido con la percepción del nivel de conservación ambiental que tiene el PNIM; el nivel de seguridad que percibió el turista respecto a la embarcación; la satisfacción del servicio recibido.

**Tabla 3.9** Correlación de Spearman entre variables de seguridad, satisfacción, motivación, fidelidad y percepción.

Variables		Coefficiente de correlación
<b>Satisfacción del Recorrido</b>	Motivación para visitar PNIM.	.259
	Satisfacción del servicio.	.548
	Seguridad del recorrido.	.346
	Seguridad de la embarcación.	.424
	Percepción número de personas en el tour.	.347
	Percepción número de personas playa escondida.	-.182
	Percepción nivel de conservación ambiental del PNIM.	.367
	Motivación a la conservación ambiental.	.364
	Fidelidad. Recomendar visitar PNIM.	.437

En cuanto a la satisfacción del servicio que recibió el turista existe una correlación moderada en la mayoría de las variables como se aprecia en la Tabla 3.10 El turista al sentir seguridad en las actividades, que realiza en la embarcación, menciona haber generado motivación para preservar las áreas naturales y considera regresar a visitar el PNIM.

**Tabla 3.10** Correlación de Spearman entre variables de satisfacción, seguridad, percepción, motivación y fidelidad

Variables		Coefficiente de correlación
<b>Satisfacción del servicio.</b>	Seguridad del recorrido.	.442
	Seguridad de la embarcación.	.412
	Percepción número de personas en el recorrido.	.341
	Motivación a la conservación ambiental generada por prestadores de servicio turístico.	.416
	Fidelidad. Regresar al PNIM.	.429

Seguridad del recorrido y la seguridad de la embarcación resalta una correlación moderada; la correlación entre las variables de seguridad del recorrido y percepción del número de personas en el recorrido es débil ver Tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Correlación de Spearman entre las variables de seguridad y percepción

Variables		Coefficiente de correlación
<b>Seguridad del recorrido.</b>	Seguridad de la embarcación.	.553
	Percepción número de personas en el recorrido.	.337

Existe una correlación débil entre las variables de percepción del número de personas en el recorrido y la fidelidad ver Tabla 3.12, donde a pesar de que se percibe cierta masificación, hay un fuerte estímulo a recomendar a más personas visitar el PNIM.

**Tabla 3.12** Correlación de Spearman entre las variables de percepción y fidelidad

Variables		Coefficiente de correlación
Percepción número de personas en el recorrido	Fidelidad. Recomendación para visitar PNIM.	.344

Existe una correlación moderada entre las variables de percepción de la conservación ambiental y la motivación a la conservación ambiental ver Tabla 3.13, la cual fomentaron los prestadores de servicio en el turista al momento del recorrido.

**Tabla 3.13** Correlación de Spearman entre variables de percepción y motivación

Variables		Coefficiente de correlación
Percepción de la conservación ambiental del PNIM.	Percepción del nivel de conservación ambiental del PNIM.	.539
	Motivación a la conservación ambiental generada por prestadores de servicio turístico.	.522

Se mostró una correlación débil entre las variables de percepción de los turistas del nivel de conservación ambiental del PNIM y la percepción de los turistas en cuanto al aplicar medidas más estrictas tales como normas, leyes o reglamentos para garantizar la conservación del área como se observa en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14** Correlación de Spearman entre las variables de percepción

Variables		Coefficiente de correlación
Percepción de nivel de conservación del PNIM.	Percepción de aplicar medidas más estrictas para la conservación ambiental.	.265

Entre las variables de fidelidad existe una correlación inversa débil ver la Tabla 16.1, donde el turista recomendaría visitar y regresaría de nuevo al PNIM.

**Tabla 3.15** Correlación de Spearman entre las variables de fidelidad

Variables		Coefficiente de correlación
Fidelidad. Recomendar PNIM	Fidelidad. Regresar PNIM.	-.382

### 3.7 Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

### 3.8 Conclusiones

A pesar de los esfuerzos para la conservación y aprovechamiento adecuado de las áreas naturales protegidas en México, el turismo hace presencia significativa en estos espacios. Por ello, se debe considerar importante establecer los límites de visitación por parte de las autoridades que administran dichas áreas protegidas. La capacidad de carga turística estimada en la presente investigación señala el exceso de visitación que tienen actualmente las Islas Marietas, condición que año con año va en aumento. Se calcula que en el 2015 se recibieron 2500 visitas diarias en temporada vacacional. Por ello, se estimó la capacidad de carga turística de dos zonas, una ruta acuática y de la playa escondida. La CCF de la ruta acuática representa 315/viajes/día, 2520/personas/día y de la playa escondida 800/personas/día, esto sin ningún factor de corrección aplicado.

Resalta que la visitación actual se encuentra en los umbrales máximos donde ya pueden existir afectaciones al ecosistema. Sin embargo, tal estimación refleja que aún existe margen de acción para el desarrollo de la política turística en donde se indique el número óptimo de turistas que se debe permitir en ambas zonas (Swagata, Dipanjan-Das & Ashis-Kumar, 2015). La capacidad de carga real que se obtuvo es de 69 visitas/día en la ruta acuática representando 562 personas y de la playa escondida un máximo de 420 personas/día. Esto representa casi la quinta parte de visitación que se efectúa actualmente en la zona. La capacidad de la ruta acuática es considerada por el tránsito de embarcaciones y los posibles impactos al ecosistema y/o accidentes que se pudieran ocasionar, no obstante, tiene un margen más amplio de visitación que la playa escondida. Sin embargo, es importante tomarla en cuenta pues influye en el número de personas que desembarquen en las Islas.

De acuerdo a los resultados de percepción del turista, la mayoría de los encuestados consideran que el número de personas que hacen el tour es adecuado y no afecta la satisfacción del recorrido en lancha, por el contrario, pareciera que entre más personas mayor diversión. Sin embargo, estos datos son opuestos al cuestionarlos sobre la playa escondida, en donde mencionan que el número de personas en el espacio de playa les parece bastante, lo cual fue causa de desagrado. De acuerdo con Shelby, Vaske y Heberlein (1989), si más de dos terceras partes de los encuestados perciben que hay muchas personas en un área determinada, entonces la capacidad ha sido sobrepasada. En el caso de la playa escondida un total de 83.9% menciona percibir algún tipo de hacinamiento de personas lo que representa poco más de las dos terceras partes de los encuestados. Segrado, Serrano, Mínguez, Jimenez y Pérez (2013), comentan que el aumento de las visitas a un área natural afecta la calidad de la experiencia vivida en el destino turístico, e incluso puede llegar a destruir el atractivo turístico. Por el contrario, en el tour a las Islas Marietas, la experiencia vivida en general es satisfactoria, aunque existe la percepción de saturación de turistas en la Playa Escondida.

Así mismo como mencionan Bentz, Rodriguez, Dearden, Calado y Lopes (2015), la correlación entre hacinamiento y satisfacción pueden no ser evidentes pues la satisfacción es un criterio amplio en la cual se derivan múltiples formas de satisfacción.

Se concluye que el turista se convierte en un coleccionista de vivencias, bajo una antifaz de protector del ambiente, pues a pesar de que perciben que su presencia causa impactos en las áreas naturales, siguen acudiendo sin importar las implicaciones que represente, debido a que les atraen las áreas naturales por su riqueza ecosistémica; los turistas mencionaron que regresarían a este lugar y recomendarían a otras personas que lo visitaran, lo cual aumenta la visitación y genera más impactos ambientales.

A pesar de que las embarcaciones van a una velocidad muy alta y la actividad de acceso a la playa escondida sea riesgosa por cuestiones de oleaje y marea alta, los turistas sintieron seguridad. Esto determina que el guía es fundamental y los turistas confían y los consideran expertos, señalan Shelby, Vaske y Heberlein (1989), son los propios prestadores de servicio y los mismos turistas quienes mediante la recreación hacen de una mala situación, un aspecto positivo.

La experiencia vivida en el tour no se ve afectada por la masificación, el turista señala estar satisfecho del tour y del servicio recibido, sin embargo. La capacidad de carga turística óptima debe ser la que permita a los turistas disfrutar de un área natural sin que su presencia implique consecuencias para el ecosistema al tener como recompensa el aprendizaje de la importancia de garantizar la preservación de la biodiversidad. El número de turistas que recibe actualmente el PNIM no es el adecuado para el aprovechamiento sustentable. Se debe establecer límites de visitación.

### 3.9 Referencias

Aguirre-Muñoz, A., Bezaury-Creel, J., de la Cueva, H., March-Mifsut, I., Peters-Recagno, E., Rojas-González de Castilla, S., & Santos-del Prado Gasca, K. (2010). *Islas de México, Un recurso estratégico*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE), The Nature Conservancy (TNC), Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

- Amador, E., Cayot, L., Cifuentes, M., Cruz, E., & Cruz, F. (1996). *Determinacion de la capacidad de carga turística en los sitios de visita del Parque Nacional Galapagos*. Puerto Ayora, Islas Galapagos: Comision Permanente para las Islas Galapagos.
- Araújo, N., Paül, V., & Fraiz, A. (2011). Turismo activo o de aventura como componente destacado del turismo de naturaleza. Análisis de la oferta en Galicia. *Gran Tour: Revista de Investigaciones Turísticas*, 8-31
- Bahía Unida A. C. (2019). *Reporte anual 2019*. Puerto Vallarta: Bahía Unida.
- Benavides R., H., & Carvajal P., L. (2018). Determinación de la capacidad de carga turística del sendero "Guananguicho" en la Parroquia Huaca Ecuador. *Tierra infinita*, 5-19.
- Bentz, J., Rodriguez, A., Dearden, P., Calado, H., & Lopes, F. (2015). Crowding in marine environments: Divers and whale watchers in the Azores. *Ocean and Coastal Management*, 77-85.
- Caballo, R., Moreno, S., León, C., & Bren, J. (2015). La creación y promoción de experiencias en un destino turístico. Un análisis de la investigación y necesidades de actuación. *Cuadernos de Turismo*, 71-94.
- Chanie, S., & Tesfaye, D. (2015). Threats of biodiversity conservation and ecotourism activities in Nechisar National Park, Ethiopia. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 130-139.
- Cifuentes, M. (1992). *Determinacion de Capacidad de Carga Turística en Areas Naturales Protegidas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE.
- Damian, I., & Navarro-Jurado, E. (2005). Estudio de la capacidad de carga social percibida por los turistas aplicado en la Costa del Sol Oriental. *Programa del Ministerio de Educación y Ciencia*.
- Dias, I., Körössy, N., & Fragoso, V. (2012). Determinación de la capacidad de carga turística. El caso de Playa Tamandaré - Pernambuco- Brasil. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 1630-1645.
- Din, B., Habibullah, M., & Choo, W. (2014). The Impact of Sustainable Tourism and Good Governance on Biodiversity Loss in Malaysia. *In SHS Web of Conferences*, 1-10.
- Elliot-Spivack, S. (2014). Turismo y medio ambiente: dos realidades sinérgicas. *Papers de Turisme*, 26-43.
- García, M. (2000). Turismo y medio ambiente en ciudades históricas. De la capacidad de acogida turística a la gestión de los flujos de visitantes. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 131-148.
- Gomez-Limón, J., & Ventura, D. (2014). *Capacidad de acogida de uso público en los espacios naturales protegidos*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN).
- Hall, C. M. (2010). Tourism and Biodiversity: More significant than climate change? *Journal of Heritage Tourism*, 253-266.
- Hernandez, R., Suárez, G., & López, J. (2015). Integración de una red de agroecoturismo en México y Guatemala como alternativa de desarrollo local. *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 191-205.
- Hernández-López, J., & Hernández-López, E. (2015). Proteger lo natural, desproteger lo social. Reflexiones de los impactos de la conservación de la naturaleza en México. *Pasos. Revista de turismo y patrimonio cultural*, 73-88.
- Klein. (2014). Economía y Medio Ambiente. ¿Un divorcio definitivo? *Signos Universitarios*, 23-34.
- Matos, L., & Pérez, S. (2019). Revisión sobre capacidad de carga turística y la prevención de problemas ambientales en destinos emergentes. *Turismo y Sociedad, XXIV*, 77-100

- Mussalam, G. Q., & Tajeddini, K. (2016). Tourism in Switzerland: How perceptions of place attributes for short and long holiday can influence destination choice. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 18-26.
- Paz, L., Contreras, G., & Balanta, N. (2019). Inversiones sostenibles: agroecoturismo. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería.*, 140-146.
- Pérez, N. (2020). Ecoturismo de Alta Montaña: Entre la Conservación y el Turismo. PNN Los Nevados, Sendero Conejeras. *Revista Turismo y Sociedad*, 155-171.
- OMT. (2005). *Indicadores de Desarrollo Sostenible para los Destinos Turísticos Guía Práctica (versión española)*. Madrid, España: Organización Mundial del Turismo.
- Rebollo, F., & Gómez, M. (2014). Turismo y desarrollo: un planteamiento actual. *Papers de turisme*, 59-84.
- Reyes P., A., Torres A., J., Villarraga F., L., & Mesa E., M. (2017). Valoración del paisaje y evaluación del potencial interpretativo como herramienta para el turismo sostenible en el Ecoparque Las Monjas (La Mesa, Cundinamarca). *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía.*, 177-194.
- Ruschmann, D., Paolucci, L., & Maciel, N. (2008). Capacidad de carga no planeamiento turístico: estudio de caso da Praia Brava-Itajaí frente à implantacao do complexo turístico habitacional Canto da Brava. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 41-63.
- Santamarta, J. (2014). La crisis de la biodiversidad. *Boletín CF+ S*.
- Sati, V. P. (2018). Carrying capacity analysis and destination development: a case study of Gangotri tourists/pilgrims' circuit in the Himalaya. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 312-322
- Segrado, R., Gonzáles-Baca, C., Arroyo-Arcos, L., & Quiroga-García, B. (2017). Capacidad de carga turística y aprovechamiento sustentable de Áreas Naturales Protegidas. *Espacio del divulgador*, 164-172.
- Segrado, R. G., Serrano, R. d., Mínguez, M. d., Jimenez, G. C., & Pérez, J. I. (2013). Estrategias de control de impactos turísticos en las áreas naturales protegidas y zonas arqueológicas de Quintana Roo, México. *Cultur. Revista de cultura e turismo*, 5-30.
- SEMARNAT. (2007). *Programa de conservación y manejo parque nacional Islas Marietas*. México D.F.: EDM.
- Shelby, B., Vaske, J., & Heberlein, T. (1989). Comparative analysis of crowding in multiple locations: Results from fifteen years of research. *Leisure sciences*, 269-291.
- Swagata, B., Dipanjan-Das, M., & Ashis-Kumar, P. (2015). Estimation of tourism carrying capacity for Neil Island, South Andaman, India. *Journal of coastal sciences*, 46-53.
- Tolvanen, A., & Kangas, K. (2016). Tourism, biodiversity and protected areas-Review from northern Fennoscandia. *Journal of environmental management*, 58-66.
- UNESCO. (14 de 11 de 2019). *Oficina de la UNESCO en Santiago*. Obtenido de Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe.: <http://www.unesco.org/new/es/santiago/home/>
- Yumisaca, J., Bohórquez, E., Mendoza, E., & Gonzabay, J. (2020). Cadena de Valor del destino Dos Mangas como herramienta para el análisis de la sostenibilidad de la oferta turística. *Revista Universidad y Sociedad*, 88-96.

## Capítulo 4 Efectividad para el control de arvenses en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) mediante la implementación de tapetes agroecológicos

### Chapter 4 Effectiveness of weeds control in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) through the implementation agro-ecological carpets

PÉREZ-LUNA, Yolanda del Carmen†\*, ORTEGA-RAMÍREZ, Marynor, SÁNCHEZ-ROQUE, Yazmin y SALDAÑA- TRINIDAD, Sergio

*Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Chiapas.*

ID 1<sup>er</sup> Author: *Yolanda del Carmen, Pérez-Luna* / **ORC ID:** 0000-0003-3882-6660, **CVU CONACYT ID:** 206547

ID 1<sup>er</sup> Coauthor: *Marynor Elena, Ortega-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0002-2551-4054, **Researcher ID Thomson:** S-4732-2018, **CVU CONACYT ID:** 446579

ID 2<sup>do</sup> Coauthor: *Yazmin, Sánchez-Roque* / **ORC ID:** 0000-0001-8345-2392, **CVU CONACYT ID:** 512026

ID 3<sup>er</sup> Coauthor: *Sergio, Saldaña-Trinidad* / **ORC ID:** 0000-0002-8073-3209, **CVU CONACYT ID:** 36732

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.50.61

Y. Pérez, M. Ortega, Y. Sánchez y S. Saldaña

yperez@upchiapas.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

En la producción de palma aceitera, una de las etapas más críticas es el primer año después del trasplante, debido a la interferencia entre la maleza y el cultivo que reduce el crecimiento de este último. Por lo tanto, para evaluar la viabilidad del control de malezas en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) mediante la implementación de tapetes agroecológicos se establecieron dos tratamientos (con tapete y sin tapete) con 6 repeticiones cada tratamiento, en el rancho "Agua" Bendita "ubicado en Palenque, Chiapas. Al inicio del experimento y después de 120 días de la colocación de los tapetes, se evaluaron las siguientes variables: número de hojas, área de la copa, largo promedio del espinazo, altura de la planta, circunferencia del tallo; así como el inventario inicial de malezas. Todas las variables agronómicas fueron evaluadas desde el inicio del experimento. Las malezas más abundantes identificadas al final del estudio fueron: *Cynodon nlemfluensis* Vanderyst., *Panicum maximum* Jacq., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *Amaranthus spinosus* L., *Ipomoea purpurea* (L.) Roth., *Portulaca oleracea* L. y *Priva spp.* L. Al evaluar la efectividad del control de malezas generadas por el agroecológico ical tapetes, un análisis ANOVA mostró que el tratamiento con tapetes obtuvo diferencias altamente significativas con respecto al tratamiento sin tapetes, con un control de malezas al 100% al dejar los tapetes en la plantación. Cuando se compararon las medias de las variables agronómicas, se formaron 2 grupos homogéneos, el mejor grupo consistió en el control de malezas al 100% con tapetes. Para las variables altura, área de copa y porcentaje de control de malezas, hubo diferencias altamente significativas, mientras que para la circunferencia del tallo, la longitud de la espina y el número de hojas no hubo diferencias significativas. Los coeficientes de variación son menores al 25%, lo que indica que el diseño utilizado fue adecuado y las variables de relación media a alta están correlacionadas. Por lo tanto, se concluye que los tapetes son una metodología viable para el control de malezas. Se recomienda continuar con las evaluaciones hasta que las palmas estén en producción, a fin de determinar sus correlaciones con la productividad de las palmas; además de verificar los efectos de los tapetes en el desarrollo de la palma aceitera a largo plazo.

## Control de arvenses, Neumáticos de desecho, Tapete agroecológico

### Abstract

In oil palm production, one of the most critical stages is the first year after the transplant, due to the interference between the weeds and the crop that reduces the growth of the latter. Therefore, to evaluate the viability of control of weeds in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) By implementing agroecological carpets two treatments were established (with carpet and without carpet) with 6 repetitions each treatment, in the ranch "Agua" Bendita "located in Palenque, Chiapas. At the beginning of the experiment and after 120 days after the placement of the carpets, the following variables were evaluated: number of leaves, area of the crown, average length of the spine, height of the plant, stem circumference; as well as the initial inventory of weeds. All the agronomic variables were evaluated from the beginning of the experiment. The most abundant weeds identified at the end of the study were: *Cynodon nlemfluensis* Vanderyst., *Panicum maximum* Jacq., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *Amaranthus spinosus* L., *Ipomoea purpurea* (L.) Roth., *Portulaca oleracea* L. and *Priva spp.* L. When evaluating the effectiveness of the control of weeds generated by the agroecological carpets, an ANOVA analysis showed that the treatment with carpets obtained highly significant differences with respect to the treatment without carpets, with a control of weeds at 100% when leaving the carpets in the plantation. When the means of the agronomic variables were compared, 2 homogeneous groups were formed, the best group consisted of 100% weed control with carpets. For the variables height, crown area and percentage of control of weeds, there were highly significant differences, while for the stem circumference, the length of the spine and the number of leaves there were no significant differences. The coefficients of variation are less than 25%, which indicates that the design used was adequate and the variables of medium to high relationship are correlated. Therefore, it is concluded that carpets are a feasible methodology for weed control. It is recommended to continue with the evaluations until the palms are in production, in order to determine their correlations with the productivity of the palms; besides verifying the effects of the carpets in the development of the oil palm in the long term.

## Weed control, Waste tires, Agroecological mat

## 4. Introducción

La Agroecología busca la aplicación de conceptos y principios ecológicos que permitan diseñar agroecosistemas sustentables, en los cuales se minimice la dependencia de agroquímicos principalmente y se promueva el desarrollo de una agricultura autosuficiente y sustentable, que a partir de alternativas novedosas los agroecosistemas sean productivos pero que a su vez conserven los recursos naturales con los que cuentan.

El desarrollo de arvenses en el cultivo de palma de aceite es un problema que genera altos costos por la aplicación de herbicidas y otros productos para detener el desarrollo de éstas, aunado al efecto que esto tiene sobre el ambiente y la salud de los mismos productores (Busi, 2014). Actualmente se requiere determinar metodologías que permitan un manejo eficiente de las arvenses. La palma tiene un sistema radicular bastante superficial; lo que facilita una alta producción de arvenses como por ende el uso desmedido de agroquímicos, por tal motivo en un radio de 2 a 2,5 m debe permanecer limpio. Durante los primeros 4 años de crecimiento, las arvenses producen un daño directo a la palma por competencia y alelopatía. Si no se controlan, el efecto negativo de las arvenses se manifestará en la futura productividad del cultivo (FAO, 1987; Edwards *et al.* 2014; Nusaibah *et al.* 2016).

De acuerdo a las referencias para el cultivo de palma de aceite, según el paquete tecnológico del INIFAP (2014), con 150 plantas/ha para el año 1, para la conversión de potrero y una pequeña extensión de bosque secundario, el costo de control de arvenses es de 3,680 pesos mexicanos; lo que representa el 27,49 % del costo de producción de la inversión inicial en establecimiento y se debe realizar mantenimiento hasta el año 5 o al cierre de copas. Dentro de este contexto, resulta imperante buscar estrategias que permitan una disminución real de los costos de producción y en especial del control de arvenses en el establecimiento y mantenimiento de palma de aceite, en los primeros años.

Por otra parte, el mal manejo de neumáticos de desecho representa una problemática en la zona de estudio, asociado a los problemas en la recolección y la falta de lugares adecuados y autorizados para su acopio (Horner *et al.* 1996; Smolders *et al.* 2002). Lo anterior puede significar un riesgo para la salud humana y para el medio ambiente.

Ante la necesidad de mitigar el problema ambiental que implica las llantas de desecho y la necesidad de incrementar la producción de palma de aceite, empresas como Productores la Buena Tierra SPR DE RL y el CONACYT en su Programa de Estímulos a la Innovación (PEI-232353), desarrollaron un proyecto innovador relacionado con el diseño de un prototipo de tapete agroecológico para el control de arvenses en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en la región selva en Chiapas. Este tapete agroecológico es un dispositivo elaborado a partir de neumáticos de desecho, que evita la proliferación de arvenses en plántulas en crecimiento que, por ende, son susceptibles de invasión de otras plantas con las que compiten por nutrientes y por luz solar; el tapete es circular y consta de un diámetro variable que se adapta al crecimiento del cultivo, dicho tapete es resistente a las condiciones climáticas diversas y a las condiciones de manejo rudo. Por lo que se espera que mediante la implementación de este tapete disminuyan los costos de producción por control de arvenses y el uso de agroquímicos, además de beneficiar el uso de recursos en otros procesos tales como la fertilización y control de roedores (Oterocolina *et al.* 2016). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad de implementar tapetes agroecológicos para alcanzar una reducción significativa de arvenses que compiten con el desarrollo y productividad del cultivo de palma de aceite.

### 4.1 Materiales y métodos

#### 4.2 Sitio de estudio

El ensayo fue establecido en el Rancho Agua Bendita, en Palenque Chiapas, propiedad de Productores La Buena Tierra, productor de palma de aceite. El clima es cálido húmedo, con una media de temperatura anual de 26 °C, la precipitación pluvial es de 2,762.9 mm al año, los vientos dominantes son del "norte", especialmente en el invierno. La vegetación predominante corresponde a Bosque de Latifoliadas Siempreverde, 17.73497 de latitud y -92.10086 de longitud, con altitud < 200 msnm. La Hidrografía por las características del terreno semi montañoso y el clima de la zona, los recursos hidrológicos son abundantes, en los alrededores de Palenque corren los ríos Usumacinta, Chamacax, Chancalá, Chocoljaito, Bascán, Michol, San Simón, Trapiche.

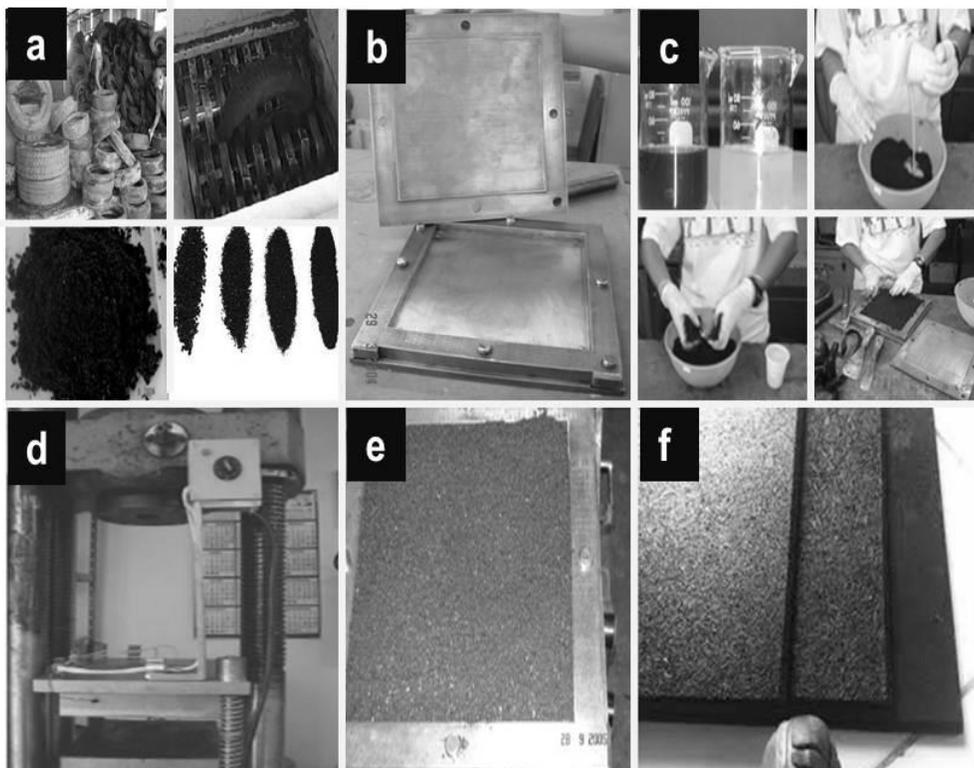
La diversidad de la flora contempla recursos madereros como ceiba (*Ceiba pentandra*), cedro (*Cedrus*), caoba (*Swietenia macrophylla*), chicozapote (*Manilkara zapota*), así como guarumbo (*Cecropia peltata*), hule (*Ficus elastica*), jimba (*Olmeca recta*), capulín (*Prunus salicifolia*), calaguaste (*Prunus salicifolia*), coralillo (*Hamelia patens*), pasaque (*Simarouba glauca* DC.) y guayacán (*Porlieria chilensis*). La fauna también es variada, se puede encontrar jabalí, armadillo, mapache, tortuga plana, tortuga cocodrilo, puercoespín, coatí (tejón), tlacuache (zarigüeya), venado cabrito, iguana de ribera, boa, coralillo y zopilote rey, así como aves como colibrí, chachalacas, guacamayas y algunos tucanes, aunque una de las especies más emblemáticas es el saraguato (*Alouatta palliata*, Gray 1849) o mono aullador. El rancho está en suelos predominantemente Arenosoles, específicamente arenosol Cámbico por lo que se adapta a gran variedad de cultivos y pastoreo (INEGI, 2016).

### 4.3 Diseño del tapete agroecológico

Inicialmente los tapetes diseñados fueron cuadrados con dimensión de 1 m<sup>2</sup>, con apertura cilíndrica de una sola dimensión, debido a la rigidez de la materia prima con la que fueron elaborados, esto permitió probar su resistencia por efectos de temperatura y para la elaboración del tapete a partir de la llanta reciclada de acuerdo a la metodología establecida por Rodrigues y Ferreira (2010). Posteriormente, los tapetes fueron rediseñados con una metodología modificada descrita por Pagliuso (2008) para la elaboración de láminas a partir de llantas recicladas.

Para la elaboración de estas láminas se utilizó resina de poliuretano derivada del aceite de ricino y caucho, de forma manual (Figura 4.1). Con los dos constituyentes de la resina de poliuretano (poliol prepolímero), a una relación de resina de PU/caucho 18% (m/m), respectivamente. Para la producción del material compuesto, fue necesario calentar los moldes a 100 °C, para permitir la reducción del tiempo de polimerización de la resina. El material fue desarrollado por el Grupo de Tecnología de Polímeros del Instituto de Química de São Carlos-USP. Se utilizó la resina de poliuretano derivado de aceite de ricino, ya que es un producto obtenido a partir de recursos naturales y renovables. Finalmente se obtuvo un tapete con un obturador central, que se puede abrir en la medida que crece la palma, lo que permite su uso por al menos 5 años. Se estima que dichos tapetes podrán tener una vida útil de 10 a 20 años por estar compuestos por polietileno. Las dimensiones de este tapete fueron de 80 cm de radio (Figura 4.2).

**Figura 4.1** Elaboración de las placas de caucho utilizado para el diseño del tapete. 1a: Mezcla de partículas de caucho con la resina de PU; 1b: Placas de acero para dar forma; 1c: Relleno de la forma con la mezcla generada previamente; 1d: Calentamiento y presión en el dispositivo de formación de las placas de caucho; 1e: Verificación de homogeneidad de la placa; 1f: Producto final.



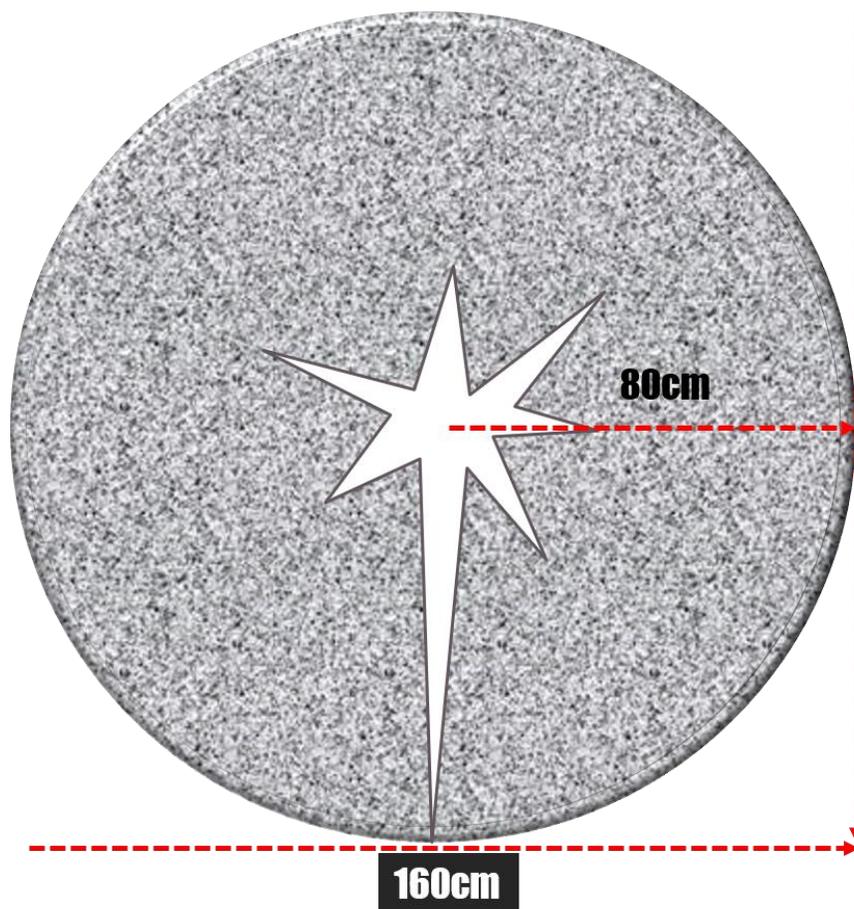
El diseño del tapete permite un control de maleza en el cajete del 100% , manteniendo la humedad y facilitando el manejo agronómico de la palma hasta el cierre de copas e inicio de etapa productiva, disminuyendo notablemente el uso de agroquímicos y mano de obra para labores de control de malezas. De igual forma permite que éste se adapte al crecimiento de la planta y brinda otras ventajas en etapa productiva como la colecta de los frutos que al madurar caen al suelo, es de fácil instalación y puede ser reusado en otra plantación por años.

Es importante señalar que en esta primera etapa, el tapete se pudo instalar operativamente en plantaciones con excelentes resultados, con el seguimiento y análisis que ha permitido adicionar accesorios que favorecen, entre otras cosas , el funcionamiento operativo del diseño del tapete.

#### 4.4 Evaluación de variables agronómicas

El registro y evaluación de las variables se realizó al comienzo del experimento y luego de 120 días tras la colocación de los tapetes; las variables fueron: longitud del raquis (LR), distancia medida en metros desde la base de las espigas hasta el ápice del raquis (Figura 3); número de hojas (NH), para la obtención de este dato se marcó la hoja fotosintéticamente más joven del número 1 en adelante; altura de la palma (A) se realizó la medición desde el suelo hasta el doblar de la hoja bandera; área de copa (AC) se refiere al área que ocupa la copa de la palma en el suelo; circunferencia del tronco (CT) se realizó la medición del centro a la tangente del tronco (Ayala 2000; Noh *et al.* 2014).

**Figura 4.2** Diseño final del tapete agroecológico con registro industrial y solicitud de patente (PI 0600993).



**Figura 4.3** Vista de los dos diferentes tratamientos con plantas de palma de aceite. 1a: Palma sin tapete; 1b: Palma con tapete.



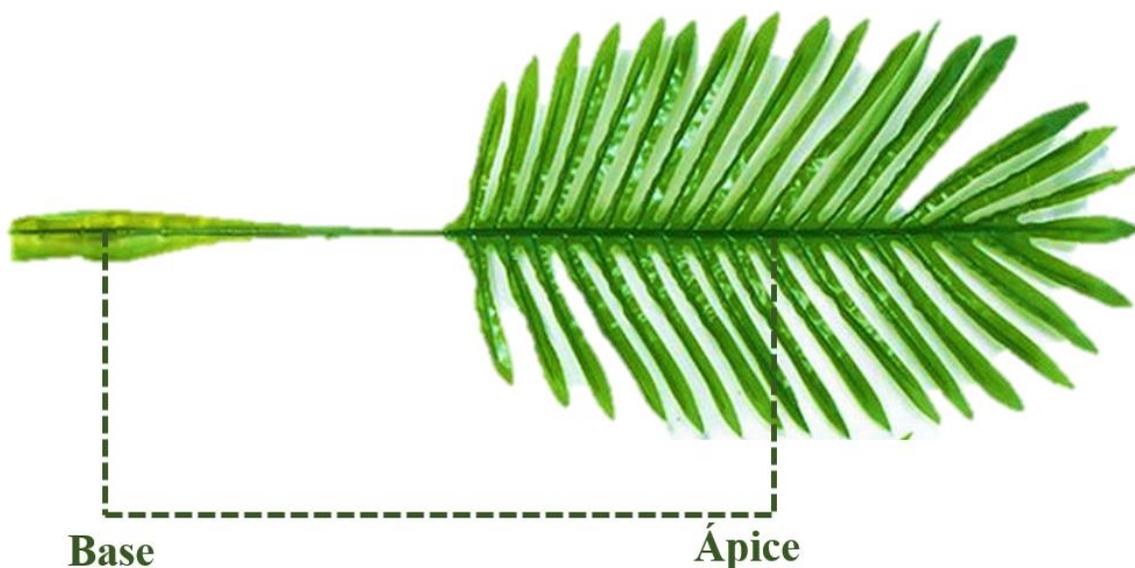
#### 4.5 Identificación de arvenses

El muestreo se realizó en la superficie de cultivo disponible por palma de aceite, para ello se establecieron una serie de puntos aleatorios para recoger las arvenses predominantes en un área de  $2,5 \text{ m}^2$  de acuerdo a la metodología establecida por De Egea et al. 2016, lo que permite la cuantificación porcentual de las especies. La recopilación de datos incluyó la recolección aleatoria de especímenes de plantas, la georreferenciación de los registros, la identificación de especímenes y la resolución taxonómica. Siempre que fue posible, los especímenes se recogieron en cuadruplicado. Los conjuntos de muestras originales se consultaron e identificaron en bases de datos en línea tales como los herbarios TROPICOS (2016), y 'MEXU' (Herbario Nacional de México de la Universidad Nacional Autónoma de México); así también en el ITIS Report (*Integrated Taxonomic Information System*), en la base de datos GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) e identificados con el código de barra del herbario NYBG (*New York Botanical Garden*).

#### 4.6 Diseño experimental y análisis estadísticos

El primer diseño de tapete construido a escala real fue colocado en plantaciones de palma de aceite de 2 años de establecidas, se consideraron 2 tratamientos con 6 repeticiones cada uno siendo estos Ta= Testigo (tratamiento sin tapete) y Tb = Tratamiento con tapete. Se consideraron como unidad experimental cada una de las plantas de palma con un área de control de  $2,5 \text{ m}^2$ , de manera que se tomaron en cuenta un solo individuo (palma) por parcela o repetición (Figura 4). Al inicio del experimento dicha área se encontraba limpia y libre de arvenses por lo que el día 1 como control inicial es cero presencias de estructura vegetal.

**Figura 4.4** Posición de la toma de datos para determinar longitud de raquis.



Se realizó un análisis de varianza, con el uso del programa estadístico InfoStat versión 2016 que determinó la significancia para las variables evaluadas con la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ) (Elliott et al. 2011). El análisis de la varianza entre tratamientos se realizó vía no paramétrica mediante la Prueba de Kruskal Wallis.

#### 4.7 Resultados

Al inicio de la evaluación las variables agronómicas reportadas para todos los ejemplares evaluados en promedio se presentan en la tabla 1. Para las variables altura, área de copa y porcentaje de control de arvenses se presentaron diferencias altamente significativas, mientras que para la circunferencia del tallo, longitud de raquis y número de hojas no hubo diferencia significativa. Los coeficientes de variación son menores a 25 % lo cual indica que el diseño utilizado fue adecuado y están correlacionadas las variables de mediana a alta proporción.

**Tabla 4.1** Evaluación de las variables agronómicas a los 0, 60 y 120 días de evaluación de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) implementando los tapetes agroecológicos.

Periodos de evaluación (Días)	Tratamiento	Altura del tallo (cm)	Circunferencia del tallo (m)	Longitud del raquis (m)	Número de hojas (Unidad)	Área de copa (m <sup>2</sup> )	Control de malezas (%)
0	-	1.9 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>	1.9 <sup>c</sup>	30 <sup>c</sup>	1.6 <sup>c</sup>	0
60	Ta	2.9 <sup>b</sup>	2.1 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	2.4 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
	Tb	3.8 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
120	Ta	9.7 <sup>b</sup>	2.9 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>
	Tb	19.2 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	9.4 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	100 <sup>a</sup>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes; Grado de significancia: \*  $p < 0.05$  Diferencias significativas; Ta: Tratamiento sin tapete; Tb: Tratamiento con tapete

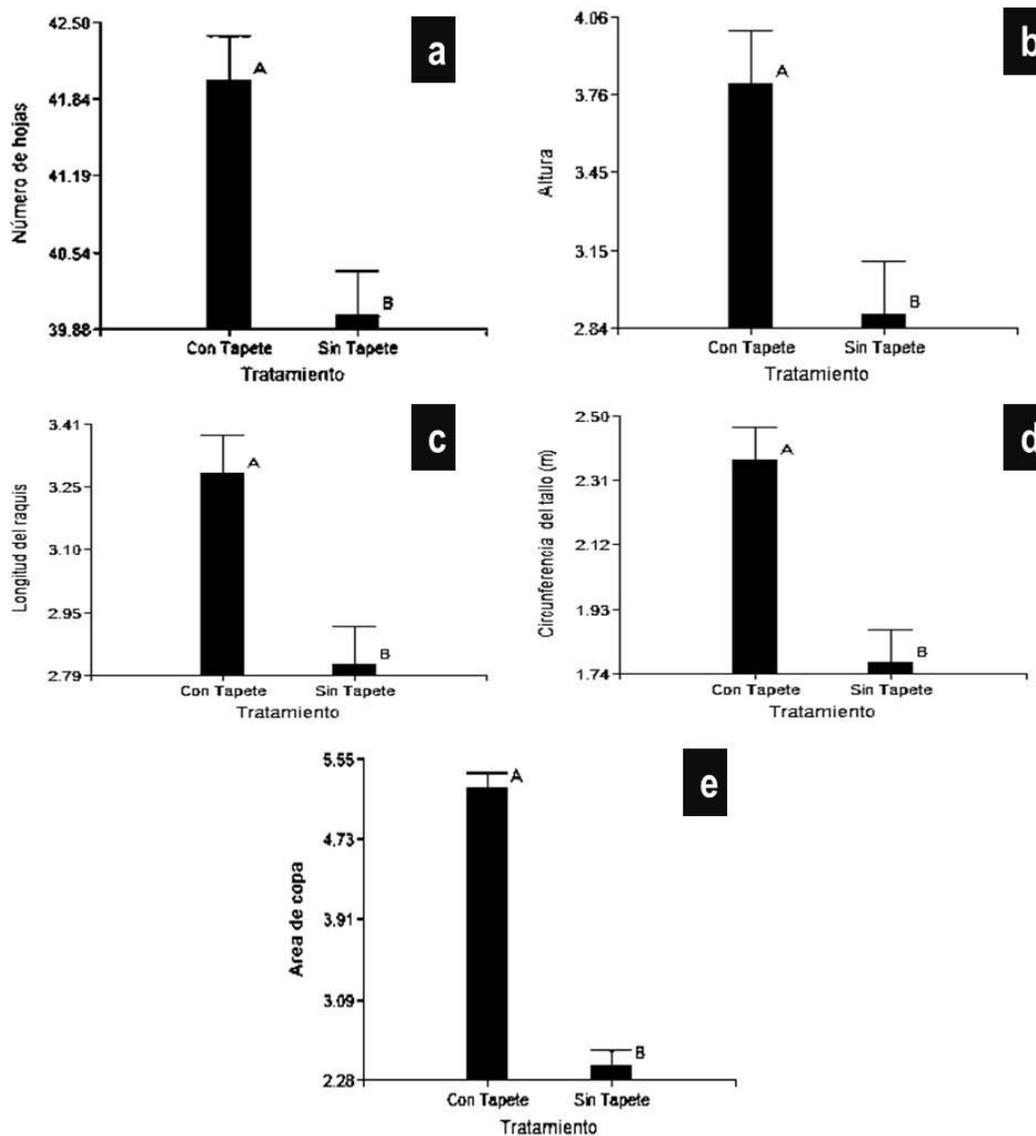
Al evaluar la efectividad en el control de arvenses generado por el tapete agroecológico (Tabla I), se muestra cómo el tratamiento con tapete presentó diferencias altamente significativas respecto al tratamiento sin tapete, con un control de arvenses del 100 %. Los resultados de porcentaje de control de arvenses es 0 ó 100. Al realizar la comparación de medias (Tabla 1) se obtuvo 2 grupos homogéneos, donde el mejor grupo estuvo constituido por el control de arvenses con tapete con una media del 100%.

En la figura 4.4 se observa el control realizado con tapete y sin tapete.

En cuanto a las variables de medidas de crecimiento de la palma de aceite, se obtuvieron diferencias altamente significativas en relación al control de arvenses, medidos durante 120 días de haber sido colocados los tapetes. Al tratarse de palmas muy jóvenes, de solo 2 años de plantación, las variables medidas evaluadas demostraron la importancia del control de arvenses en la eficiencia y productividad de la palma de aceite (Tabla 1). Así mismo, en la figura 5 se puede observar gráficamente el comportamiento y distribución de las variables evaluadas durante el ensayo; la presencia del tapete agroecológico favorece el desarrollo de la planta, con respecto a número de hojas, altura, longitud del raquis, circunferencia del tallo y área de la copa se observan diferencias estadísticamente significativas del tratamiento con tapete con respecto a donde éste no fue colocado, demostrando la efectividad del mismo para reducir la competencia que pueden ejercer las malezas sobre el desarrollo de la palma de aceite.

Para verificar si existe correlación entre el porcentaje de control de arvenses y las variables medidas se realizó el análisis de correlación de Pearson. En la tabla 2 se muestran sus coeficientes / probabilidades. Se observa que existe una alta correlación para todas las variables agronómicas, excepto para circunferencia del tallo con respecto a número de hojas y altura, con el control de arvenses. También se encontró correlación entre altura con longitud de raquis y ésta a su vez con circunferencia del tallo.

**Figura 4.5** Comportamiento de las variables evaluadas durante el ensayo. 5a: Número de hojas; 5b: Altura; 5c: Longitud de raquis; 5d: Circunferencia de tallo; 5e: Área de copa



**Tabla 4.2** Correlación de Pearson, coeficientes/probabilidades de las variables medidas.

	Control de malezas (%)	Área de copa (m <sup>2</sup> )	Número de hojas (Unidad)	Altura (cm)	Longitud del raquis (cm)	Circunferencia del tallo (cm)
Control de malezas (%)	1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Área de copa (m <sup>2</sup> )	0,95	1	0,00	0,01	0,01	0,00
Número de hojas (Unidad)	0,66	0,63	1	0,06	0,03	0,18
Altura (cm)	0,59	0,54	0,43	1	0,03	0,17
Longitud del raquis (cm)	0,65	0,58	0,49	0,48	1	0,02
Circunferencia del tallo (cm)	0,73	0,73	0,31	0,32	0,52	1

#### 4.8 Identificación de arvenses

En función de la identificación de arvenses se localizaron un total de 25 especies clasificadas en gramíneas y arvenses de hojas anchas. Estas fueron observadas e identificadas de forma taxonómica con los códigos de barra del herbario NYBG (New York Botanical Garden) el cual se observa en la tabla 3.

Las arvenses gramíneas más abundantes fueron *Cynodon nlemfluentis* Vanderyst., *Panicum maximum* Jacq., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, y de hojas anchas *Amaranthus spinosus* L., *Ipomoea purpurea* (L.) Roth., *Portulaca oleracea* L. and *Priva spp.* L. Ambos grupos se encuentran presentes en el área evaluada así como en los tratamientos considerados.

**4.9 Discusión**

La FAO (2016) señala que los cultivos oleaginosos, al igual que todas las plantas cultivables, sufren de la presencia de las arvenses, cuya competencia con el cultivo por la humedad, los nutrientes y el espacio puede ser intensa. Los cultivos anuales y los árboles jóvenes son más sensibles a la competencia de las arvenses que los árboles maduros. La competencia de las arvenses es mayor a una edad temprana del cultivo, por lo que las medidas de control tienen que estar dirigidas a mantener condiciones aceptables de desyerbe hasta que el cultivo sea capaz de competir efectivamente con las arvenses (Corley *et al.* 1971; 2009; Abram *et al.* 2016).

Según la FAO (1987) existen arvenses más agresivas que otras, algunas con una emergencia temprana, debido a que el ataque de las arvenses se produce a través de procesos de desarrollo desencadenados por la quimiodetección de la planta huésped. Las semillas de esas especies de malas hierbas permanecen latentes en el suelo hasta que la germinación se desencadena por los exudados de la raíz del huésped con los objetivos de extraer nutrientes destinados al crecimiento y producción de biomasa aérea (Fernández-Aparicio *et al.* 2016a). Algunas arvenses de tipo fotosintético C4, otras C3, así también aquellas que basan su mecanismo en la promoción de la germinación suicida debido a la introducción de interferencia aleloquímica, estrategias para conectarse con el sistema vascular del cultivo de importancia, generando la inhibición biótica o abiótica del crecimiento de la radícula, debido a la superposición física y metabólica de la arvense (Fernández-Aparicio *et al.* 2016b). Aguilera *et al.* (2015a) demostraron el efecto alelopático que ejerce *Acacia dealbata* Link como una estrategia para promover su proceso de invasión, mientras que las plantas que buscan crecer bajo su dosel sobreviven con dificultad o no tienen éxito. Este efecto alelopático se debe a compuestos químicos no volátiles poco conocidos; en este sentido Aguilera *et al.* (2015b) estudia el potencial alelopático de esta planta analizando extractos acuosos de diferentes materiales vegetales de la misma y su efecto sobre la germinación y el crecimiento temprano de plántulas de *Lactuca sativa* L. y encuentran que los compuestos químicos presentes redujeron significativamente el hipocótilo y longitud radicular de *L. sativa*, por lo que concluyen que *A. dealbata* ejerce su potencial alelopático a lo largo de su ciclo fenológico; así mismo, se presentan cambios morfológicos y daños a nivel radicular lo que representa una amenaza para el crecimiento y supervivencia de especies receptoras (Aguilera *et al.*, 2015c).

**Tabla 4.3** Nombre científico de las malezas existentes en el rancho Agua Bendita, Palenque Chiapas, con sus respectivos números de identificación en el herbario virtual New York Botanical Garden (NYBG) en comparación con la efectividad de otros tratamientos para disminuir la biomasa de malezas.

Tratamiento		N.	Gramíneas	Código de barra del herbario NYBG	N.	Hojas anchas	Código de barra del herbario NYBG	Efectividad 100%
Tapetes ecológicos Ortega-Ramírez et al. (2017)	Palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> )	1	<i>Chloris radiata</i> (L.) Sw.	01044449	1	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	1070569	
		2	<i>Cynodon nlemfluentis</i> Vanderyst.	01044507	2	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	00837876	
		3	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Roth in Rosen & Schult	1696593	3	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	1015184	
		4	<i>Echinochloa indica</i> (L.) Gaertn.	02708113	4	<i>Cyperus tenuiflorus</i> (L.) Nicolson & C.E. Jarvis	621723	
		5	<i>Lactuca p. Beauv.</i>	02065947	5	<i>Commisura diffusa</i> Bunn F.	1503948	
		6	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	01132319	6	<i>Cleome viscosa</i> L.	195999	
		7	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumacher	00896163	7	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	1697292	
		8	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	365672	8	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	1697292	
					9	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	1697292	
					10	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	02549781	
					11	<i>Portulaca oleracea</i> L.	00859337	
					12	<i>Priva spp.</i> L.	01095806	
					13	<i>Sida acuta</i> Willd.	1042236	
					14	<i>Sida acuta</i> Willd.	1042236	
					15	<i>Syntherisma nodosum</i> Schott	498120	
					16	<i>Liriodendron chinense</i> (L.) Pruski	00964718	
					17	<i>Hybanthus sarracenicus</i> (L.) Pruski	88016	
Uso de aleloquímicos como método alternativo Cana et al. (2013)	Cultivo libre de malezas	1	<i>Echinochloa indica indica</i> (L.) Gaertn.	02708113	-	-	-	90% en la emergencia (EM 90), peso fresco (FW 90.), la longitud del disparo (SL 90) y la longitud de la raíz (RL 90)
Uso de glufosinato, un herbicida de post-emergencia Jalaludin et al. (2017); Saito (2010)	Cultivo libre de malezas	1	<i>Echinochloa indica indica</i> (L.) Gaertn.	02708113	1	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	1697292	44% a 47% del herbicida transferido fuera de la hoja tratada 24 horas después de la siembra

De acuerdo a lo antes mencionado se determinó que las palmas con tapete presentan mayores índices de crecimiento en relación con el tratamiento que no posee tapete. Este fenómeno también fue identificado por Donoso et al. (2007) al concluir que una alta cobertura de arvenses incide en la disminución del crecimiento del cultivo; sin embargo, comprobó la utilidad de usar un fertilizante en concentraciones intermedias que le provee a las arvenses los nutrientes requeridos para no obtenerlos del cultivo de interés. Así también Kogan & Figueroa, (1999) demostró un control de arvenses durante el segundo año de crecimiento de *Pinus radiata* con lo que se logra una disminución de la biomasa hasta en un 65 %.

Por otro lado, a través del presente trabajo de investigación se demostró que al suprimir el área radial libre de crecimiento del cultivo permite un efecto positivo sobre la altura del tallo, área de copa y control de arvenses, tal como lo demostró Saito (2010) quien evaluó las correlaciones entre el rendimiento de arroz bajo condiciones libres de arvenses, por lo que la biomasa de éstas varió en función del nivel de supresión del área por el cultivo, demostrando altos rendimientos de las arvenses en condiciones libres o por una fuerte competencia de la arvense (*Cyperus* spp., *Echinochloa* spp. and *Eleusine indica*) con el cultivo de interés por el terreno o área. Este fenómeno de la relación supresión de área-disminución de arvenses se corrobora también con el trabajo realizado por Singh (2017) al demostrar que el aumento de la competitividad de los cultivos y supresión por el área de crecimiento es uno de los enfoques que podrían integrarse como sistema actual de gestión de arvenses así como elegir cultivares con vigor temprano, ajustar la densidad de siembra son algunos de los enfoques que podrían mejorar la competitividad de los cultivos frente a las arvenses.

De acuerdo a lo antes expuesto el establecimiento de tapetes agroecológicos representa una alternativa viable al control de arvenses erradicando el uso de herbicidas que al mismo tiempo evita el fenómeno de hormesis que puede abonar a la evolución de la resistencia (Belz et al. 2018) por parte de las arvenses hacia el herbicida tal como lo demostró Busi, (2014) quien evaluó los casos de resistencia que se han desarrollado en las principales especies de arvenses en tres sistemas agrícolas diferentes, sin olvidar los beneficios económicos que implica la reducción en costo por la compra de herbicidas. De manera que al evitar la aplicación de agroquímicos para eliminar arvenses, se disminuye la posibilidad de que estas se adapten a esas condiciones y desarrollen ventajas competitivas sobre los cultivos.

#### 4.10 Conclusiones

Se encontró que en los 120 días de evaluación y 24 meses de establecimiento en campo de palma aceitera, los mejores índices en medidas de desarrollo vegetativo se obtuvieron con el uso del tapete para controlar arvenses, lo que demostró la factibilidad de implementar esta innovación en la producción de palma de aceite. El establecimiento del tapete agroecológico representa una alternativa viable para los productores, al prescindir de la aplicación de agroquímicos para controlar las arvenses que compiten con el cultivo por nutrientes, principalmente. El desarrollo de tapetes elaborados con llantas de desecho representa una estrategia sustentable para evitar el daño ambiental que estos pueden generar por su acumulación indebida. De manera que es importante utilizar un manejo de control de arvenses con el uso de tapetes agroecológicos e implementar el uso de coberturas como alternativa en el control de arvenses en la plantación y continuar con el estudio hasta la cosecha para determinar posibles efectos de los tapetes en la productividad de la palma.

#### 4.11 Referencias

- Abram, N; Xofis, K; Tzanopoulos, P; Macmillan, J; Ancrenaz, DC; Chung M; Ambu, L. (2014). Synergies for improving oil palm production and forest conservation in floodplain landscapes. *PloS one* 9(6): e95388.
- Ashraf, M; Yasmin, H. (1991). Differential waterlogging tolerance in three grasses of contrasting habitats: *Aeluropus lagopoides* (L.) Trin., *Cynodon dactylon* (L.) Pers. and *Leptochloa fusca* (L.) Kunth. *Environmental and experimental botany* 31(4): 437-445.
- Ayala, IM; Gómez, PL. (2000). Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas* 21: 10-21.

- Belz, RG; Farooq, MB; Wagner, J. (2018). Does selective hormesis impact herbicide resistance evolution in weeds? ACCase-resistant populations of *Alopecurus myosuroides* Huds. as a case study. *Pest management science*.
- Busi, R. (2014). Resistance to herbicides inhibiting the biosynthesis of very-long-chain fatty acids. *Pest management science* 70(9): 1378-1384.
- Cayón, DG. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas* 20(3): 43-54.
- Chuah, T; Tan S, PK; Ismail, BS. (2013). Effects of adjuvants and soil microbes on the phytotoxic activity of coumarin in combination with p-vanillin on goosegrass (*Eleusine indica* L.) seedling emergence and growth. *South African journal of botany* 84: 128-133.
- Corley, RHV; Gray BS; Kee, NS. (1971). Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Experimental Agriculture* 7(02): 129-136.
- Corley, RHV; Celis, A; Luis, A; Sharofah, SS; Ferreira, LGR; Dos Santos, JV; Bastidas, P. (2009). La palma de aceite. In v. 31, no. Especial Tomo I (2010), p 278-290 (No. CD-0570). Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma [Colombia].
- De Egea, J; Mereles, F; Pena-Chocarro, MC; Céspedes, G. (2016). Checklist for the crop weeds of Paraguay. *PhytoKeys* (73): 13.
- Edwards, FA; Edwards, DP; Sloan, S; Hamer, KC. (2014). Sustainable management in crop monocultures: the impact of retaining forest on oil palm yield. *PloS one* 9(3): e91695.
- Donoso, PJ; Gerding, V; Uteau, D; Soto, DP; Thiers, O; Donoso, C. (2007). Efecto de fertilización y cobertura de malezas en el crecimiento inicial y la mortalidad de una plantación de *Nothofagus dombeyi* en la Cordillera de Los Andes. *Bosque (Valdivia)* 28(3): 249-255.
- Elliott, AC; HYNAN, LS. (2011). A SAS® macro implementation of a multiple comparison post hoc test for a Kruskal–Wallis analysis. *Computer methods and programs in biomedicine* 102(1): 75-80.
- FAO. (1987). Manejo de malezas: manual del instructor. Roma, Italia, s.n.t. 160 p.
- FAO. (2016). Manejo de malezas para países en desarrollo. Capítulo 17. Manejo de malezas en oleaginosas y fibras. <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s01.htm>.
- Fernández-Aparicio, M; Masi, M; Maddau, L; Cimmino, A; Evidente, M; Rubiales, D; Evidente, A. (2016). Induction of haustorium development by sphaeropsidones in radicles of the parasitic weeds striga and orobanche. A structure–activity relationship study. *Journal of agricultural and food chemistry* 64(25): 5188-5196.
- Fernández-Aparicio, M; Reboud X; Gibot-Leclerc, S. (2016). Broomrape weeds. Underground mechanisms of parasitism and associated strategies for their control: a review. *Frontiers in plant science*. 7: 135.
- Horner, JM. (1996). Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires. *Reviews on environmental health*, 11(4), 175-178.
- Jalaludin A, Yu; Zoellner, Q; Beffa P, RS; Powles, B. (2017). Characterisation of glufosinate resistance mechanisms in *Eleusine indica*. *Pest management science* 73(6): 1091-1100.
- Kogan, M; Figueroa, R. (1999). Interferencia producida por las malezas durante los dos primeros años en *Pinus radiata* D. Don. *Bosque* 20(1): 57-64.

- Noh, A; Rafii MY; Din, AM; Kushairi, A; Norziha, A; Rajanaid, N; Malek, MA. (2014). Variability and performance evaluation of introgressed Nigerian dura x Deli dura oil palm progenies. *Genetics and Molecular Research* 13(2): 2426-2437.
- Nusaibah, SA; Akmar, ASN; Idris, AS; Sariah, M; Pauzi, ZM. (2016). Involvement of metabolites in early defense mechanism of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) against *Ganoderma* disease. *Plant Physiology and Biochemistry* 109: 156-165.
- Otero-Colina, G; González-Gómez, R; Martínez-Bolaños, L; Otero-Prevost, LG; López-Buenfil, JA; Escobedo-Graciamedrano, RM. (2016). Infestation of *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) on Host Plants of High Socio-Economic Importance for Tropical America. *Neotropical entomology*: 1-10.
- Pagliuso, RG; Abbud-Filho, M; Alvarenga, MPS; Ferreira-Baptista, MAS; Biselli, JM; Biselli, PM; Pavarino-Bertelli, EC. (2008). Role of glutathione S-transferase polymorphisms and chronic allograft dysfunction. In *Transplantation proceedings* 40 (3): 743-745).
- Pandolfo, CE; Presotto A; Carbonell, FT; Ureta, S; Poverene, M; Cantamutto, M. (2016). Transgenic glyphosate-resistant oilseed rape (*Brassica napus*) as an invasive weed in Argentina: detection, characterization, and control alternatives. *Environmental Science and Pollution Research* 23(23): 24081-24091.
- Rodrigues, MR; Ferreira, OP. (2010). Caracterização de compósitos produzidos com borracha de pneus inservíveis e resina poliuretana. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 11(5): 274-283.
- Saito, K. (2010). Weed pressure level and the correlation between weed competitiveness and rice yield without weed competition: An analysis of empirical data. *Field crops research* 117(1): 1-8.
- Singh, B. (2017). Weed management in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) through weed-crop competition: A review. *Crop protection*.
- Smolders, E; Degryse, F. (2002). Fate and effect of zinc from tire debris in soil. *Environmental science & technology*, 36(17), 3706-3710.

## Capítulo 5 Agua y salud en México: patógenos y legislación

### Chapter 5 Water and health in Mexico: pathogens and legislation

BARRERA-BERNAL, Clementina†, DOMÍNGUEZ-BARRERA, Clemen y GUZMÁN-GUILLERMO, Jorge

*Facultad de Biología Xalapa, Universidad Veracruzana*

*División de Estudios de Posgrado, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Clementina, Barrera-Bernal / **ORC ID:** 0000-0003-0865-8360

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Clemen, Domínguez-Barrera* / **ORC ID:** 0000-0001-6788-7759

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jorge, Guzmán-Guillermo* / **ORC ID:** 0000-0003-2137-3028

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.62.76

C. Barrera, C. Domínguez y J. Guzmán

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-México, Querétaro, 2020.

## Resumen

Se resume el panorama en México sobre las enfermedades infecciosas y no infecciosas transmitidas por el agua, su etiología y sintomatología. Además, se presenta un análisis sobre la legislación mexicana en este tema. Finalmente, se abordan otros nuevos temas poco tratados en la literatura pero con una importancia primaria como son las enfermedades emergentes transmitidas por el agua, vertido de antibióticos en el agua de drenaje y el efecto del cambio climático en la salud humana.

## Enfermedades emergentes, Bacterias, Virus

### Abstract

In this chapter we resume the panorama about infectious or no infectious waterborne diseases in Mexico, its etiology and symptomatology. Furthermore, an analysis about mexican legislation in this topic is presented. Finally, we explain other new topics little treated but of primary importance such as emerging waterborne diseases, antibiotics in drain water and the effect of climate change on human health.

## Emerging diseases, Bacteria, Viruses

### 5. Introducción

Las enfermedades transmitidas por el agua nos han acompañado como especie humana desde nuestros orígenes evolutivos, debido a nuestra necesidad fisiológica de consumirla. Sin embargo, el agua se encuentra muchas veces contaminada por diversas partículas como bacterias, protozoarios, hongos, virus e incluso compuestos o iones inorgánicos, que pueden tener un efecto tanto negativo como positivo sobre nuestra salud. Si bien la mayor parte de los contaminantes del agua son inocuos para nuestra fisiología, ocasionalmente algunos organismos o compuestos químicos logran atravesar nuestras barreras mucosas y causar enfermedades leves o mortales.

Es por ello que en este capítulo presentamos una revisión bibliográfica del tema de las *enfermedades transmitidas por el agua*, como una puesta al día de las enfermedades más recurrentes, su etiología y sintomatología. Por otro lado se presenta un panorama general de la legislación en México que regula la sanidad en el agua para el consumo humano y lo relacionado con sus usos. Además, se retoman temas novedosos como las enfermedades emergentes cuyo número de infecciones en humanos ha aumentado en los últimos años. Asimismo, se tratan otros temas de interés público como la disposición inadecuada de antibióticos y los efectos que ello ha traído consigo en la aparición de cepas bacterianas multirresistentes. Finalmente, se hace un trata el efecto que tendría el cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por el agua y por consecuencia en la salud humana.

#### 5.1 Patógenos transmitidos por el agua en la historia

Como en muchas otras áreas del conocimiento científico, durante la edad media los avances de las tecnologías relacionadas a la purificación, extracción y distribución del agua fueron mínimos, debido a que la experimentación científica era escasa (Mays, 2013). Afortunadamente, en épocas anteriores se produjeron avances que sentaron las bases para las tecnologías modernas del agua. Los escritos más antiguos relacionados a la purificación del agua son tratados médicos en Sánscrito escritos alrededor del 2000 a.c., ¡hace más de 4000 años! En ese tratado exponen que “es bueno mantener en agua en vasijas de cobre, exponerla al sol y luego filtrar con carbón de leña” (Place, 1905 en Mays, 2013). Lo cual no parece tan desacertado si lo extrapolamos a estudios recientes. Se ha concluido que al mantener el agua en contenedores de cobre se limita el crecimiento de algunas bacterias patógenas y se genera también un efecto bactericida sobre *Shigella flexneri*, *Salmonella enterica* Typi, *Salmonella* Paratyphy, *Vibrio cholerae* O1 y algunas cepas patogénicas de *Escherichia coli* (Preethi *et al.*, 2012). Esto último resulta interesante pues los desordenes gastrointestinales más comunes en la actualidad son causados por esos agentes etiológicos.

En la cultura Griega, 1500 años después, Hipócrates parece haber dilucidado una relación entre la pureza del agua y la salud del ser humano, ya que a sus pacientes les hacía beber agua limpia y también curaba sus heridas con agua limpia o con vino (Andrades *et al.*, 2004).

Así, a Hipócrates, se le atribuye la fabricación de un artefacto (*Hippocrate's sleeve*) capaz de limpiar las partículas suspendidas en el agua, posteriormente eliminaba los patógenos al ser hervida, lo cual cobra importancia al conocerse que lo daba a sus pacientes para que estos tuvieran acceso a agua limpia y acelerar su recuperación (Lauria, 2008).

Para las culturas mesoamericanas, la abundancia y manejo del recurso agua en los ecosistemas presentes en esa región marcó un aspecto decisivo en su florecimiento, majestuosidad y desarrollo (Scarborough y Gallopin, 1991). Numerosas deidades, ceremonias y expresiones artísticas nos relatan la importancia que tenía el agua para estas culturas. En el México prehispánico florecieron culturas cuyo esplendor y modernidad, no se logró en otras zonas del mundo. Parte del éxito y poder de los aztecas fue el correcto manejo que le dieron a su recurso agua, la cual la almacenaban, purificaban, distribuían y veneraban a través de distintas deidades como Tláloc, Chalchiutlicue y Huitzilopochtli. Asimismo, se sabe que la población que habitaba la gran Tenochtitlán se bañaba varias veces al día y fabricaba jabones, desodorantes y pastas dentales como parte de sus medidas de higiene. También se sabe usaban el agua para limpiar las calles y había empleados públicos encargados de llevar a cabo las actividades de limpieza de los espacios públicos (Becerril y Jiménez, 2007). Fue así que hasta la llegada de los españoles y la caída de estos sistemas de manejo del agua es como la ciudad de Temochtital y la cultura Azteca es doblegada. Es por ello, que se habla de una guerra biológica indirecta más que una de una conquista de guerra cuerpo-cuerpo, ya que muchos patógenos eran desconocidos para los aztecas y por consiguiente no contaban con anticuerpos frente a estos.

## 5.2 Agua y salud en el México moderno

Uno de los problemas actuales que poca relación tiene con los patógenos es la ausencia del consumo de agua entre la población mexicana. Pareciera que uno de los países con mayor cantidad de agua disponible tendría una población con acceso al recurso en cantidades suficientes y en una calidad excelente. Sin embargo, esto no sucede así. Para el año 2007 se reporta que en México aún mueren 4800 personas por complicaciones derivadas de la diarrea y solo un 74% de la población tiene acceso a servicios de saneamiento (Llorente y Casas, 2007).

Del otro lado de la moneda, una población poco estudiada y atendida en el país por programas de salud es aquella que aunque tenga acceso al recurso no toma “agua simple” y prefiere el consumo de refrescos. En México, el consumo de refrescos (bebidas azucaradas) y otras conductas alimenticias junto con el sedentarismo ubican al país con el mayor índice de obesidad del mundo (Espinosa-Montero *et al.*, 2013). Y más que las enfermedades ocasionadas por patógenos transmitidos por el agua, las afecciones cardiacas y metabólicas como la hipertensión y la diabetes, provocan la mayor cantidad de muertes e incapacidades entre la población del país (Rivera *et al.*, 2008). Es por ello que recientemente se han puesto en marcha programas que tratan de incrementar el consumo de agua entre escolares (Carriedo *et al.*, 2013; Elder *et al.*, 2014). Si bien son esfuerzos puntuales, sirven de referencia y punto de partida de un problema de salud en relación al agua que urge ser atendido. Estudios como el de Arreguín-Moreno *et al.* (2009), relacionan la preferencia por el consumo de agua simple versus las bebidas azucaradas con el grado de estudios de la población, y encuentran que los mexicanos con un alto nivel de estudios prefieren más tomar agua simple y quienes tienen un nivel de estudios bajo eligen las bebidas azucaradas.

## 5.3 Patógenos transmitidos por el agua.

Las tecnologías relacionadas con la extracción, distribución y consumo de agua han mejorado con la evolución misma del hombre. Sin embargo, los avances más significativos han surgido apenas en los últimos dos siglos, con el entendimiento del origen y epidemiología de las enfermedades microbianas. Si bien el color, sabor y olor del agua fueron un primer recurso de discriminación para el consumo del recurso, no fue hasta la postulación de la teoría microbiana de la enfermedad que se entendió que ciertas enfermedades son causadas por agentes biológicos.

El microbioma acuático en aguas naturales es altamente diverso, pues está formado por bacterias, protoctistas, hongos y animales. Aunque la mayoría de estos organismos no son patogénicos, existen organismos capaces de burlar las barreras mucosas y dérmicas del cuerpo humano ocasionando una amplia gama de padecimientos. Estas enfermedades comúnmente están asociadas a desequilibrios gastrointestinales.

Básicamente son tres grupos de microorganismos patógenos transmitidos al entrar en contacto con el agua; virus, bacterias y protozoarios (Leclerc *et al.*, 2002). Además, algunos patógenos que si bien no son transmitidos por el agua, como los causantes de la malaria, dengue o la enfermedad de Chagas, presentan vectores que necesitan de un medio acuático para completar sus ciclos de vida, principalmente hacia los trópicos.

#### 5.4 Virus

A diferencia de las bacterias que pueden ser más resistentes a las variables medioambientales al formar estructuras de resistencia, los virus pueden ser fácilmente desactivados por cambios en la temperatura, pH, exposición a la radiación luminosa, etc. Pocos son los tipos virus que pueden continuar siendo infectivos por un tiempo prolongado después de salir del cuerpo del hospedero. Uno de estos es el Virus de la Hepatitis tipo A (VHA). Se ha documentado extensamente la permanencia y transmisión de VHA en agua sin tratamientos para su consumo, o bien agua contaminada (Bruguera, 2006; Valdespino *et al.*, 2007). Aunque generalmente los niños adquieren este virus en sus primeros meses de vida y el proceso infeccioso es asintomático, en los países desarrollados y en vías de desarrollo el aumento en las prácticas de sanidad ha llevado a que los individuos se infecten con este virus en etapas posteriores. En los casos en que la infección por VHA es sintomática, puede presentarse en forma de un cuadro ligero de ictericia acompañada de síntomas parecidos a los de la gripa, hasta la falla hepática fulminante y encefalopatía (Rezende *et al.*, 2003). La distribución de VHA está zonificada en el globo, siendo África, Asia y Latinoamérica las regiones con mayor incidencia (Tanno y Fay, 2005). Para México la seroprevalencia de VHA arroja datos crudos, pues se comporta de tal manera que funge como un indicador de inequidad social en la población, para el 2007 el 87% de la población (78.7 millones de personas) se encontraban infectadas del virus, asimismo Valdespino *et al.* (2007) argumentan que esto puede deberse a diferencias en las condiciones sanitarias y sociales en el país.

#### 5.5 Bacterias patógenas transmitidas por el agua

Las enfermedades bacterianas son las infecciones agudas o crónicas más comunes en la población humana. Las especies y cepas patogénicas comúnmente están relacionadas con aquellas que producen eventos agudos, violentos, contagiosos y si no son tratados; potencialmente mortales. Las enfermedades más comunes ocasionadas por bacterias relacionadas al consumo de agua son: cólera, fiebre tifoidea y otras formas de salmonelosis, disentería bacilar o shigelosis, gastroenteritis o diarreas agudas.

#### 5.6 Cólera

Los agentes causales del cólera son las bacterias *Vibrio cholerae* (serotipos O1 y O139). El género *Vibrio* incluye microorganismos unicelulares muy pequeños de forma curva, responden negativamente a la tinción de Gram, poseen un solo flagelo polar, son anaerobios facultativos, y la mayoría de las especies son oxidasa-positivo y reducen el nitrato al nitrito (Cabral, 2010).

El periodo de incubación varía ampliamente entre la población, pudiendo ser unas cuantas horas hasta cinco días. El cuadro puede ser leve, moderado o grave. Su principal síntoma es la diarrea, que puede estar acompañada por cólico intenso, vómito, hipotermia, fiebre, convulsiones, alteración de la conciencia, pulso débil, insuficiencia renal, entre otros (González *et al.*, 2011). La toxina del cólera es una exotoxina que se une al revestimiento de los intestinos y activa a la adenilciclase, lo que causa la salida del agua de las células de la mucosa y con ello se arrastran iones de sodio, potasio, cloro y carbohidratos lo que ocasiona la diarrea masiva (Cabral, 2010).

No se sabe con exactitud la ruta de entrada del cólera a México, se cree que llegó por diferentes puntos del territorio (Tampico y Yucatán), probablemente proveniente de Nueva Orleans, Estados Unidos de América, y se desplazó hasta la Ciudad de México en el año 1833, el cual se conoce como el año del cólera. En esa epidemia se registraron aproximadamente catorce mil muertes. En ese mismo siglo se repitieron varios brotes durante los años de 1850, 1854, 1866 y 1883 (Martínez, 1992; Jiménez-Corona *et al.*, 1995; Tovar y Bustamante, 2000).

### 5.7 Cepas patogénicas de *Escherichia coli*

La bacteria *Escherichia coli*, es comúnmente encontrada en el ambiente y en la microflora de mamíferos, entre ellos el ser humano. Sin embargo, por procesos poco conocidos se han generado y expandido algunas cepas de esta especie que pueden ocasionar enfermedad en las personas. Según Cabral (2010), las cepas de *E. coli* de importancia clínica que pueden ser transmitidas por el agua son: *E. coli* enterotoxigénica (llamada O148), *E. coli* enterohemorrágica (llamada O157:H7) y *E. coli* enteroinvasiva (llamada O124).

### 5.8 Salmonelosis

Las salmonelosis incluyen una amplia gama de padecimientos y tienen en común ser causadas por bacterias del género *Salmonella* spp., de la cual existen más de 2500 serotipos. Pero los comúnmente aislados en México son: Thyphimurium, Enteritidis, Derby, Agona y Anatum (Hernández *et al.*, 2011). En contenedores de agua se ha demostrado que la bacteria puede sobrevivir varias semanas cuando las condiciones de temperatura y pH son favorables (Cabral, 2010).

La patología causada por *Salmonella* spp., incluye la invasión primaria de los intestinos y localizarse causando trastornos gastrointestinales, o expandirse a otros órganos causando bacteriemia y meningitis en lactantes, o albergarse en huesos. Desafortunadamente, en México se desconocen muchos aspectos epidemiológicos de la enfermedad pero se sabe que al año se reportan alrededor de 15,000 casos de fiebre tifoidea (Mussaret *et al.*, 2006).

### 5.9 Shigelosis

La shigelosis es una enfermedad endémica de climas tropicales y templados. En México la especie más frecuentemente aislada es *Shigella flexneri*, pero otras especies como *S. dysenteriae*, *S. boydii* y *S. sonnei* pueden causar patogenicidad. Son bacterias Gram negativas que no presentan motilidad, no fermentan azúcares, son negativas para la oxidasa y positivas para la catalasa. El proceso infeccioso sintomático comienza con dolor abdominal que progresa algunas horas después a diarrea que puede incluir heces con sangre y pus, esto último debido a que las bacterias de *Shigella* sp. causan ulceración en la mucosa del intestino. Este patógeno es responsable del 11% de las enteropatías. La enfermedad es importante ya que en menores de 10 años puede causar el Síndrome Urémico Hemolítico, el cual representa una de las causas más frecuentes de falla renal (Mussaret *et al.*, 2006).

### 5.10 Patógenos bacterianos emergentes que pueden ser transmitidos por el agua

El surgimiento de nuevos patógenos ha sido a la par con la búsqueda de nuevas formas de entretenimiento y selección de alimentos, el surgimiento de una población cada vez más longeva, y una cada vez más común población inmunocomprometida por terapias contra distintos tipos de cánceres, trasplantes de órganos o por ser portadores del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Esta población inmunocomprometida, ecológicamente ha creado un nicho para algunas bacterias que comúnmente se encuentran en el ambiente.

De estos patógenos emergentes destaca el complejo *Mycobacterium avium*, relacionado a desordenes en el tracto respiratorio y digestivo, normalmente estas bacterias se encuentran en cuerpos de agua naturales, tuberías y redes de distribución de agua y es resistente a la cloración del agua para consumo. Otro organismo emergente es *Aeromonas hydrophyla*, un patógeno oportunista que habita aguas naturales comúnmente aislado en la comida y el agua de consumo; esta bacteria se ha señalado como un agente potencial de gastroenteritis, septicemia, meningitis e infecciones en heridas, tanto en poblaciones inmunocomprometidas como en niños sanos. Otra bacteria patógena que puede ser aislada de cuerpos de agua es *Helicobacter pylori*, la cual se ha implicado en la enfermedad ácido péptica, úlceras gástricas y carcinoma gástrico.

### 5.11 Vertido de antibióticos a cuerpos de agua como un origen de la cepas multiresistentes

Las bacterias tienen alrededor de 3600 millones de años habitando este planeta, y los mecanismos evolutivos con los que cuentan son muy variados, lo que ocasiona que rápidamente puedan generar resistencia a los antibióticos.

A diferencia de las eucariotas (células nucleadas presentes desde las plantas hasta los hepatocitos humanos) que usan el sexo, específicamente en el entrecruzamiento cromosómico en la meiosis gametogénica, como principal fuente de variación genética, las bacterias pueden usar otros recursos como las mutaciones puntuales, la recombinación genética y la transferencia horizontal de material genético entre especies e incluso entre géneros bacterianos distintos (Hernández, 2010). Esta amplia variedad de mecanismos evolutivos han permitido a las bacterias generar resistencia a antibióticos y “compartir” estas características entre ellas, a su vez, se ha demostrado que la capacidad infecciosa o virulenta de las bacterias también puede ser adquirida a través de estos mecanismos (Meléndez-Marmolejo *et al.*, 2020).

Para México, Rodríguez-Noriega *et al.* (2014) generan una revisión de los casos reportados de resistencia bacteriana en el periodo de 1973-2013. Inician con 1973 que es el año donde se produce una epidemia de salmonelosis resistente al cloranfenicol, tetraciclina, streptomycin y a las sulfas. Asimismo encuentran reportes de *E. coli* enterotóxica con resistencia a ampicilina, tetraciclina, estreptomycin y kanamicina. Otros organismos de importancia clínica compilados en la revisión de Rodríguez-Noriega *et al.* (2010), son *Klebsiella pneumoniae*, *K. oxytoca*, *Serratia marcescens*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Streptococcus pneumoniae*, *S. pyogenes* y *Staphylococcus aureus*.

Si bien el estudio mostrado por Rodríguez-Noriega *et al.* (2014), arroja resultados principalmente recabados de manera intrahospitalaria, trabajos como el de Tzoc *et al.* (2004) discuten la entrada de antibióticos a las descargas de aguas residuales desde los hospitales, además se ha observado que prácticas veterinarias y agrícolas también contribuyen con grandes cantidades de sustancias antibióticas al ambiente usando al agua como medio de transporte. Otros trabajos que analizan cuerpos de agua como los de López *et al.* (2009) sobre aguas de un río y el de Andersen y Sandaa (1999) sobre sedimentos marinos contaminados, reportan bacterias resistentes a distintos antibióticos, por mencionar algunos reportes

## 5.12 Protozoos transmitidos por el agua.

Dentro de las eucariotas unicelulares que integran un conjunto variado de reinos distintos, destacan por su patogenia los protozoarios. Al igual que las bacterias estos organismos forman parte natural del microbioma en el tracto digestivo. Sin embargo, hay procesos o condiciones que les confieren características patogénicas. Algunos de los protozoarios que podemos encontrar en el intestino como comensales son especies del género *Entamoeba*, *Endolimax* y las *Trichomonas*, mientras que especies como *E. histolytica*, *Iodamoeba buetschlii*, *Dientamoeba fragilis*, *Giardia intestinalis*, *Toxoplasma gondii* y *Balantium coli* se consideran protozoarios patógenos (Solarte, 2006; Efstratiou *et al.*, 2017).

En la actualidad los protozoarios causan más de 2.2 millones de muertes en todo el mundo, siendo los países tropicales los más afectados, y son la segunda causa de muerte entre menores de 5 años (Efstratiou *et al.*, 2017). Asimismo, estos patógenos se encuentra tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo (Efstratiou *et al.*, 2017; Rosado-García *et al.*, 2017). Sin embargo, en países como los latinoamericanos, se desconoce la epidemiología de muchas de estas enfermedades (Rosado-García *et al.*, 2017)

## 5.13 *Giardia* sp

La especie patogénica *Giardia duodenalis* (también llamadas *G. intestinalis* o *G. lamblia*), es un protozoo parásito unicelular no invasivo que infecta la parte superior del tracto intestinal de humanos y algunos animales (Cacciò *et al.*, 2017). El patógeno puede llegar a los cuerpos de agua a través de la deposición de heces fecales humanas o de animales. Este microorganismo causa la enfermedad llamada giardiasis, y se manifiesta de manera sintomática en forma de diarrea, cólicos, dolor de cabeza, deshidratación y pérdida de masa corporal, aunque muchas veces es asintomática o el cuadro diarreico se resuelve solo (Koehler *et al.*, 2013). Sin embargo, los niños, los ancianos y las personas inmunocomprometidas son las más afectadas y necesitan seguimiento médico más cercano (Einarsson *et al.*, 2016; Cacciò *et al.*, 2017).

### 5.14 *Entamoeba* y otras amibas

La amibiasis es una enfermedad infecciosa ocasionada por la invasión de la mucosa del intestino grueso por amibas de las especies *Entamoeba histolytica*, *E. dispar*, *E. hartmanni*, *E. coli*, *E. moshkovskii*, *E. polecki*, *Endolimax nana* y *Dientamoeba fragilis* (Shimokawa *et al.*, 2012). Siendo *E. histolytica* la reportada como patogénica en México (Caballero-Salcedo *et al.*, 1994; Ximénez *et al.*, 2007). No todas las cepas de *E. histolytica* tienen la capacidad genética para poder producir enfermedad y habitan el intestino de manera comensalista. Sin embargo, las cepas invasoras pueden dañar el tejido y desplazarse a distintas partes del hospedero, como el cerebro, hígado y pulmones. Recientemente se ha reportado que otra especie, *E. moshkovskii* puede causar patogenia en niños, desafortunadamente para México se desconoce la prevalencia o existencia de esta especie en la población (Shimokawa *et al.*, 2012). Afortunadamente, en ambos casos estos padecimientos son prevenibles y tratables.

La ameba *E. histolytica* tiene una distribución mundial, y se adquiere a través de alimentos o bebidas contaminadas con quistes de la ameba. Los focos rojos de infección están distribuidos hacia regiones en vías de desarrollo como Latinoamérica, Asia y África (Shimokawa *et al.*, 2012). En estas regiones existe una marcada sectorización de la infección en la población con relación a características sociodemográficas y accesibilidad a servicios sanitarios, como agua potable y pavimentación (Ximénez *et al.*, 2007).

### 5.15 *Toxoplasma gondii*

Este protozooario es un microorganismo unicelular, obligado a vivir dentro de distintos tipos de células del ser humano y otros animales, causando toxoplasmosis. La forma de infectarse de *T. gondii* es mediante la ingestión de células de resistencia (oocistos) en comida o bebidas contaminadas con heces (Dubey y Jones, 2008). Aunque las formas de transmisión del parásito no solo se restringe a esta, pues incluso la transmisión puede darse de la madre al hijo durante la gestación (Dubey, 2009). Cuando una persona con un sistema inmunológico no comprometido se infecta generalmente no presenta síntomas pero, si los hay, se manifiestan algunos similares a la mononucleosis o una infección en la retina (Kochanowsky y Koshy, 2018). En personas inmunocomprometidas, este microorganismo puede atravesar la barrera hematoencefálica y provocar desordenes neurológicos al infectar tanto neuronas como células gliales (Kochanowsky y Koshy, 2018; Liu *et al.*, 2017). Actualmente, *T. gondii*, está cobrando importancia ya que se ha postulado desde algunos estudios que este parásito tiene relación con el desarrollo de esquizofrenia y otras enfermedades neurológicas, aunque los resultados aun no son concluyentes (Essihli *et al.*, 2016; Kochanowsky y Koshy, 2018).

### 5.16 *Cryptosporidium* sp.

El estudio de este microorganismo tuvo gran auge a principios de la década de 1970 como clínicamente relevante, pues dentro de las personas afectadas destacaban niños y personas infectadas con el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Desafortunadamente, la criptosporidiosis ha reemergido como un patógeno oportunista de vida libre y afecta principalmente a niños en países en vías de desarrollo, principalmente africanos y latinoamericanos (Clode *et al.*, 2015; Mmbaga y Houpt, 2017). Del género se han descrito aproximadamente 40 genotipos, pero en humanos, *C. hominis* y *C. parvum*, son las especies que causan el 90% de los casos que se registran (Certad *et al.*, 2017). La vía de transmisión del patógeno es fecal-oral, más que la vía zoonótica o persona-persona. Aquí el agua funge como un transporte efectivo para huevos o oocistos (células de resistencia) del patógeno, además de que se ha observado que puede formar biopelículas en superficies húmedas o sumergidas, las cuales son un reservorio del patógeno (Thompson *et al.*, 2016).

Las manifestaciones clínicas de la infección por *Cryptosporidium* sp. ocurren pocos días después de que el hongo entra al tracto digestivo, aproximadamente de 2-14 días, produciendo diarrea acuosa, dolor abdominal, náuseas, vómito, pérdida de talla y fiebre de bajo grado. Sin embargo, este panorama puede complicarse en personas inmunológicamente comprometidas o en niños desnutridos. En este tipo de pacientes la infección puede colonizar más allá del tracto digestivo y afectar al hígado y al páncreas, complicando el pronóstico y cuando la diarrea es severa el pronóstico se asocia a una mortalidad significativa (Certad *et al.*, 2017).

### 5.17 Enfermedades no infecciosas relacionadas al agua

Otros agentes disueltos en el agua que representan una amenaza para la salud son ciertos iones metálicos y compuestos químicos naturales o sintéticos, que pueden causar desequilibrios nerviosos, hormonales, renales, y diversos tipos de cáncer, que pueden llevar a la incapacidad, malformaciones embrionarias e incluso la muerte. Algunos de estos metales son el arsénico, cadmio, plomo y mercurio. Se sabe que la exposición a estas sustancias puede tener una causa natural como cuando se erosionan suelos ricos en metales pesados y el agua de la lluvia los arrastra. Sin embargo, las actividades industriales, mineras y petroleras pueden verter entre sus desechos estos metales al ambiente. La forma en que llegan estos metales a las personas es por el riego de vegetales con aguas contaminadas y posteriormente estos son consumidos, también por bioacumulación y movilidad en el ambiente estos metales pueden encontrarse en peces, carnes y leche (Reyes *et al.*, 2016).

El arsénico está considerada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como un carcinogénico, encontrándose en disuelto en el agua o depositado en suelos. La exposición continua a arsénico ha sido ligada a desequilibrios cardiovasculares, diabetes, cáncer de pulmón, anemia, neuropatía periférica, irritación de la piel y las mucosas y daño en el hígado y riñones (Lyn, 2003).

Se considera al cadmio como una de las sustancias más tóxicas encontradas en el ambiente, a este llega de manera natural o artificial, producto de fertilizantes o de un deficiente proceso de tratamiento de las aguas residuales (Waalkes, 2003). Cuando el cadmio es absorbido por una persona primero se une a los eritrocitos o a la albumina plasmática y posteriormente se acumula en huesos, hígado, páncreas, riñones y la placenta, causando desórdenes en la función de los órganos y teratogénesis en el feto (Lyn, 2003; Liu, 2009).

### 5.18 Contaminantes emergentes en el agua.

Conforme cambian las rutinas, los hábitos, las tendencias de consumo y alimentación y las propias tecnologías que hacen posible tales actividades, nuevas sustancias de origen sintético o natural son introducidas al ambiente (Daughton, 2004). Los contaminantes emergentes por definición son un conjunto de sustancias no reguladas que se encuentran en el ambiente en cantidades extremadamente bajas, además de que se requieren análisis especiales para evidenciar su existencia. A su vez, se sabe que la principal puerta de entrada al ambiente de estas sustancias es por vías como aguas residuales domésticas, industriales o infiltración de actividades agrícolas (Gil *et al.*, 2012).

Desafortunadamente muchas de estas sustancias tienen consecuencias catastróficas en los sistemas biológicos, pueden bioacumularse, tener efectos miméticos con sustancias naturalmente presentes como algunas hormonas y provocar un efecto de disruptor endócrino en órganos blancos, además se ha demostrado que algunas de estas puede influir en la aparición de distintos tipos de cánceres. También, en ocasiones, el proceso de degradación de estas sustancias crea metabolitos más tóxicos que en original (Becerril, 2009).

Muchas de estas sustancias no se encuentran reguladas en la mayoría de los países, y se liberan al medio indiscriminadamente, sin conocer los posibles efectos que estos tendrán sobre la salud. Algunos de estos llamados contaminantes emergentes provienen como productos de la potabilización de agua, pesticidas usados en la agricultura, surfactantes, drogas ilícitas, los lodos de las plantas de tratamiento del agua, fármacos, incineración o degradación en el tiempo de residuos sólidos, productos de uso personal, y en general sustancias usadas en procesos industriales (Becerril, 2009; Gil *et al.*, 2012; Jiménez, 2011).

### 5.19 Normatividad mexicana sobre el agua para consumo

Un factor importante para la salud de la población es la provisión de agua potable y de saneamiento pues evita su exposición a los agentes patógenos. El adecuado y oportuno acceso a estos servicios reduce la mortalidad y morbilidad entre la población, en especial la menor de cinco años, disminuye las enfermedades de transmisión hídrica (hepatitis viral, fiebre tifoidea, cólera, disentería y otras causantes de diarrea) y los trastornos resultantes del consumo de componentes químicos patógenos (arsénico, nitratos o flúor).

Dentro del marco jurídico vigente hay varios ordenamientos con disposiciones en materia de agua. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), en su artículo 4, párrafo quinto, habla de que: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar...”, el agua es un recurso natural que forma parte de nuestro ambiente, por lo que ahí, indirectamente, se estatuye el derecho al agua. El artículo 115 especifica que los municipios tienen a su cargo los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

El agua es un tema transversal que abarca diferentes esferas tales como medio ambiente, salud, saneamiento, entre otras; y así se refleja en la normatividad mexicana. Existen diversas normas aplicables al tema del agua algunas de las normas más relevantes se pueden aglomerar por grupos: SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), salud, energía y normas mexicanas. Se debe enfatizar que, conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son regulaciones técnicas de observancia obligatoria, en tanto que las Normas Mexicanas (NMX) son de aplicación voluntaria. Se hará referencia a aquellas cuya observancia está directamente vinculada con lo descrito es este capítulo.

Dentro del grupo SEMARNAT destacan la NOM-001-SEMARNAT-1996 que estableció fechas de cumplimiento para sus requerimientos de límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

CONAGUA es el organismo administrativo desconcentrado de la SEMARNAT, creado para administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general. Ha expedido normas que establecen las disposiciones, especificaciones y métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios asociados al sector hídrico cumplan de manera eficiente, preservando el agua en cantidad y calidad. Existen un total de 10 normas vigentes en materia del cuidado, transporte y tratamiento del agua, casi una norma por cada proceso.

La NOM-001-CONAGUA-2011 establece todos los parámetros para que llegue el agua a los hogares, de las tomas domiciliarias, las especificaciones de los tubos por donde llega, así como de las alcantarillas por donde se desecha; asegura el cumplimiento de los estándares de hermeticidad y durabilidad de los productos empleados para estos procesos. Los requisitos para la construcción de pozos de extracción y cuidado de acuífero se acotan, en las NOM-003-CONAGUA-1996 y NOM-004-CONAGUA-1996. Las especificaciones y métodos de prueba para fosas sépticas prefabricadas las dicta la NOM-006-CONAGUA-1997. De hecho a todas las piezas de las tazas de baño se les aplica la normatividad: NOM-009-CONAGUA-2001 específicamente para inodoros; NOM-010-CONAGUA-2000 para las válvulas de los tanques de los inodoros y la NOM-008- CONAGUA-1998, enfocada en las regaderas para aseo corporal.

La NOM-011-CONAGUA-2000 es una norma a destacar, ya que en ella se fundamenta el cálculo de la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos. Por último existen las: NOM-014-CONAGUA-2003 y NOM-015-CONAGUA-2007 orientadas a la infiltración artificial de agua a los acuíferos.

En el título sobre promoción de la salud, la Ley General de Salud de 1984, faculta a la Secretaría de Salud (SSA) para determinar los valores de la concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, emitir las normas técnicas a que deberá sujetarse el tratamiento de agua para uso y consumo humano, y establecer los criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, además incluye las sanciones a quien contamine cualquier cuerpo de agua, con el fin de evitar riesgos y daños a la salud pública. Y establece que la SSA es la responsable de fijar los requisitos sanitarios para el consumo humano; para ello las NOM definen los parámetros, que incluyen características físicas (profundidad, temperatura), biológicas (bacterias y parásitos) y químicas; de tipo orgánico, inorgánico (sales, metales, plaguicidas) y en trihalometanos (compuestos que se forman de la reacción de la materia orgánica con derivados halogenados).

Son siete normas dentro de las cuales sobresalen tres: NOM-179-SSAI-1998 (calidad del agua para consumo humano en sistemas de abastecimiento público), para la vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida mediante sistemas de abastecimiento público; y la NOM-230-SSAI-2002 (requisitos sanitarios de los sistemas de abastecimiento y procedimientos sanitarios para el muestreo químico, físico y microbiológico e incluso radioactivo), que contiene los requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, así como los procedimientos sanitarios para el muestreo de sitios donde se monitorea la cloración. Por su parte, la NOM-127-SSA1-1994 establece los lineamientos para garantizar el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada. Esta norma establece límites permisibles de características bacteriológicas (coliformes fecales y coliformes totales); de características físicas y organolépticas (color, olor, sabor y turbiedad); de características químicas (comprende 34 parámetros, tales como aluminio, arsénico, bario, entre otros), así como los métodos de tratamiento que se deben aplicar según los contaminantes encontrados. En nuestro país, los prestadores del servicio de agua potable, generalmente los municipios, llevan a cabo la desinfección del agua mediante cloración, condición necesaria para destruir o inactivar agentes patógenos o parásitos microscópicos, conforme a esta norma. El procedimiento de desinfección del agua se evalúa por la determinación de cloro libre residual en la toma domiciliaria.

De acuerdo con fuentes oficiales en México, los problemas de calidad de agua son fuertes y tienen un grande rezago en su atención, comparados con los relativos a la cantidad y a la provisión de servicios a la población, por ello, el monitoreo de la calidad del agua es un proceso que debe ser eficaz, regulado y actualizado (Carabias, 2005). En este sentido, interesa destacar la importancia de los acuíferos (aguas subterráneas), pues en México aportan cerca de 58.6 % del uso agrupado abastecimiento público (Conagua, 2016). Su potabilidad se establece legalmente cuando un acuífero cumple con los parámetros estipulados en la norma NOM-127-SSA1-1994. Los estudios sobre su calidad, al igual que los programas de protección son pocos, particularmente los relacionados con su calidad fisicoquímica, se le da seguimiento adecuado a ciertos factores contaminantes como indicadores de contaminación (demanda química y bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos). Se considera que el problema de la contaminación de acuíferos es preocupante en el país, con estimaciones superiores a 90 por ciento y más de los cuerpos de agua (Jiménez, 2008; Aboites et al. 2008). la calidad del agua subterránea se deteriora por sobreexplotación, y en las últimas décadas el número de acuíferos sobreexplotados se triplicó; de 32, en 1975, a 105, en 2015 (Aboites et al. 2008, Conagua, 2016).

En cuanto a su calidad bacteriológica, aunque han aumentado las localidades que realizan la desinfección del agua por cloración y el número de plantas potabilizadoras en el país (874 en 2015 de acuerdo a Conagua, 2016), permanecen diferencias notables entre la eficiencia de cloración y su monitoreo, sobre todo cuando se compara su desempeño entre entidades federativas, y entre las localidades de los estados.

Si se usa el agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable, entre las sustancias tóxicas que puede contener, una de las más preocupantes es el arsénico. La concentración máxima de arsénico en el agua potable establecida por la normatividad mexicana es de 0.05 mg/l (NOM-127-SSA1-1994) cantidad que se fija tomando en cuenta las propiedades cancerígenas, tóxicas y organolépticas del elemento, así como los efectos que pueda causar a los organismos presentes en los cuerpos de agua. Sin embargo, en los últimos años, debido al conocimiento de los efectos en la salud por ingerir agua con altos contenidos de arsénico, la OMS recomendó en una concentración máxima permisible de 0.01 mg/l. Esta recomendación se basa en estudios epidemiológicos realizados en diferentes países (China, Taiwan, India, Japón, Chile y Argentina) en los cuales se encontró relación entre el cáncer de piel y la cantidad de arsénico y el agua de beber. En Estados Unidos, actualmente el límite máximo para arsénico es de 0.05 mg/l, pero se ha iniciado una seria revisión de los límites máximos permisibles, con la finalidad de evaluar la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (Alarcón *et al.* 2015).

## 5.20 Cambio climático, salud y agua

Aunque algunos gobiernos aun lo niegan, entre la comunidad científica es ampliamente aceptado que la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmosfera ha desequilibrado el clima global y las temperaturas están en aumento.

La organización mundial de la salud señala que producto de cambio climático aproximadamente 150,000 personas mueren anualmente en el mundo, derivado de desnutrición, infecciones, enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Patz *et al.*, 2005; Barrett *et al.*, 2015).

Se ha documentado que cambios en la temperatura y temporadas de lluvia pueden afectar la distribución de vectores como aquellos de la malaria y el dengue, y también aumentar la incidencia de enfermedades diarreicas (Haines *et al.*, 2006; Patz y Holson, 2006; Shuman, 2010). De la misma manera, para aquellos lugares donde el cambio climático ha traído consigo disminución en la lluvia como en la amazona y en Centroamérica patógenos como la malaria probablemente disminuyan su transmisión (Haines *et al.*, 2006). En el caso del dengue cuyo vector *Aedes aegypti* se cree que puede expandirse hasta áreas más templadas y provocar brotes del virus entre la población (Hales *et al.*, 2002). Es decir, la alta concentración de patógenos hacia los trópicos se debe a su vez a la presencia múltiples vectores, así si las temperaturas cambian estos vectores pueden migrar hacia otras zonas, incluso a miles de kilómetros de sus centros de origen (Lafferty, 2009). Otro efecto que trae consigo el cambio climático es la intensificación de las tormentas, y producto de ello se ha observado que en algunos casos, han producido la movilización de químicos peligrosos como los pesticidas y metales pesados a los cuerpos de agua (Haines *et al.*, 2006).

El Niño es uno de los fenómenos climáticos que más se han intensificado con el cambio climático. Y es durante las últimas décadas que los periodos del fenómeno donde la temperatura aumenta drásticamente se han dado las condiciones para que patógenos que se transmiten por agua, como el hantavirus o la bacteria causante del cólera, proliferen (Patz *et al.*, 2005; Shuman 2010). Otros patógenos que se cree han proliferado junto con el cambio climático son *Mycobacterium avium*, *Helicobacter pylori* y *Aeromonas hydrophyla* (O'Dwyer *et al.*, 2016).

## 5.21 Referencias

- Aboites, L., E. Cifuentes, B. Jiménez y M. L. Torregrosa. (2008). Agenda del agua. Pendientes nacionales del agua. México: Academia Mexicana de Ciencias. [http://cisnex.amc.edu.mx/amc/agenda\\_del\\_agua.pdf](http://cisnex.amc.edu.mx/amc/agenda_del_agua.pdf) (13 de marzo de 2009).
- Alarcón Herrera, M. T. , Montenegro, I. F., Navar, P. R., Domínguez, I. R. M., & Vázquez, R. T. (2015). Contenido de arsénico en el agua potable del valle del Guadiana, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 16(4), 63-70.
- Andersen, Sigrid y Sandaa, Ruth (1999). "Distribution of tetracycline resistance determinants among Gram-negative bacteria isolated from polluted and unpolluted marine sediments". *Applied and environmental microbiology*, 60(3), 908-913.
- Andrades, Patricio, Sepúlveda, Sergio y González, Josefina (2004). "Curación avanzada de heridas". *Revista Chilena de Cirugía*, 56(4), 396-403.
- Arreguín-Moreno, Rocío Haydee, Román-Pérez, Rosario, Laborin-Álvarez, Jesús Fancisco, Moreno, José Luis, Valdez, Elba Abril y Valenzuela, Blanca (2009). "Factores psicosociales relacionados con el consumo doméstico de agua en una región remidesértica". *Salud Pública de México*, 51(4), 321-326.
- Barrett, Bruce, Charles, Joel y Temte, Jonathan (2015). "Climate change , human health, and epidemiological transition". *Preventive Medicine*, 70, 69-75.
- Becerril, J.E. y Jiménez, B. (2007). "Potable water and sanitation in Tenochtitlan: Aztec culture". *Water Science & Technology: Water Supply*, 7(1), 147-154.
- Becerril, José (2009). "Contaminantes Emergentes en el Agua". *Revista Digital Universitaria*, 10(8), 2-7.
- Bruguera, Miguel (2006). "Prevención de las hepatitis virales". *Revista de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 24(10), 649-656.
- Caballero-Salcedo, A., Viveros-Rogel, M., Salvatierra, B., Tapia-Conyer, R., Sepúlveda-Amor, J. y

- Gutiérrez, G. (1994). "Seroepidemiology of amebiasis in México". *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 50, 412-419.
- Cabral, Joao (2010). "Water Microbiology.Bacterial Pathogens and Water". *International Journal of Enviromental Research and Public Health*, 7, 3657-3703.
- Caccio, Simone, Lalle, Marco y Svärd, Staffan (2017). "Host specificity in the *Giardia guodenalis* species complex". *Infection, Genetics and Evolution*.
- Carabias, J. 2005. Agua, medio ambiente y sociedad. México: El Colegio de México (colmex), Fundación Gonzalo Río Arronte, unam
- Carriedo, Angela, Bonvecchio, Anabelle, López, Nancy, Morales, Maricruz, Mena, Carmen, Théodore, Florence y Irizarry, Laura. (2013). "Uso del mercadeo social para aumentar el consumo de agua en escolares de la Ciudad de México". *Salud Pública de México*, 55(3), 388-396.
- Certad, Gabriela, Viscogliosi, Eric, Chabé y Caccio, Simone (2017). "Pathogenic mechanisms of *Cryptosporidium* and *Giardia*". *Trends in Parasitology*, 33(7), 561-576.
- Clode, Peta, Koh, Wan y Thompson, Andrew (2015). "Life without a Host Cell: What is *Cryptosporidium*". *Trends in Parasitology*, 31(12), 614-624.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016). Estadísticas del agua en México, edición 2016. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. México
- Daughton, Christian (2004). Non-Regulated water contaminants: emerging research. *Enviromental Impact Assessment Review*, 24, 711-732.
- Dubey, J.P. (2009). "History of the discovery of the life cycle of *Toxoplasma gondii*". *International Journal for Parasitology*, 39, 877-882.
- Dubey, J.P. y Jones, J.L. (2008). "*Toxoplasma gondii* infection in humans and animals in the United States". *International Journal for Parasitology*, 38, 1257-1278.
- Efstratiou, Artemis, Ongerth, Jerry y Karanis, Panagiotis (2017). "Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks- An update 2011-2016". *Water Research*, 114, 14-22.
- Einarsson, Elin, Ma'ayeh, Showgy y Svärd, Staffan (2016). "An up-date on *Giardia* and giardiasis". *Current Opinion in Microbiology*, 34, 47-52
- Elder, John P., Holub, Christina K., Arredondo, Elva M., Sánchez-Romero, Luz María, Moreno-Saracho, Jessica E., Barquera, Simón y Rivera, Juan (2014). "Promotion of wáter cosumption in elementary school children in San Diego, USA and Tlaltizapan, Mexico". *Salud Pública de México*, 56(2), 148-156.
- Espinosa-Montero, Juan.; Aguilar-Tamayo, Manuel Francisco; Monterrubio-Flores, Eric Alejandro y Barquera-Cervera, Simón (2013). "Conocimiento sobre el consumo de agua simple en adultos de nivel socioeconómico bajo de la ciudad de Cuernavaca, México". *Salud Pública de México*, 55(3), 423-430.
- Esshili, Awatef, Tabet, Sihem, Jemli, Achraf, Trifa, Fatma, Mechri, Anouar, Zaafrane, Ferid, Gaha, Lotfi, Juckel, Georg, Babba, Hamouda y Hadj, Besma (2016). "*Toxoplasma gondii* infection in schizophrenia and associated clinical features". *Psychiatry Research*, 245, 327-332.
- Gil, Miriam, Soto, Adriana, Usma, Jorge y Gutiérrez, Omar (2012). "Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos". *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73.
- González, Laura, Casanova, María, Pérez, Joaquín (2011). "Cólera: historia y actualidad". *Revista de Ciencias Médicas*, 15(4), 280-294.

- Haines, A., Kovats, R.S, Campbell, D. y Corvalan, C. (2006). "Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health". *Public health*, 120, 585-596.
- Hales, Simon, de Wet, Neil, Maindonald, John y Woodward, Alistair (2002). "Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model". *Lancet*, 360, 830-834.
- Haro, J. A., Nubes, G., y Calderón Ortiz, J. R. (2012). Riesgos sanitarios en calidad bacteriológica del agua: Una evaluación en diez estados de la república mexicana. *Región y sociedad*, 24(SPE3), 257-288.
- Jiménez, B., Mazari, M., Domínguez, R., y Cifuentes, E. (2004). El agua en el Valle de México. El agua en México vista desde la academia. Science Academy, Mexico.
- Jiménez, Claudio (2011). "Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: Productos farmacéuticos". *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 143-153.
- Jiménez-Corona, Aída, Gutiérrez-Cogio, Lucina, López-Moreno, Sergio y Tapia-Conyer, Roberto (1995). "El Cólera en México. Situación epidemiológica actual". *Gaceta Médica Mexicana*, 131(3), 363-366
- Kochanowsky, Joshua y Koshy, Anita (2018). "Toxoplasma Gondii". *Current Biology*, 28, 770-771.
- Koehler, Anson, Jex, Aaron, Haydon, Shane, Stevens, Melita, Gasser, Robin (2014). "Giardia/Giardiasis- A perspective on diagnostic and analytical tools". *Biotechnology advances*, 32, 280-289.
- Lafferty, Kevin (2009). "The ecology of climate change and infectious diseases". *Ecology*, 90(4), 888-900
- Lauria, Jim (2008). "Water filtration:Using water treatment to tackle the environmental footprint issue". *Filtration & Separation*, 45(10), 20-23
- Leclerc, H., Schawartzbrod, L. y Dei-Cas, E. (2002). "Microbial Agents Associated with Waterborne Diseases". *Critical Reviews in Microbiology*, 28(4), 371-409.
- Liu, Jie, Qu, Wei, Kadiiska, Maria (2009). "Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis". *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238, 209-214.
- Liu, Lei, Liu, Li-Na, Wans, Peng, Lv, Tian-Tian, Fan, Yin-Guang y Pan, Hai-Feng (2017). "Elevated seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in AIDS/HIV patients: A meta-analysis". *Acta Tropica*, 176, 162-167.
- Llorente Nostl, Natalia y Casas Osorio, Sara (2007). *Agua y Salud*. España: Ideasmares.
- López, Osvaldo, León, Josefina, Jiménez, Maribel y Chaidez, Cristobal (2009). "Detección y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Salmonella* en agua y suelo agrícola". *Revista de Fitotécnica Mexicana*, 32(2), 119-126.
- Lynn, Patrick (2003). "Toxic Metals and Antioxidants: Part II. Role of Antioxidants in Arsenic and Cadmium Toxicity". *Alternative Medicine Review*, 8(2), 106-128.
- Meléndez-Marmolejo, J., García-Saavedra, Y., Galván-Romero, V., de León-Martínez, L. D., Vargas-Berrones, K., Mejía-Saavedra, J., & Ramírez, R. F. (2020). "Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina". *Revista de Salud Ambiental*, 20(1), 53-61.
- Martinez, Bernardo (1992). "El cólera en México durante el siglo XIX". *CIENCIAS*, 25, 37-40.
- Mays, Larry (2013). "A brief history of water filtration/sedimentation". *Water Science & Technology: Water Supply*, 13(3), 735-742.

- Mmbaga, Blandina y Houpt, Eric (2017). “*Cryptosporidium* and *Giardia* infections in Children: A Review”. *Pediatric Clinics of North America*, 64(4), 837-850.
- Mussaret, Zaidi, López, Constantino y Calva, Edmundo (2006). “Estudios mexicanos sobre *Salmonella*: epidemiología, vacunas y biología molecular”. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 121-125.
- O’Dwyer, Jean, Dowling, Aideen y Adley, Catherine (2016). “The impact of Climate Change on the Incidence of Infectious Waterborne Disease”. En: Eslamian, Saeid (Ed.). *The Urban Water Reuse Handbook*, Estados Unidos de America: CRC Press, 1017-1026
- Patz, Jonathan y Olson, Sarah (2006). “Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(15), 5635-5636.
- Patz, Jonathan, Campbell, Diarmid, Holloway, Tracey y Foley, Jonathan (2005). “Impact of regional climate change on human health”. *Nature Reviews*, 438, 310-317.
- Preethi, V. B., Sheeba, Ganesan; Pazhni, G.P; Ramamurthy, T.; Nair, G.B y Ventakatasubramanian, Padma (2012). “Storing Drinking-water in Copper pots kills Contaminating Diarrhoeogenic Bacteria”. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 30(1), 17-21.
- Reyes, Yulieth, Vergara, Inés, Torres, Omar, Díaz, Mercedes y González, Edgar (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud ambiente y seguridad alimentaria. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rezende, Guilherme, Roque-Afonso, Anne Marie, Samuel, Didier, Gigou, Michele, Nicand, Elisabeth, Ferre, Virginie, Dussaix, Elisabeth, Bismuth, Henri y Féray, Cyrille (2003). Viral and Clinical Factors Associated With the Fulminant Course of Hepatitis A Infection. *HEPATOLOGY*, 38(3), 613-618
- Rivera, Juan A., Muñoz-Hernández, Onofre, Rosas-Peralta, Martín, Aguilar-Salinas, Carlos A., Popkin, Barry M., Willett, Walter C. (2008). “Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana”. *Salud Pública de México*, 50(2), 173-195.
- Rodríguez-Noriega, Eduardo, León-Garnica, Gerardo, Petersen-Morfín, Santiago, Pérez-Gómez, Hector, González-Díaz, Esteban y Morfín-Otero, Rayo (2014). “La evolución de la resistencia bacteriana en México, 1973-2013”. *Revista Biomédica*, 34(1), 181-190.
- Rosado-Garcia, Félix, Guerro-Flórez, Milena, Karanis, Gabriele, Hinojosa, Maria y Karanis, Panagiotis (2017). “Water-borne protozoa parasites: The Latin America perspective”. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220, 783-798.
- Scarborough, Vernon L. y Gallopin, Gary G. (1991). A water Storage Adaptation in the Maya Lowlands. *Science*, 251, 658-662.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2016) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Semarnat. México.
- Shimokawa, Chikako, Kabir, Mamun, Taniuchi, Mami, Mondal, Dinesh, Kobayashi, Seiki, Ali, Karim, Sobuz, Shihab (2012). “*Entamoeba moshkovskii* Is Associated With Diarrhea in Infants and Causes Diarrhea and Colitis in Mice”. *The Journal of Infectious Diseases*, 206, 744-751
- Shuman, Emily (2010). “Global climate Change and Infectious Diseases”. *The New England Journal of Medicine*, 362(12), 1061-1063.
- Solarte, Yezid, Peña, Miguel y Madera, Carlos (2006). “Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano”. *Colombia Médica*, 37(1), 74-82.

- Tanno, Hugo y Fay, Oscar (2005). "Hepatitis Viral en América Latina". *Acta Gastroenterológica Latinoamericana*, 35(3), 169-182.
- Thompson, Andrew, Koh, Wan y Clode, Peta (2016). "Cryptosporidium- What is it?". *Food and Waterborne Parasitology*, 2, 54-61.
- Tovar, Victor y Bustamante, Patricia (2000). "Historia del cólera en el mundo y México". *Ciencia Ergo Sum*, 7(2), 178-184.
- Tzoc, Eduardo, Arias, María y Valiente, Carmen (2004). "Efecto de las aguas residuales hospitalarias obre los patrones de resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Aeromonas* sp.". *Revista Biomédica*, 15, 165-172.
- Valdespino, José Luis, Ruiz-Gómez, Juan, Olaíz-Fernández, Gustavo, Arias-Toledo, Eloisa, Conde-González, Carlos J., Palma, Oswaldo y Sepúlveda, Jaime (2007). "Seroepidemiología de la hepatitis A en México. Sensor de inequidad social e indicador de políticas de vacunación". *Salud Pública de México*, 40(2), 377-385.
- Waalkes, Michael (2003). "Cadmium Carcinogenesis". *Mutation research*, 533, 107-120.
- Ximénez, Cecilia, Morán, Patricia, Ramos, Fernando, Ramiro, Manuel (2007). "Amibiasis intetinal: estado actual de conocimiento". *Medicina Interna de México*, 23(5), 398-407

## Capítulo 6 Caracterización de metabolitos secundarios de *Pouteria campechiana* (H.B.K. 1942)

### Chapter 6 Characterization of secondary metabolites of *Pouteria campechiana* (H.B.K. 1942)

VALENCIA-GUTIERREZ, Marvel del Carmen\*†, GARCÍA-RAMÍREZ, María de Jesús, LÓPEZ-MENDEZ, Magnolia del Rosario y DUARTE-UBALDO, Ivonne Esmeralda

*Facultad de Químico Biológicas - Universidad Autónoma de Campeche, 2 escuela Superior de Ciencias Agropecuarias – Universidad Autónoma de Campeche y 3 facultad de Humanidades – Universidad Autónoma de Campeche*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Marvel del Carmen, Valencia-Gutierrez* / **ORC ID:** 0000000236710296

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *María de Jesús, García-Ramírez* / **ORC ID:** 0000000227078081

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Magnolia del Rosario, López-Mendez* / **ORC ID:** 000000027919894X

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Ivonne Esmeralda, Duarte-Ubaldo* / **ORC ID:** 0000000196831594

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.77.85

M. Valencia, M. García, M. López e I. Duarte

mjgarcia@uacam.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

Este árbol se presume originario de México, algunas referencias lo ubican en el sureste de México, a través de Centroamérica hasta Panamá y en el Sur de América, Colombia, Perú y Brasil, ya que crece en bosques húmedos. *Pouteria*, forma latinizada de un nombre nativo y *Campechiana*, alude a la Ciudad de Campeche. La finalidad de esta investigación fue evaluar los metabolitos secundarios de la hoja de Kanisté. Se realizó un estudio descriptivo de los metabolitos secundarios que contiene la hoja, esta se recolectó en el poblado de Hool, Champotón, Campeche. Las técnicas para la realización del tamizaje fitoquímico, fueron desarrolladas con base a los trabajos realizados por Ministerio de Salud Pública MINSAP. Se obtuvieron de la hoja en extracto acuoso a temperatura ambiente los siguientes metabolitos positivos: taninos, flavonoides, aceites esenciales, aminoácidos y antocianidinas. En extracto acuoso caliente los metabolitos positivos fueron: taninos, flavonoides, lactonas, aceites esenciales y antocianidinas. En extracto etanólico a temperatura ambiente los metabolitos positivos fueron: flavonoides, lactonas y aceites esenciales. En extracto etanólico caliente los metabolitos positivos fueron: flavonoides, lactonas, alcaloides y aceites esenciales. Los metabolitos presentes en los cuatro extractos de forma predominante fueron: flavonoides y aceites esenciales. Los metabolitos positivos en los diferentes extractos fueron: taninos, flavonoides, lactonas, alcaloides, aceites esenciales, aminoácidos, y antocianidinas. La diversidad de metabolitos encontrados en esta investigación indica que la hoja, puede tener efectos farmacológicos con efectividad como: astringente, antiinflamatorio, antioxidante, antibiótico, entre otros. Es recomendable que se debe extremar las precauciones cuando se utilicen terapéuticamente como remedio herbolario, así como aumentar los estudios que avalen la seguridad y eficacia de los mecanismos de acción farmacológica de la hoja de Kanisté.

## Tamizaje, Metabolitos Secundarios, Kanisté

### Abstract

This tree is presumed to be native to Mexico, some references place it in southeastern Mexico, through Central America to Panama and in South America, Colombia, Peru and Brazil, since it grows in humid forests. *Pouteria*, Latinized form of a native name and *Campechiana*, alludes to the City of Campeche. The purpose of this investigation was to evaluate the secondary metabolites of the Kanisté leaf. A descriptive study of the secondary metabolites contained in the leaf was carried out, this was collected in the town of Hool, Champotón, Campeche. The techniques for carrying out phytochemical screening were developed based on the work carried out by the Ministry of Public Health, MINSAP. The following positive metabolites were obtained from the leaf in aqueous extract at room temperature: tannins, flavonoides, essential oils, amino acids and anthocyanidins. In hot aqueous extract the positive metabolites were: tannins, flavonoids, lactones, essential oils and anthocyanidins. In ethanolic extract at room temperature the positive metabolites were: flavonoids, lactones and essential oils. In hot ethanolic extract the positive metabolites were: flavonoids, lactones, alkaloids and essential oils. The metabolites present in the four extracts predominantly were: flavonoids and essential oils. The positive metabolites in the different extracts were: tannins, flavonoides, lactones, alkaloids, essential oils, amino acids, and anthocyanidins. The diversity of metabolites found in this research indicates that the leaf can have effective pharmacological effects such as: astringent, anti-inflammatory, antioxidant, antibiotic, among others. It is recommended that precautions should be taken when they are used therapeutically as an herbal remedy, as well as increasing studies that support the safety and efficacy of the pharmacological mechanisms of action of Kanisté leaf.

## Screening, Secondary Metabolites, Kanisté

### 6. Introducción

El Kanisté, *Pouteria campechiana*, es una sapotácea, árbol perennifolio. Su nombre binomial deriva de la ciudad mexicana de Campeche, de donde es nativa. Este árbol puede crecer hasta 10m de altura y en situaciones favorables, puede alcanzar hasta 20m; su tronco puede alcanzar un diámetro de un metro. Tiene una corteza áspera, con abundante látex blanco y gomoso. Sus hojas son perennes, alternas, en su mayoría agrupadas en las puntas de las ramas, son relativamente finas y brillantes.

En el municipio de Hool, Champotón, Campeche el Kanisté, es conocido por muchos, por sus propiedades curativas en diferentes aspectos de la salud. Actualmente este árbol se puede encontrar en los patios solamente de algunas de las casas del municipio. Además, tiene una temporada establecida de cosecha.

Actualmente el Kanisté se puede encontrar como fruto fresco, en época de cosecha, pero sus hojas las tiene la mayor parte del año, solo en temporadas de secas las pierde y debido a sus antecedentes de uso en medicina tradicional, resulta de interés evaluar sus metabolitos con el fin de aprovecharlo con fines terapéuticos. Precisamente, en este trabajo se presentan resultados del tamizaje fitoquímico realizado en extractos de la hoja de Kanisté con la finalidad de determinar sus metabolitos secundarios.

### 6.1 Desarrollo

El Kanisté (*Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni), Pertenece a la Familia Sapotaceae. El árbol es erecto y mide en promedio 8m de altura, pero puede, en situaciones favorables, alcanzar una altura extraordinaria de hasta 28m. Su tronco alcanzar un diámetro de 1m. Tiene una corteza color marrón, áspera y con abundante látex blanco y gomoso. Ver figura 6.1 (Bolívar, 2015).

**Figura 6.1** Árbol de Kanisté



*Fuente: (Valencia, 2014)*

Las flores son fragantes, bisexuales, solitarias o en pequeños grupos, nacen en las axilas de las hojas o en las ramitas en pedicelos delgados. Contienen de 5 a 6 lóbulos, de color crema, sedosamente pubescentes, de unos 8 a 11 de largo. Ver figura 6.2 (Bolívar, 2015).

**Figura 6.2** Flor de Kanisté



*Fuente:(Valencia, 2014)*

**Cultivo y usos:** Se multiplica por semillas y las variedades por injertos o acodos. Requiere suelos más o menos neutros y clima suave, protegido del frío, sobre todo los ejemplares pequeños. Tiene un crecimiento bastante rápido. Su fruto es rico en hidratos de carbono y se consume crudo en ensaladas o postres (Bolívar, 2007b).

El Kanisté ha sido considerado la fruta de los Mayas, debido a que los Mayas cosechaban las frutas de los siempre verdes y densos árboles de Kanisté, plantados en traspatios. Posteriormente las frutas eran colocadas en las cenizas frescas para madurarlas hasta que adquirían un color amarillo oro (Bolívar, 2015).

El fruto es de forma y tamaño variables, pudiendo ser casi redondo, con o sin ápice agudo o pico curvo, o puede ser algo ovalado, ovoide o en forma de huso. A menudo sobresaliente por un lado y tiene un cáliz de cinco puntas en la base que puede ser redondeado o con una depresión distinguible. La longitud varía de 7.5 a 13cm y el ancho varía de 5 a 8cm, excepto en la forma arbustiva, var. Palmeri, cuyo árbol mide de 1.5 a 3m de alto y que produce frutos casi redondos y de sólo 2.5cm de largo. Ver Figura 6.3 (Bolívar, 2015).

**Figura 6.3** Fruto de Kanisté



*Fuente: (Valencia, 2014)*

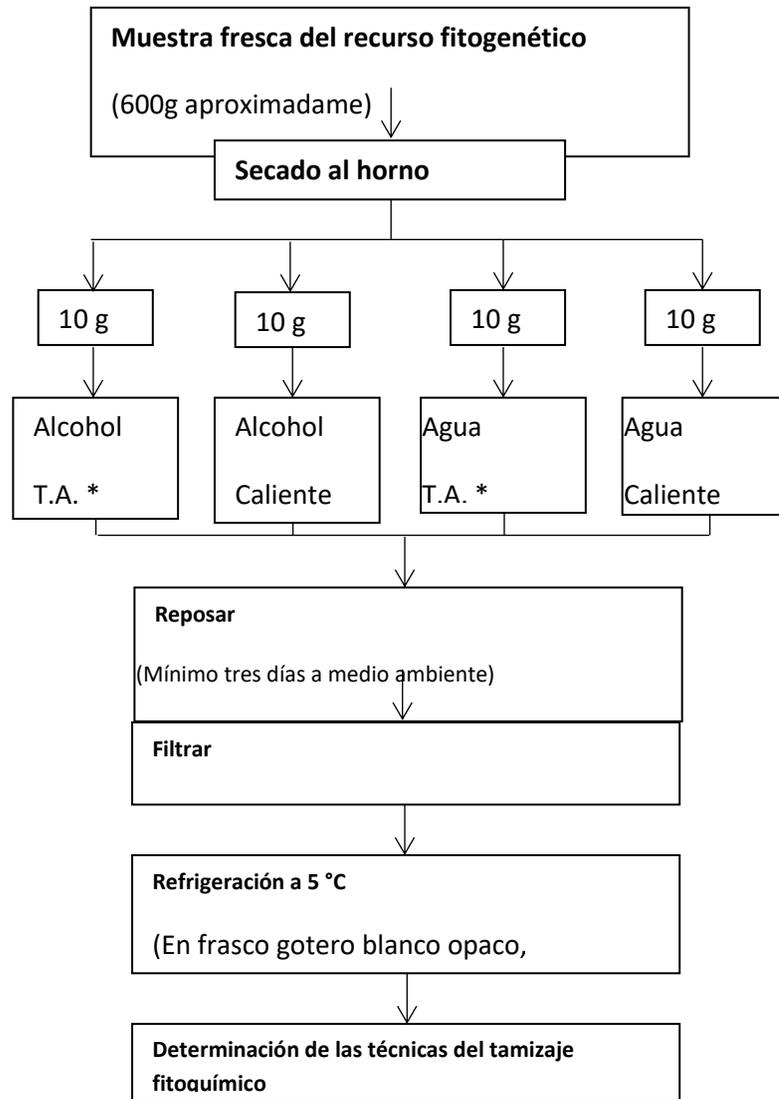
**Propagación:** El kanisté usualmente se propaga por semillas, que germinan en 3-6 semanas. Yemas procedentes de árboles con características deseables pueden injertarse fácilmente patrones usando el método de injerto lateral. Las estacas de árboles adultos puede enraizar bajo condiciones de alta humedad pero el proceso es extremadamente lento (Bolívar, 2007a).

Para determinar la composición química de las plantas medicinales y conocer sus constituyentes biológicamente activos pueden seguirse metodologías que van desde un análisis fitoquímico preliminar hasta estudios químicos sistemáticos bioguiados. Puesto que este último tipo de estudio requiere una inversión considerable de tiempo y recursos, lo ideal es iniciar con estudios fitoquímicos preliminares que permitan hacer una discriminación de las plantas a estudiar en términos de su composición química, con el fin de seleccionar únicamente aquellas más interesantes para posteriores estudios sistemáticos (Carvajal, 2009).

## 6.2 Metodología

Para la realización de este trabajo se utilizaron hojas de Kanité recolectados en Hool Figura 4, muestra el diagrama del proceso empleado durante el desarrollo de este trabajo, donde se observa que la muestra inicial antes de secado corresponde a 600 g por muestra, de los que posteriormente se tomaron fracciones de 10 g para cada tipo de extracto, ya sea acuoso o etanólico, a temperatura ambiente o caliente, respectivamente.

**Figura 6.4** Diagrama metodológico.



Las técnicas para la realización del tamizaje fitoquímico se describen a continuación, fueron desarrolladas en base a los trabajos realizados por Ministerio de Salud Pública MINSAP:

*a. Técnica de cloruro férrico (Fenoles y Taninos).*

A una alícuota de 1 mL del extracto, se le añadió 0.5 mL de una solución de cloruro férrico al 5% en solución salina. La aparición de un color o un precipitado verde oscuro, indica la presencia de fenoles. En el extracto acuoso se adicionó acetato de sodio previo al ensayo. Si la muestra fuera positiva, añadir 1 mL del extracto, se añade a 1 mL del extracto, 1 mL de gelatina al 1% en cloruro de sodio al 0.85% y si se observa un precipitado, indica la presencia específica de taninos.

*b. Prueba de Bornträger (Quinonas).*

Se extrajo 1 mL del extracto y se diluyó en proporción 1:1 en cloroformo, se agitó con 1 mL de hidróxido de sodio al 5%. Observándose una coloración amarillo-rojizo.

*c. Método de Shinoda (Flavonoides).*

A 2 mL de agua se le añadió 2 mL del extracto, luego se adicionó 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y 100 mg de magnesio metálico. Al finalizar la reacción, se añadió 1 mL de alcohol amílico y se agitó. Observándose un precipitado amarillo, naranja o rojo.

*d. Prueba de Baljet (Lactonas).*

A 1 mL del extracto se le añadió una mezcla recién preparada de 1mL de ácido pícrico al 1% en etanol y 1 mL de hidróxido de sodio al 10% en agua.

*e. Método de Dragendorff (Alcaloides).*

1 mL del extracto se mezcló con 1 mL del reactivo de Dragendorff. Observándose un precipitado naranja rojizo.

*f. Prueba de Sudán (Aceites esenciales).*

Se extrajo 1 ml del extracto y se le añadió 1 ml de una solución de Sudán III al 0.6% en glicerina-agua 1:1. Se observa una coloración roja.

*g. Técnica de Ninhidrina (Aminoácidos libres o aminos).*

A una alícuota de 1 mL del extracto se le adicionó 1 mL de la solución de ninhidrina al 5% en etanol. Se calentó a baño María 5 minutos.

*h. Determinación de triterpenos. Prueba de Libermann-Burchard (Esteroidales y triterpenos).*

Se extrae 1.0 mL del extracto con 1.0 mL de cloroformo, la fracción disuelta en 1.0 mL de cloroformo se le añade 1.0 mL de anhídrido acético y se mezcla. Por la pared del tubo de ensayo se dejan caer 3 o 4 gotas de ácido sulfúrico concentrado, un color verde-verde oscuro, indica la presencia de triterpenos.

*i. Prueba de Kedde (Glucósidos cardiotónicos).*

A 1.0 mL del extracto se mezcló con 1.0mL de una solución recién preparada de ácido 3,5 dinitrobenzoico al 2% en metanol y 1ml de hidróxido de potasio al 5.7%. Se observa un cambio de coloración a violeta en 1-10 minutos.

*j. Determinación de Antocianhidrinas.*

Se lleva a sequedad 1.0 mL del extracto en un tubo de ensayo y el residuo se disuelve en 5.0 mL de ácido clorhídrico 2N. Luego, se coloca en un tubo con la solución en un baño de agua a 100°C.

*k. Prueba de Fehling (Azúcares reductores).*

Una alícuota de 1.0 mL del extracto, fue tratada con una mezcla recién preparada de 1mL de Fehling A y 1 mL de Fehling B, se calentó a baño María durante 15 minutos.

### 6.3 Resultados

Tamizaje Fitoquímico de la hoja de Kanisté

**Tabla 6.1** Tamizaje fitoquímico de la hoja de Kanisté

	Extracto Acuoso Temperatura Ambiente	Extracto Acuoso Caliente	Extracto etanólico Temperatura ambiente	Extracto Etanólico Caliente
<b>Fenoles</b>	-	-	-	-
<b>Taninos</b>	+	+	-	-
<b>Quinonas</b>	-	-	-	-
<b>Flavonoides</b>	+	+	+	+
<b>Lactonas</b>	-	+	+	+
<b>Alcaloides</b>	-	-	-	+
<b>Aceites esenciales</b>	+	+	+	+
<b>Aminoácidos</b>	+	-	-	-
<b>Triterpenos</b>	-	-	-	
<b>Glucósidos cardiotónicos</b>	-	-	-	-
<b>Antocianidinas</b>	+	+	-	-
<b>Azúcares reductores</b>	-	-	-	-

Los taninos son compuestos fenólicos presentes en las hojas proporcionando propiedades astringentes y antiinflamatorias, por lo tanto, son muy útiles ante diarrea o gastroenteritis. Además, tienen acción antioxidante que protegen a las células ante los radicales libres y permiten reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, sin embargo, no debemos abusar de los alimentos ricos en taninos, ya que en cantidades excesivas, pueden reducir la absorción de nutrientes como el hierro o las proteínas, y ser causantes de carencias (Bruneton, 2001).

Los metabolitos que ayudan en la reparación de los capilares son los flavonoides, que son antiinflamatorios y antivirales. Estos compuestos presentan propiedades relacionados con la salud humana, lo cual está basado en su actividad antioxidante (Cartaya, 2001).

Las lactonas forman parte de los principios activos de una gran variedad de plantas medicinales que son usadas en la medicina tradicional para el tratamiento de enfermedades inflamatorias y han mostrado diferentes actividades biológicas tales como antimicrobiana, citotóxica, antiinflamatoria, antibacteriana, anticancerígena, antiviral, antifúngica, efectos en el sistema nervioso central y cardiovascular así como su potencia alergénica. Su amplia diversidad estructural y su potencial actividad biológica han hecho cada vez más que los científicos se interesen por estas moléculas (Ruiz, 2015).

Los alcaloides son líquidos a temperatura ambiente y de sabor amargo, en su forma libre son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos polares, al estar presentes en la hoja. Hace que por lo general, sean empleadas para aliviar el dolor muscular y/o articular. En la hoja de kanisté se han identificado alcaloides, que se relacionan con reacciones en el núcleo de la célula en la síntesis de proteínas. Si se combinan con la serotonina hacen que las personas se sientan mejor porque dan más energía física, mental y por ende, ayuda a reducir las adicciones tales como alcoholismo, cigarrillo, drogas, entre otras (Kuklinski, 2000).

Uno de los metabolitos secundarios que confieren a las hojas un aroma agradable son los aceites esenciales, cuyas acciones farmacológicas son muy variadas tanto en su utilización por vía tópica como en su uso por vía externa. Sus acciones en vía interna son: antiséptico, rubefacientes, desodorantes, analgésicos, antiinflamatorio, insecticida y repelente, cicatrizantes y vulnerarios. En vía externa son: expectorantes, carminativos, estomacales, antiespasmódicos, sedantes, estimulantes cardiacos, antiinflamatorio, coléricos y/o colagogos, digestivos, diuréticos, antisépticos y estimulantes circulatorios (Kuklinski, 2000).

Se conoce con la denominación de aminoácidos a aquellos ácidos orgánicos, algunos de los cuales son componentes básicos de las proteínas. Los aminoácidos son los componentes esenciales de las proteínas que forman los tejidos las enzimas y otros compuestos imprescindibles del organismo, como la sangre hormonas, anticuerpos, material genético.

Existen 13 aminoácidos considerados no esenciales ya que el organismo puede sintetizarlos a partir de otros denominados esenciales ya que el organismo no puede producirlos y por lo tanto su aporte desde la dieta se hace imprescindible. De todas formas, debe destacarse que desde el punto de vista funcional o metabólico los aminoácidos no esenciales no son menos importantes respecto de los esenciales (Naclerio, 2006).

Las antocianidinas tienen una gran cantidad de acciones corporales, debidas principalmente a sus efectos sobre el colágeno corporal y sobre la respuesta inflamatoria y alérgica. Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecientes a la familia de los flavonoides, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 carbonos. Variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianidinas conocidas (cianidina, malvidina, pelargonidina, petunidina, delphinidina y peonidina). El interés por los pigmentos antocianínicos e investigación se ha incrementado en los últimos años, debido no solamente al color que confieren a los productos que las contienen sino a su probable papel en la reducción de las enfermedades coronarias, cáncer, diabetes y; a sus efectos antiinflamatorios y antioxidantes (Cosavalente, 2016).

En esta investigación se encontró la presencia de taninos, flavonoides, lactonas, alcaloides, aceites esenciales, aminoácidos y antocianidinas en todos los extractos obtenidos de la hoja del Kanisté.

#### 6.4 Conclusión

Los metabolitos presentes en los cuatro extractos de forma predominante fueron: flavonoides y aceites esenciales. Los metabolitos positivos en los diferentes extractos fueron: taninos, flavonoides, lactonas, alcaloides, aceites esenciales, aminoácidos y antocianidinas. La diversidad de metabolitos encontrados en esta investigación indica que la hoja, puede tener efectos farmacológicos con efectividad como: astringente, antiinflamatorio, antioxidante, antibiótico, entre otros. Es recomendable que se debe extremar las precauciones cuando se utilicen terapéuticamente como remedio herbolario, así como aumentar los estudios que avalen la seguridad y eficacia de los mecanismos de acción farmacológica de la hoja de Kanisté.

#### 6.5 Referencias

Bolívar Fernández Nidelvia del Jesús; Valencia Gutiérrez, Marvel del Carmen. (2015). Conservación del Kanisté (*Pouteria campechiana*) en territorio Campechano. Capítulo de libro Patrimonio y Desarrollo Sustentable. México.

Bolívar Fernández N.J. 2007a Valor nutricional de seis recursos fitogenéticos de origen tropical. Comisión para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. Año 3.No.6. Campeche, México.

Bolívar Fernández N.J., Valencia Gutiérrez M. C. 2007b. Recursos fitogenéticos de origen tropical su valor nutricional. Universidad Autónoma de Campeche. México.

Bruneton Jean. 2001. Farmacognosia, Fitoquímica, Plantas Medicinales. 2a Edición. Editorial Acribia.

Cartaya O, Reynaldo, Inés, Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. Cultivos Tropicales en línea 2001,22.fecha de consulta 29 de diciembre de 2017. Disponible en <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215009001>ISSN.

Cosavalente Burgos, Kevin Steve Ruiz Reyes, Segundo Guillermo Ganoza Yupanqui, Mayar Luis. 2016. Antocianinas totales y capacidad antioxidante in vitro de extractos de diferente grado etanólico del fruto de *Vaccinium corymbosum* "Arándano". Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Farmacia y Bioquímica, [revistaucv-scientia@ucv.edu.pe](mailto:revistaucv-scientia@ucv.edu.pe).

Kuklinski, C. 2000. Farmacognosia. Ediciones Omega. España.

Lyndon Carvajal Roj, Yoshie Hata Uribeas, Noralba Sierra Martínez, Diana Rueda Niño. 2009. Análisis fitoquímico preliminar de hojas, tallos y semillas de cupatá (*strychnos schultesiana* krukoff). Revista Colombia Forestal Vol. 12: 161-170 / Diciembre 2009

Ministerio de Salud Pública MINSAP. 1997. Guía metodología para la investigación en plantas medicinales. La Habana: Pueblo y Educación. Cuba.

Naclerio Fernando (2006). *Utilización de las Proteínas y Aminoácidos como Suplementos o Integradores Dietéticos*. PubliCE. 0  
<https://g-se.com/utilizacion-de-las-proteinas-y-aminoacidos-como-suplementos-o-integradores-dieteticos-766-sa-P57cfb27181ef9>

Ruiz Reyes Enrique, Suarez Margarita. 2015. Lactonas sesquiterpénicas. Diversidad estructural y sus actividades biológicas/Sesquiterpene Lactones. Structural diversity and their biological activities. Vol.46. No.1. Revista CENIC. Ciencias Biológicas.

Valencia Gutiérrez Marvel del C. Bolívar Fernández Nidelvia de J. Velázquez Sánchez Rosa María, Ramírez García María de J .2014. Árbol, Flor y Fruto de los recursos florísticos de origen tropical. Dibujando el Patrimonio Natural. Editorial TECCIS.A.C.

## Capítulo 7 Tendencias en el estudio taxonómico de copéodos de agua dulce de México

### Chapter 7 Trends in the taxonomic study of freshwater copepods from Mexico

GUTIÉRREZ-AGUIRRE, Martha Angélica†\* y CERVANTES-MARTÍNEZ, Adrián

*Universidad de Quintana Roo, Departamento de Ciencias y Humanidades, Cozumel Quintana Roo, México, C. P. 77600*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Martha Angélica, Gutiérrez-Aguirre* / **ORC ID:** 0000-0002-9329-820X, **CVU CONACYT ID:** 25926

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Adrián, Cervantes-Martínez* / **ORC ID:** 0000-0002-8947-8558, **CVU CONACYT ID:** 38351

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.86.94

M. Gutiérrez & A. Cervantes

margutierrez@uqroo.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

En este estudio presentamos una revisión de estudios taxonómicos y marcos conceptuales sobre los cuales se ha abordado la clasificación de copépodos de agua dulce y de vida libre en México. Esta síntesis contribuye a la certeza taxonómica de estos organismos poco conocidos. Este tipo de estudios se basan en el uso de herramientas técnicas como el análisis de múltiples caracteres morfológicos y / o moleculares, que en la actualidad se consideran una fuente de información para describir y definir especies.

### Copepoda, Crustáceos, agua dulce, vida libre, zooplancton

#### Abstract

In this study we present a review of taxonomic studies and conceptual frameworks on which the classification of freshwater and free-living copepods has been addressed in Mexico. This synthesis contributes towards the taxonomic certainty of these little-known organisms. This kind of studies are based on the use of technical tools such as the analysis of multiple morphological and / or molecular characters, which are currently considered as a source of information to describe and define species.

### Copepoda, Crustacea, freshwater, free living, zooplankton

## 7. Introducción

El conocimiento de la diversidad y el establecimiento de una sistemática clara, son herramientas que permiten no sólo obtener un conocimiento básico, sino que, a partir de ellas, es posible abordar estudios relacionados con análisis biogeográficos, evolutivos, de ecología clásica, ecología aplicada y ecología funcional, por ejemplo. Los alcances de éstas ciencias se fortalecen siempre que se fundamenten en la precisión taxonómica de los seres vivos (Fox *et al.*, 2014). Ejemplos de este tipo pueden consultarse en Cruz-Gómez, Franco-López y Rodríguez-Varela (2020).

Para clasificar a los organismos es necesario fundamentarse en la ciencia de la taxonomía y las categorías taxonómicas o taxones que usamos generalmente para clasificar a los seres vivos son las siguientes: Reino, Filo, Clase, Orden Familia, Género y Especie. En relación con los crustáceos, se han descrito alrededor de 30,000 especies vivientes, los cuales poseen una elevada diversidad de formas en sus cuerpos que han colonizado cada hábitat acuático existente en el planeta. Por la riqueza de especies, abundancia y biomasa que abarcan en dichos ecosistemas, los Copepoda son los taxa más importantes del zooplancton dulceacuícola de los sistemas acuáticos epicontinentales, lóticos y lénticos de México.

En el mundo se conocen unas 14,000 especies de Copépodos en total y de éstas unas 3000 se consideran como de agua dulce y de vida libre. En México el inventario de éste tipo de copépodos asciende a 110 especies. Por lo tanto, de acuerdo con diversos autores México ha transitado en poco más de una década, de ser una de las regiones con menos conocimiento del zooplancton a una de las más conocidas (Sharma y Kotov, 2013) y actualmente cuenta con una revisión reciente de toda la información existente, en cuanto a las especies presentes en su territorio (Suárez-Morales *et al.*, 2020).

En cuanto a su importancia ecológica dichos crustáceos constituyen el segundo eslabón en la cadena alimenticia en un sistema acuático; por lo tanto, son un vehículo eficiente que transfiere la energía generada y almacenada en los productores primarios, hacia los consumidores secundarios; son habitantes de ambientes semi-terrestres, del bentos y columna de agua de ecosistemas lóticos y lénticos y así también, se les ha registrado en sistemas acuáticos subterráneos.

En el presente estudio presentamos una revisión de los estudios de clasificación y de los marcos conceptuales en que se ha abordado la clasificación de copépodos dulceacuícolas y de vida libre; con el objeto de que esta síntesis aporte hacia la certidumbre taxonómica de organismos poco conocidos lo cual podría incidir de manera fundamental en sus estudios ecológicos, contribuyendo incluso al conocimiento de su distribución en amplias escalas, evaluación de ambientes o incluso, conservación.

## 7.1 Metodología a desarrollar

A través de un muestreo intencional, no probabilístico se realizó un proceso de revisión bibliográfica para determinar el número de especies de copépodos descritas en México y consideradas como válidas, desde inicio del siglo XX, hasta la fecha.

Lo previo permitió determinar bajo qué enfoque conceptual, así como qué herramientas metodológicas y/o técnicas, se han empleado (o han influido) sobre el conocimiento de la riqueza de las especies de crustáceos copépodos de vida libre, que habitan los ecosistemas epicontinentales de nuestro país.

Con estos datos también fue posible determinar cuál es la tasa de cambio en que se ha incrementado la descripción de especies de éstos micro-crustáceos en México, durante los últimos 100 años.

## 7.2 Resultados y análisis

### 7.3 Cosmopolitanismo y no cosmopolitanismo

Los niveles taxonómicos “altos” en los que se clasifica la biodiversidad son los Reinos, Filos, Clases y Órdenes, los cuales se van multiplicando hacia los niveles taxonómicos “bajos”, tales como las Familias y los Géneros, los cuales son sustentados por la representación básica de la diversidad del planeta, conocida como Especie.

El grupo de organismos que aquí nos interesa (Copepoda) se considera cosmopolita para los niveles altos en que se clasifica la diversidad, debido a que existen en el mundo desde hace unos 200 millones de años; cuentan con estrategias reproductivas que generan etapas de desarrollo resistentes que pueden trasladarse por vías indirectas tales como el viento, el flujo de agua entre cuencas, o el transporte de mamíferos y aves y no son fácilmente accesibles a nuestros sentidos porque son organismos principalmente acuáticos y microscópicos (máximo 2 mm de longitud).

Bajo la influencia de los hechos previamente mencionados, se inició la clasificación de los copépodos durante la segunda mitad del siglo XVIII en Europa y Estados Unidos de América (Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 2003). Las primeras monografías completas y con descripciones ilustradas y detalladas de micro-crustáceos estuvieron a cargo de Müller en la segunda mitad del siglo XVIII y de Lilljeborg a finales del siglo XIX, con fauna europea. En ese entonces, Birge inició con las descripciones de organismos en América y desafortunadamente por falta de material bibliográfico y humano (para consulta), retomó muchos de los nombres de las especies europeas y los asignó a los especímenes de América (que en muchas ocasiones eran morfológicamente parecidos a los europeos), iniciando la clasificación de las especies de micro-crustáceos americanos, con fundamento en las teorías del cosmopolitanismo y dispersalismo (Frey, 1986).

Bajo ésta influencia inició en México el análisis taxonómico de los copépodos dulceacuícolas durante las primeras 6 décadas del siglo XX y por autores extranjeros, se publicaron los primeros inventarios, así como las primeras descripciones de copépodos, procedentes de colectas puntuales de contados sistemas de la Ciudad de México, Estado de México, las costas este y norte de la Península de Yucatán, San Luis Potosí, Michoacán, Puebla, Hidalgo y Morelos. Hacia 1959 el estudio taxonómico de copépodos en México había generado un inventario de alrededor de 46 especies (Figura 1), con la descripción de las que entonces eran consideradas como especies o subespecies mexicanas, desconocidas para la ciencia y válidas actualmente: *Microdiaptomus cokeri* (Osorio-Tafall, 1942), *Leptodiaptomus cuauhquemoci* (Osorio-Tafall, 1941), *L. garciai* (Osorio-Tafall, 1942), *L. mexicanus* (Marsh, 1929), *Mastigodiaptomus montezumae* (Brehm, 1955) *Tropocyclops prasinus aztequei* Lindberg, 1955 y *T. prasinus mexicanus* (Kiefer, 1938), por ejemplo (Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 2003).

Durante este periodo de 1904 a 1959 la tasa de cambio del número de especies de copépodos conocidas en México fue de 18.0 (Fig. 1), época en que se consideraban sólo la forma general del cuerpo y del abdomen; así como la forma general de dos o tres apéndices del crustáceo (las anténulas y las quintas patas) como características morfológicas informativas del estado adulto (exclusivamente), para diferenciar a las especies (Tabla 7.1).

**Tabla 7.1** Modelos de descripción de las características consideradas como diagnósticas para la clasificación de especies de Copepoda. Las casillas vacías representan estructuras no descritas y no ilustradas en el período correspondiente. La nomenclatura de las estructuras anatómicas mencionadas, se puede consultar en Mercado-Salas *et al.* (2015).

Estructura	Primeras 5 décadas del siglo xx	Últimas 2 décadas del siglo xx
Cuerpo (hembra y macho)	Tamaño total y tamaño del prosoma y urosoma	Ilustración y descripción. Tamaño total y tamaño del prosoma y urosoma. Importante la ornamentación lateral y dorsal del quinto somita del prosoma (con o sin setas, con espinas, características de la membrana hialina, etc.)
Anténula hembra	Número de segmentos, tamaño en relación al cuerpo. Particular atención a los géneros cuyos últimos tres segmentos de la anténula presentan membrana hialina.	Ilustración y descripción. Longitud en relación al cuerpo. Número de segmentos. Número de setas, setas modificadas y estetascos por segmento, posición y forma de cada uno de ellos. Longitud y forma de los últimos tres segmentos para hacer diferencias entre géneros y especies
Anténula macho		Ilustración y descripción. Número de segmentos. Número de setas, setas modificadas y estetascos por segmento, posición y forma de cada uno de ellos
Antena (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número de segmentos del endópodo, número de setas sobre cada segmento. Ornamentación, posición y número de setas y/o espinas sobre el basis, caudal y frontalmente.
Mandíbula (hembra y macho)	Número de segmentos en el palpo.	Ilustración y descripción. Número, tamaño y ornamentación de las setas sobre el palpo, número y posición de espinas y forma de la gnatobase.
Maxílula (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número de setas y/o espinas sobre la precoxa y forma y ornamentación tanto de los segmentos del palpo, como de las setas que porta cada segmento.
Maxila (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Forma, tamaño y número de dientes sobre el margen cóncavo del gancho del basis, así como la forma de las dos setas que lo flanquean. Número de segmentos del endópodo.
Maxilípodo (hembra y macho)		Ilustración y descripción. Número, posición y tamaño de dientes y/o espinas sobre el basis; así como el número de segmentos y número de setas que porta cada segmento.
Patas 1-4 (hembra y macho)	Fórmula espinal del último segmento del exópodo de las Patas 1 a 4, así como el número de espinas y setas de cada segmento del exópodo y endópodo de las Patas 1 a 4. Relación largo/ancho del último endópodo de la Pata 4 en comparación con la longitud de las espinas apicales del mismo segmento.	Ilustración y descripción. Forma y ornamentación frontal y caudal del esclerito intercoxal (nombrado también como “placa conectora” o “lamela conectora”). Fórmula espinal del último segmento del exópodo de cada pata. Relación largo/ancho del último endópodo de la Pata 4 en comparación con la longitud de las espinas apicales del mismo segmento. Número de segmentos en el endópodo y exópodo de cada pata. Ornamentación de la coxa y basis en vista frontal y caudal de cada una de las patas.
Pata 5 (hembra y macho)	Número de segmentos en la pata y número y posición de las setas y/o espinas sobre el segmento apical.	Ilustración y descripción. Número de segmentos en la pata. Número, tamaño y posición de setas y/o espinas sobre el segmento apical para hacer diferencias a nivel específico y supra-específico
Abdomen (hembra)	Tamaño del segmento genital. Forma y ornamentación de la región distal de cada segmento abdominal	Ilustración y descripción. Relación largo/ancho del segmento genital. Forma y ornamentación de la superficie y de la región distal de cada segmento abdominal

Receptáculo seminal (hembra)		Ilustración y descripción. Forma de los márgenes anterior, posterior, forma de los brazos laterales y forma y extensión de la bursa para hacer diferenciación a nivel específico.
Abdomen (macho)		Ilustración y descripción. Ornamentación superficial de cada somita.
Pata 6 (macho)	Comparación del tamaño entre las setas y/o espinas para diferenciar entre especies.	Ilustración y descripción. Comparación de tamaño entre las setas y/o espinas para hacer diferenciación entre especies.
Rama caudal (hembra y macho)	Ilustración y descripción. Tamaño de las ramas caudales en relación con el somita anal. Comparación del tamaño de las setas furcales y posición de las setas dorsales y laterales.	Ilustración y descripción. Relación largo/ancho y comparación del tamaño de las setas furcales para hacer diferenciación a nivel específico.
Secuenciación de los pares de bases de marcadores genéticos (nauplio, copepodito, hembra y macho)		Descripción de las secuencias y análisis de la distancia genética dentro y entre especies.

Fuente: "Elaboración propia"

Durante los 20 años posteriores (1960 a 1979), la tasa de cambio en el inventario de especies conocidas de copépodos en México fue igual a 0.0 (Figura 1); por lo tanto consideramos que, durante ese periodo la influencia de la teoría del cosmopolitismo hacia la clasificación de los copépodos distribuidos en nuestro país, continuaba vigente (así como la revisión de pocas características morfológicas en los especímenes). Sin embargo, también durante las décadas de 1970 y 1980 autores como Kiefer (1981) y Frey (1982a, 1982b; 1987) proponen la inexistencia del cosmopolitismo en microcrustáceos con fundamento en el análisis morfológico microestructural (altamente detallado) de los organismos, la teoría de la deriva continental y la vicarianza. Propusieron que la similitud morfológica de "especies" entre continentes no se explica por factores de transporte de estructuras reproductivas de resistencia, sino que cuando inició la deriva continental, en cada fragmento quedaron "protoespecies" similares entre sí (que venían diferenciándose desde el Paleozoico) que con el paso del tiempo dieron origen a las especies actuales, desde el aislamiento.

Probablemente bajo la influencia de éstas ideas y por el trabajo precedente de Kiefer (1932), se publicaron en América las primeras propuestas de límites geográficos y morfológicos entre Familias, Subfamilias y Géneros de copépodos de los órdenes Calanoidea, Cyclopoida y Harpacticoida, definiendo por ejemplo la diferenciación de subgéneros (actualmente géneros) de lo que se reconocía como al único género de calanoide *Diaptomus* distribuido en todo el planeta, cosmopolita. Así por ejemplo, se reconoce que *Leptodiaptomus* es un género endémico de la región Neártica, y a *Mastigodiaptomus* como un género endémico de la región Neotropical (Suárez-Morales, Reid y Elías-Gutiérrez, 2005) y que *Diaptomus* efectivamente es un género válido, pero con distribución en las regiones Neártica y Paleártica. De manera ventajosa, durante las décadas de 1970 a 1980 también se generó mayor acceso a técnicas y tecnologías que facilitan la observación de organismos microscópicos, tal como el microscopio electrónico de barrido, el mejoramiento de la microscopía de luz y la masificación de hardware y software que magnificó el acceso y la capacidad de usar y analizar una gran cantidad de datos, tales como las características morfológicas en los copépodos.

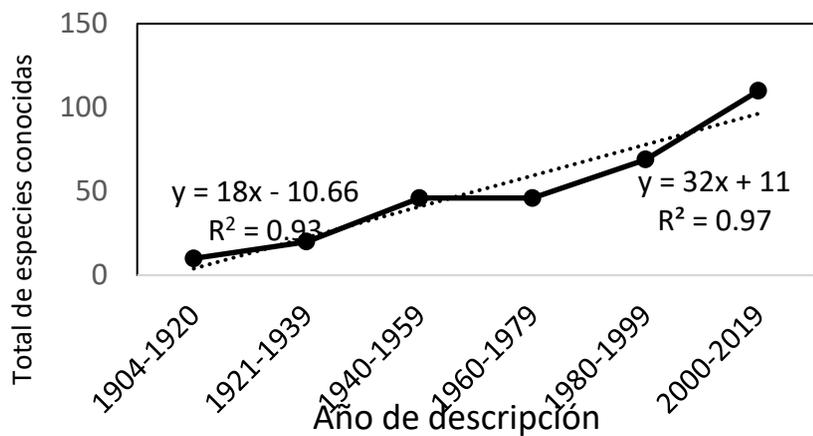
Lo anterior definitivamente eliminó la idea de cosmopolitismo a nivel específico entre los copépodos: obras como las de Fiers y van de Velde (1984) y van de Velde (1984), quienes al trabajar con el género *Mesocyclops* como modelo (Cyclopidae) y con fundamento en el análisis fino de la epidermis de apéndices cefálicos, torácicos y del receptáculo seminal; sentaron las bases para definir caracteres morfológicos diagnósticos estables (inter e intra poblacionales), útiles para proponer límites entre varias especies que se consideran taxonómicamente problemáticas y sin duda, generaron mayor interés entre los taxónomos por conocer realmente la diversidad de copépodos que nos rodea. Van de Velde (1984) propuso alrededor de 20 caracteres morfológicos estables, pero conforme se profundiza en el estudio de diversos géneros el número de caracteres morfológicos diagnósticos, se incrementa (ver por ejemplo a Alekseev y Defaye, 2011).

En la segunda columna de la Tabla 1, se enlistan los caracteres morfológicos que especialmente a partir de la década de 1990 se consideran útiles hasta la actualidad, para clasificar a las especies de los géneros *Mastigodiatomus*, *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Eucyclops*, *Apocyclops*, *Paracyclops* y *Microcyclops*. Incluso para el caso de *Mesocyclops* considerado un género pantropical, con alrededor de 70 especies reconocidas, éstos caracteres mostraron sustentar las relaciones entre especies hermanas (Hołyńska, 2006). A través de estas evidencias se han sustentado dos propuestas teóricas en relación con el zooplancton distribuido en México: 1) la existencia de endemismos regionales a nivel específico y 2) al término del siglo XX, la diversidad del zooplancton dulceacuícola está subestimada en nuestro país.

#### 7.4 Descripciones detalladas

En este contexto continuó el estudio taxonómico de los copépodos en México en las últimas dos décadas del siglo XX y las dos primeras del siglo XXI, cuando se alcanzó un valor de 32 en la tasa de cambio de la descripción de especies de estos organismos (Fig. 7.1) y como resultado, el número de especies conocidas se ha duplicado a 110.

**Figura 7.1** Tendencia en el número de especies de copépodos conocidas en México, durante los últimos 115 años.



Fuente: "Elaboración propia"

En México, los hallazgos de caracteres diagnósticos, fundamentados sobre análisis morfológicos detallados de copépodos adultos generó un florecimiento en la descripción de especies nuevas de los géneros *Mastigodiatomus*, *Leptodiatomus* (Grimaldo-Ortega et al., 1998; Elías-Gutiérrez, Suárez-Morales y Romano, 1999; Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 1999), *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Mesocyclops*, *Paracyclops* (Fiers, Reid, Iliffe y Suárez-Morales, 1996; Fiers, Ghene y Suárez-Morales, 2000; Mercado y Suárez-Morales, 2009), *Halicyclops*, *Prehendocyclops* (Fiers, 1995; Rocha, Iliffe, Reid y Suárez-Morales, 2000), *Eucyclops* (Mercado-Salas, Suárez-Morales y Silva-Briano, 2015) y *Microcyclops* (Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez, 2016). Este florecimiento también se ha visto intensificado durante la última década, con el acceso a la información molecular de los copépodos, lo cual ha permitido confirmar la existencia en nuestro país de especies que se creían sinónimos, tal como es el caso de *Leptodiatomus garciai* (Montiel-Martínez, Ciro-Pérez, Ortega-Mayagoitia y Elías-Gutiérrez, 2008), o *Mastigodiatomus patzcuarensis* (Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez y Elías-Gutiérrez 2014). De tal manera que la información generada por el marcador molecular COI también ha contribuido al desarrollo de la taxonomía de géneros como *Mastigodiatomus* (Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez, Elías-Gutiérrez y Lugo-Vázquez, 2020) y podría ser oportuno que se probase su utilidad en géneros tales como *Paracyclops* o *Tropocyclops*, los cuales son de amplia distribución en nuestro país.

Además de aportar al conocimiento básico de la biodiversidad, éstas descripciones detalladas (morfológica y molecularmente) también generan evidencias que sustentan la existencia de endemismos regionales en los copépodos dulceacuícolas a nivel específico y probablemente se propicie el enfoque en la re-evaluación de las áreas tipo, del material tipo depositado en colecciones biológicas y de la importancia por enriquecer las colecciones regionales y locales; así como observar de manera precisa y detallada a las áreas de distribución de cada especie.

Para el caso de los copépodos dulceacuícolas y de vida libre éste tipo de análisis ha generado la oportunidad de abordar estudios que prueben hipótesis biogeográficas (¿historias geográficas generadas por la dispersión...o la vicarianza?) considerando a aquellos taxa cuya distribución va siendo más conocida, con la posibilidad, por ejemplo, de establecer eco-regiones en función de la biota presente a nivel regional (Perbiche-Neves *et al.*, 2014).

El conocimiento de la biodiversidad de copépodos finalmente, también podría usarse como vehículo para discutir acerca del concepto de taxonomía (¿Por las herramientas y por el tipo de datos que se utilizan para clasificar...se puede catalogar a la taxonomía?)

## 7.5 Agradecimientos

A la Universidad de Quintana Roo y al CA Vulnerabilidad y Biodiversidad de Sistemas acuáticos Continentales y Costeros (CAVBSACC).

## 7.6 Conclusiones

El crecimiento en el número de especies de copépodos de vida libre, que habitan ecosistemas epicontinentales en el país y que inició a principios de 1900, es lineal, con tasas de cambio elevada. Por lo tanto, es oportuno incrementar el esfuerzo por realizar este tipo de estudios porque a la fecha, la riqueza conocida de estos crustáceos está subestimada en función de la riqueza real esperada. La ciencia sobre la que se sustentan los estudios de este tipo es la taxonomía, y actualmente se considera el uso de herramientas técnicas como el análisis de múltiples caracteres morfológicos y/o moleculares, como fuente de información para describir y definir a las especies.

Por las características biológicas de estos organismos, se han generado oportunidades para discutir conceptos tales como especie, grupos de especies, complejos de especies, distribuciones amplias y distribuciones restringidas.

## 7.7 Referencias

- Alekseev, V. R, y Defaye, D. (2011). Taxonomic differentiation and world geographical distribution of the *Eucyclops serrulatus* group (Copepoda, Cyclopoidae, Eucyclopinae). *Studies on Freshwater Copepoda*, 41-72.
- Cruz-Gómez, A., Franco-López, J. y Rodríguez-Varela, A. C. (2020). Ecología trófica de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) en la Laguna de Salazar Estado de México, México. *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 13, 918-933. <http://revistas.unam.mx/index.php/biocyt>.
- Elías-Gutiérrez, M., Suárez-Morales, E. y Romano, B. (1999) A new species of *Leptodiptomus* (Copepoda, Diaptomidae) from Northwestern Mexico with comments on the distribution of the genus. *Journal of Plankton Research*, 21(4), 603-614.
- Fiers, F. (1995). *Halicyclops caneki* nov. sp. (Copepoda, Cyclopoida) from Celestun Lagoon (Yucatan, Mexico). *Belgian Journal of Zoology*, 125(2), 351-357.
- Fiers, F., Ghene, V. y Suárez-Morales, E. (2000). New species of continental copepods (Crustacea, Cyclopoida) from the Yucatán Peninsula, México. *Stud. Neotrop. Fauna and Env.*, 35, 209-251.
- Fiers, F., Reid, J. W., Iliffe, T. M. y Suárez-Morales, E. (1996). New hypogean cyclopoid copepods (Crustacea) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Contributions in Zoology*, 66, 65-102.
- Fiers, F. y van de Velde, I. (1984). Morphology of the antenna and its importance in the systematics of the Cyclopidae. *Crustaceana*, 7, 182-199.
- Fox, C. W., Irschick, D. J., Knapp, A.K., Thompson, K., Baker, L. y Meyer, J. (2014). Functional ecology: moving forward into a new era of publishing. *Functional Ecology*, 28, 291-292.

- Frey, D. G. (1982a). Contrasting strategies of gamogenesis in northern and southern populations of Cladocera. *Ecology*, 63(1), 223-241.
- Frey, D. G. (1982b). Questions concerning cosmopolitanism in Cladocera. *Arch. Hydrobiol*, 93(4), 484-502.
- Frey, D. G. (1987). The taxonomy and biogeography of the Cladocera. *Hydrobiologia*, 145, 5-17.
- Grimaldo, D., Elías-Gutiérrez, M., Camacho, M. y Ciros-Pérez, J. (1997). Additions to Mexican freshwater copepods with the description of the female *Leptodiaptomus mexicanus* (Marsh). *Journal of Marine Systems*, 15(1-4), 381-390.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A. y Cervantes-Martínez, A. (2016). Taxonomic evaluation of eleven species of *Microcyclops* Claus, 1893 (Copepoda, Cyclopoida) and description of *Microcyclops inarmatus* sp. n. from America. *Zookeys*, 603, 33-69.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A. y Elías-Gutiérrez, M. (2014). An example of how barcodes can clarify cryptic species: the case of the calanoid copepod *Mastigodiaptomus albuquerquensis* (Herrick). *PLoS ONE*, 9(1): e85019. DOI: 10.1371/journal.pone.0085019.
- Gutiérrez-Aguirre, M., Cervantes-Martínez, A., Elías-Gutiérrez, M. y Lugo-Vázquez, A. (2020). Remarks on *Mastigodiaptomus* (Calanoida: Diaptomidae) from Mexico using integrative taxonomy, with a key of identification and three new species. *PeerJ*, 8:e8416 DOI 10.7717/peerj.8416.
- Holyńska, M. (2006). Phylogeny of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopidae) inferred from morphological characters. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 147, 1-70.
- Kiefer, F. (1932). Versuch eines systems der altweltlichen Diaptomiden (Copepoda, Calanoida). *Zoologischer Anzeiger*, 100, 213-220.
- Kiefer, F. (1981). Beitrag zur kenntnis und geographischen verbreitung von *Mesocyclops leuckarti* auctorum. *Arch. Hydrobiol Suppl.*, 62, 148-190.
- Mercado-Salas, N. F., Pozo, C., Morrone, J. J y Suárez-Morales, E. (2012). Distribution patterns of the American species of the freshwater genus *Eucyclops* (Copepoda: Cyclopoida). *J. Crustacean Biol.*, 32(3), 457-464
- Mercado-Salas, N. y Suárez-Morales, E. (2009). A new species and illustrated record of *Paracyclops* Claus, 1893 (Copepoda: Cyclopoida: Cyclopinae) from Mexico. *Journal of Natural History*, 43 (45-46), 2789-2808.
- Mercado-Salas, N., Suárez-Morales, E. y Silva-Briano, M. (2015). Taxonomic revision of the Mexican *Eucyclops* (Copepoda: Cyclopoida) with comments on the biogeography of the genus. *Journal of Natural History*, DOI: 10.1080/00222933.2015.1061715.
- Montiel-Martínez, A., Ciros-Pérez, J., Ortega-Mayagoitia, E. y Elías-Gutiérrez, M. (2008). Morphological, ecological, reproductive, and molecular evidence for *Leptodiaptomus garciai* (Osorio-Tafall, 1942) as a valid endemic species. *Journal of Plankton Research*, 30(10), 1079-1093. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn067>.
- Perbiche-Neves, G., Previattelli, D., Pie, M. R., Duran, A., Suárez-Morales, E., Boxshall, G., Nogueira, M. G. & da Rocha C. E. F. (2014). Historical biogeography of the neotropical Diaptomidae (Crustacea: Copepoda). *Frontiers in Zoology*, 11, 36. <http://www.frontiersinzoology.com/content/11/1/36>.
- Rocha, C. E. F., Iliffe, T. M., Reid, J. W. y Suárez-Morales, E. (2000). *Prehendocyclops* a new genus of the subfamily Halicyclopinae (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopidae) from cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Sarsia*, 85(2), 119-140.

Sharma, P. y Kotov, A. A. (2013). Molecular approach to identify sibling species of the *Ceriodaphnia cornuta* complex (Cladocera: Daphniidae) from Australia with notes on the continental endemism of this group. *Zootaxa*, 3702, 79-89.

Suárez-Morales, E. y Elías-Gutiérrez, M. (1999). Two new *Mastigodiptomus* (Copepoda, Diaptomidae) from southeastern Mexico, with a key for the identification of the known species of the genus. *Journal of Natural History*, 34, 693-708.

Suárez-Morales, E. y Elías-Gutiérrez, M. (2003). Estado actual del conocimiento de los copépodos de aguas continentales de México. En M. T. Barreiro-Güemes, M. E. Meave del Castillo, M. Signoret-Poillon y M. G. Figueroa-Torres (Eds.), *Planctología Mexicana* (pp. 157-170). Ciudad de México, México: Sociedad Mexicana de Planctología.

Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Gómez, S., Perbiche-Neves, G., Previattelli, D., dos Santos-Silva, E., da Rocha, C. E. F., Mercado-Salas, N. F., Marques, T. M., Cruz-Quintana, Y. y Santana-Piñeros, A. M. (2020). En C. Damborenea (Ed.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 1-134). Leiden, Países Bajos: Elsevier.

Suárez-Morales, E., Reid, J. W. y Elías-Gutiérrez, M. (2005). Diversity and distributional patterns of Neotropical freshwater copepods (Calanoida: Diaptomidae). *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 90(1), 71-83.  
van de Velde, I. 1984. Revision of the African species of the genus *Mesocyclops* Sars, 1914 (Copepoda: Cyclopidae). *Hydrobiologia*, 109, 3-66. <https://doi.org/10.1007/BF00006297>

## Capítulo 8 Biodiversidad y vulnerabilidad de Playa del Carmen ante el incremento del nivel medio del mar

### Chapter 8 Biodiversity and vulnerability of Playa del Carmen due to the rise of the mean sea level

RUIZ-RAMÍREZ, Jennifer D.†\*, GUTIÉRREZ-AGUIRRE, Martha A. y FRAUSTO-MARTÍNEZ, Óscar.

*Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingenierías y División de Desarrollo Sustentable*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Jennifer D. Ruiz-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0001-8429-9473, **CVU CONACYT ID:** 96579

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Martha A. Gutiérrez-Aguirre* / **ORC ID:** 0000-0002-9329-820X, **CVU CONACYT ID:** 25926

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Oscar, Frausto-Martínez* / **ORC ID:** 0000-0002-6610-5193, **CVU CONACYT ID:** 288309

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.95.106

J. Ruiz, M. Gutiérrez y O. Frausto

jenifer@uqroo.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

El aumento del nivel del mar es un tema preocupante porque se estima que cerca de 600 millones de personas viven en zonas costeras de menos de 10 m de altura sobre el nivel del mar. México es un país costero que cuenta con una biodiversidad terrestre y acuática muy importante, la cual es rica en endemismos, si a eso sumamos su exposición a los huracanes y al aumento del nivel medio del mar, es lógico que se trabaje de forma multidisciplinaria acerca de su vulnerabilidad ante el cambio climático. Por ello, se eligió la ciudad de Playa del Carmen, conocida como el corazón de la Riviera Maya en el Caribe Mexicano para conocer su vulnerabilidad ante el aumento del nivel del mar, combinado con la biodiversidad acuática de los cenotes que la rodean. Los resultados arrojan una superficie de 19,281 m<sup>2</sup> que sería afectada ante un escenario de inundación a 1 m, que equivale a una pérdida en USD\$ 77 millones; aunado a la existencia de 27 especies de crustáceos y peces que habitan en los cenotes, de los cuales 13 son endémicas. Se concluye que el desarrollo de planes de gestión para adaptar y mitigar el impacto del aumento del nivel del mar en Playa del Carmen requerirá la inclusión de soluciones de ingeniería para proteger la infraestructura en áreas urbanas y turísticas; establecer como prioridad la conservación y restauración de los hábitats naturales, así como la creación urgente de un ANP que incluya la conservación de los cenotes como cuerpos acuíferos, previendo su salinización, y por ende sus especies endémicas, que elevan aún más la biodiversidad del país.

## Adaptación, Acuífero, Cambio climático, Ecología, Caribe mexicano

### Abstract

Sea level rise is a matter of concern because an estimated 600 million people live in coastal areas less than 10 m above sea level. Mexico is a coastal country that has a very important terrestrial and aquatic biodiversity, which is rich in endemic species, if we add to that its exposure to hurricanes and the increase in the mean sea level, it is logical to work in a multidisciplinary way about of their vulnerability to climate change. For this reason, the city of Playa del Carmen, known as the heart of the Riviera Maya in the Mexican Caribbean, was chosen to learn about its vulnerability to rising sea levels, combined with the aquatic biodiversity of the cenotes that surround it. The results show an area of 19,281 m<sup>2</sup> that would be affected in a 1 m flood scenario, which is equivalent to a loss of USD \$ 77 million; coupled with the existence of 27 species of crustaceans and fish that inhabit the cenotes, of which 13 are endemic. It is concluded that the development of management plans to adapt and mitigate the impact of the sea level rise in Playa del Carmen will require the inclusion of engineering solutions to protect the infrastructure in urban and tourist areas; establishing as a priority the conservation and restoration of the natural habitats, as well as the urgent creation of an ANP that includes the conservation of the cenotes as aquifer bodies, anticipating their salinization, and therefore their endemic species, which further elevate the country's biodiversity.

## Adaptation, Aquifer, Climate change, Ecology, Mexican Caribbean

### 8. Introducción

A nivel global, el interés de los estudios sobre el aumento del nivel del mar (SLR, por siglas en inglés) se ha enfatizado en la relación que guarda con el uso costero acelerado (Bi, *et al.*, 2013), en ofrecer opciones de adaptación para ciudades costeras turísticas (Cooper & Lemckert, 2012), y en estimar la extensión espacial susceptible de inundación costera (Kuhn, *et al.*, 2011).

Se estima que cerca de 600 millones de personas vive en una franja costera de menos de 10 m de altura sobre el nivel del mar (McGranahan, *et al.*, 2007) y más de la mitad de la población mundial vive dentro de una franja de 100 km de la línea de costa y se prevé que para el año 2025 el 75% de la población mundial podría habitar en las zonas costeras y en el 2050 alcance una concentración de 9.6 billones de personas (FAO, 2014; Azuz-Adeath y Rivera-Arriaga, 2002).

En México, menos de una cuarta parte de la población vive en las costas, dedicándose a actividades económicas primarias; sin embargo, la dinámica económica del país ha cambiado, y algunas ciudades dedicadas al sector primario, se han convertido al secundario o terciario, por lo que han aumentado las ciudades turísticas, favoreciendo el aumento en el crecimiento urbano y la migración hacia esos centros (León, 2004).

Si este cambio y el proceso se realiza de manera desordenada, causa impactos en las estructuras socioeconómicas y culturales de las poblaciones, la dinámica productiva destruye dunas, manglares y humedales debido a los procedimientos de construcción de proyectos públicos y privados mal planeados y mal ubicados, por las actividades de dragado y relleno, conversión y debilitamiento de playas y dunas propiciando mayor erosión por acción del oleaje, y las interferencias con los patrones normales del traslado de arena por las corrientes marinas (Casco-Montoya, 2004). Esta expansión en las zonas costeras ya es una realidad y ha producido cambios importantes en los usos de suelo, la pérdida de vegetación y la fragmentación de importantes ecosistemas (Zárate-Lomelí, 2004; Flores-Verdugo, *et al.*, 2010; Silva-Casarín, *et al.*, 2012).

Uno de los estados que se dedica fuertemente a la actividad turística es Quintana Roo, el cual es bañado por las aguas del Mar Caribe, posee un litoral que se extiende por 1,176 km, lo que representa el 10.6% del total nacional (INEGI, 2015), sus espacios costeros todavía ofrecen oportunidades de aprovechamiento de largo plazo si se establece una planificación adecuada. Su belleza natural incluye porciones de selva, manglares, lagunas costeras, playas y vegetación de duna costera que están fuertemente ligadas a los arrecifes de coral y los pastos marinos (Hirales-Cota, *et al.*, 2010; INEGI, 2015; Vázquez-Botello, 2008). La biodiversidad se encuentra decretada en 11 Áreas Naturales Protegidas (ANP's), con una superficie total de 312,864.672 ha, de las cuales 90.91% son de competencia estatal y 9.09% son de competencia municipal, con el propósito de proteger diferentes ecosistemas (CONACYT, 2018; Ruiz Ramírez, *et al.*, 2018).

A lo largo del litoral se extiende una delicada franja de playas arenosas, bañadas por aguas transparentes y protegida por una cadena discontinua de arrecifes que forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (la segunda más larga del mundo, con aproximadamente 600 km), la cual se asienta sobre una plataforma continental muy angosta que bordea la costa de la región, un extremo se ubica al noroeste de la Península de Yucatán y el otro extremo hasta el límite sur del Golfo de Honduras (Álvarez-Filip, 2015; Alva-Basurto y Arias-González, 2015; Blanchon, *et al.*, 2010). También se destaca el gran número de áreas naturales protegidas decretadas, y con el mayor número de ordenamientos ecológicos del territorio instrumentados por Entidad (Guido-Aldana, *et al.*, 2009; SECTUR, 2013a).

Sin embargo, el aumento del nivel del mar (ANM) debe ser un tema de alta prioridad para las zonas costeras del Caribe Mexicano donde el turismo domina la economía local y, por ende, la belleza natural que viene a visitar. El IPCC (2014) señala que la vulnerabilidad de un sistema costero (de menos de 10 m de elevación) al aumento del nivel del mar depende de la sensibilidad, la exposición y la capacidad de adaptación de los sistemas naturales y humanos (Campos-Cámara, 2011; IPCC, 2014; Wong, *et al.*, 2014). El escenario a 1m de elevación de ANM para el año 2100, se considera entre los más comúnmente abordados por el IPCC y estudios regionales para el Mar Caribe señalan que podría ser aún más del metro para el mismo año (CEPAL, 2012; Jevrejeva, *et al.*, 2012; Meinshausen, *et al.*, 2011; Rahmstorf, 2007; Schewe, *et al.*, 2011).

Este capítulo se enfoca en analizar la vulnerabilidad de la ciudad de Playa del Carmen, desde el punto de vista urbano turístico y su biodiversidad acuática de los cenotes; ambos expuestos ante el aumento del nivel del mar, resaltando que en este municipio no existe decretada aún un ANP.

## 8.1 Área de Estudio

La ciudad de Playa del Carmen se ubica en el sector oriental de la península de Yucatán, en la región hidrológica RH33. Comprende el litoral y zona próxima a la costa, en un lecho rocoso calizo altamente permeable debido al proceso de karstificación, el cual se refleja en la formación de sistemas de cavernas subterráneas, y una densidad de poljes, úvalas y dolinas. Asimismo, es una zona de contraste altitudinal menor a 20 metros, pero con lineamientos de terrazas y cordones litorales relicto de trasgresión marina. Lo anterior imprime un microrelieve caracterizado de terrazas y flancos abruptos, zonas de deficiente drenaje y sistemas de playas bajas arenosas típicas del norte de Quintana Roo.

El área de estudio se ubica en el noreste del estado de Quintana Roo, entre los municipios de Tulum, Puerto Morelos y José María Morelos. El municipio de Solidaridad tiene un área de 2205 km<sup>2</sup> y una extensión de litoral de 80 km, altamente densificado. En específico, la ciudad de Playa del Carmen, es la cabecera del municipio de Solidaridad, Quintana Roo, localizado al sureste de México, y al sur de Cancún; se ubica en las coordenadas 20°38'19" N y 87°05'01" O.

Su principal actividad económica es el turismo, generando empleos en la industria de la construcción y de servicios. Es la ciudad central de la Riviera Maya; entre su población residente se encuentran extranjeros (SECTUR, 2013b).

La ciudad costera de Playa del Carmen, que también es conocida como el corazón de la Riviera Maya, es un atractivo destino turístico de sol y playa; su oferta hotelera es mayor a la de Cancún, al tener 44,000 habitaciones (10,000 más que Cancún); sus visitantes provienen de Estados Unidos, Canadá y Europa; y su derrama económica anual, supera los USD\$ 8,000 millones (APIQROO, 2018; Góchez, 2015; Ruiz Ramírez, et al., 2018; SEDETUR, 2017).

## 8.2 Características físico-geográficas de solidaridad – Riviera Maya

Actualmente el Municipio de solidaridad colinda al norte con el municipio de Puerto Morelos, al noroeste con el municipio de Lázaro Cárdenas; al este con el Mar Caribe y el municipio de Cozumel; y al sur con el municipio de Tulum (H. Gobierno Municipal de Solidaridad, 2013; SECTUR-Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2016). Tiene una población aproximada de 234,613 habitantes (CONAPO, 2019).

Como la mayor parte de la Península de Yucatán, el territorio de Solidaridad es una plataforma carbonatada plana, con un ligero declive hacia el mar a manera de terrazas, barras y playas bajas arenosas. El municipio se encuentra sobre una planicie de origen tectónico, las máximas elevaciones son inferiores a los 25 metros sobre el nivel del mar. Estas elevaciones disminuyen hacia la zona de la costa. La altitud media del municipio de Solidaridad sobre el nivel del mar es de 10 metros. Esta plataforma se encuentra densamente kárstificada (Frausto, et al. 2018), con presencia de dolinas, úvalas y poljes, lo cual le imprime un carácter irregular a su relieve que se manifiesta en zonas de deficiente drenaje (Figura 1).

### Figura 1. Litología, principales estructuras geológicas y depresiones kársticas.

El clima del Municipio de Solidaridad es AX'(w2)iW'' de cálido subhúmedo con lluvias en el verano, con una temperatura media anual de 26°C; la temperatura máxima promedio es de 33°C, presente en los meses de abril a agosto, la temperatura mínima promedio es de 17°C en el mes de enero. Por su parte la precipitación media anual es alrededor de 1300 mm, la lluvia está presente durante todo el año, pero es más abundante de junio a octubre (Chimal, 2015). De acuerdo con el análisis de huracanes en la región, ésta se encuentra en la zona de mayor recurrencia de la península, afectando centros urbanos como Cancún, Cozumel, Playa del Carmen y Puerto Morelos, con un nivel de peligro extremo de impacto. Por otra parte, se presentan los llamados nortes entre los meses de octubre a enero, producto del choque de las masas frías del norte con el aire tropical del país que ocasiona la lluvia invernal y que en algunos años llega a ser tan elevada que abarca más del 15% del total anual (Ihl y Frausto, 2014).

Esta zona forma parte de la Región/Cuenca Hidrológica RH32 conocida como Yucatán Norte. La roca caliza, sumamente permeable, que forma el suelo de esta región no permite la existencia de corrientes de aguas superficiales. Por ello, se cuenta con innumerables depresiones kársticas inundadas conocidas localmente como "cenotes", en la mayor parte de los casos, evidencian complejas redes fluviales subterráneas, que en ocasiones se abren paso hasta el mar. La profundidad de los acuíferos varía de 5 a 10 metros, pero también existen de 1 metro con un espesor promedio de 19 metros. Los tipos de aguas predominantes son las sódicocloruradas y clorurada-sulfatada-sódica (H. Ayuntamiento de Solidaridad, 2016).

Los suelos en gran parte de la zona costera de la Riviera Maya son generalmente más pobres que los del resto de la Península; son también más jóvenes y poco evolucionados, pedregosos, someros, fácilmente degradables y con potencial forestal. Dichos suelos corresponden a los tipos litosol y rendzina con clase textural media. El subsuelo está íntegramente formado por calizas blancas, arenosas, no mineralizadas llamadas sascab, que por intemperismos se endurecen y forman placas en la superficie conocidas como lajas. La formación de un horizonte arcilloso es común en los suelos antiguos, horizonte que aflora cuando las quemadas o la intemperie destruyen la capa de suelo negro, dando lugar a los suelos rojos de tipo chac-luum o k'ankab.

Ambos suelos son deficientes en manganeso y potasio. Solamente en los suelos bajos, y debido al arrastre coluvial desde zonas más altas, se forman suelos profundos, pero de textura muy fina y, por lo tanto, inundables y pesados, llamados ak'alches, que pueden secarse y agrietarse durante la época de secas. Los suelos inundables de las marismas y humedales, tipo margas o de turbera, descansan igualmente sobre la roca calcárea y han sido poco estudiados (Figura 2). (SECTUR-Gobierno del Estado de Quintana Roo 2011-2016, 2013). Una de las características de esta zona es la gran diferenciación edáfica en los ambientes kársticos palustres y costeros, los cuales muestran gran variabilidad espacial de geoformas, suelos y formaciones vegetales (Fragoso, et al. 2020).

**Figura 2.** Principales tipos de suelos.

La selva baja perennifolia y el manglar son la vegetación primaria representativa, altamente modificada y cuya evidencia es la vegetación secundaria arbórea y arbustiva. El uso del suelo se asocia a la agricultura de temporal, pastizal cultivado, así como la expansión de la mancha urbana de la costa hacia el interior, y a lo largo del litoral, del territorio municipal. Se reconocen los cuerpos de agua temporales con una extensión significativa de terrenos sujetos a inundación (Figura 3).

**Figura 3.** Vegetación y uso del suelo.

### **8.3 Características de la biodiversidad acuática del Municipio de Solidaridad**

El dominio de suelo joven y de origen orgánico en la región, propicia el colapso de bóvedas terrígenas a través de la interconexión de corrientes subterráneas que, por la influencia marítima, forman ambientes distintos entre sí y altamente variables, tanto en una escala temporal, como espacial.

La variabilidad ambiental en estos ecosistemas se genera por los cambios en la concentración salina (como producto de los flujos de agua desde el interior del continente hacia el mar o viceversa), los cambios en los gradientes de profundidad y la interconexión (o falta de) entre las corrientes subterráneas y los sistemas superficiales.

Con estas condiciones, se generan los ecosistemas acuáticos dominantes en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, los cuales son conocidos como anquihalinos, troglobios, dulceacuícolas y oligohalinos (Álvarez e Iliffe, 2008).

En este tipo de ambientes, los organismos dominantes por su diversidad y distribución son los peces y crustáceos. Estos organismos acuáticos han sido los más frecuentemente estudiados y son importantes ecológicamente, debido a que, por los inventarios existentes hasta hoy, muestran un alto grado de endemismo.

### **8.4 Método**

Para obtener las áreas susceptibles de inundación por aumento del nivel del mar, se utilizaron:

### **8.5 Datos del Modelo Digital de Elevación del terreno**

Los modelos digitales de elevación (MDE) provienen de mediciones LiDAR de tipo terreno en formato cartográfico en escala 1: 10, 000 con resolución de 5 m. obtenidos a través del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); los MDE están referenciados al Datum Horizontal Marco de Referencia Terrestre Internacional de 1992 Época 1988 (ITRF92) y al Elipsoide Sistema de referencia geodésico 1980; y disponibles en [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) (previa solicitud). Se importaron y analizaron con el programa TNT mips profesional para caracterizar las condiciones locales del terreno.

## 8.6 Datos de la superficie urbanizada e infraestructura

Se seleccionó una imagen de Google Earth para la ciudad de Playa del Carmen. La imagen de Color Verdadero fue descompuesta en sus componentes RGB para ser utilizadas en un proceso de clasificación no supervisado (Smith 2006). Se utilizó el algoritmo K-means (Tso y Mather, 2009) para generar 8 clases del terreno y agrupar de forma visual en una imagen binaria (1, 0) que muestra las áreas urbanizadas e infraestructura turística (clase 1) mientras que se omite vegetación, cuerpos de agua y tierra expuestos (clase 0). El área urbanizada se segmentó según el MDE en tres zonas de elevación: 1)  $> 0\text{m}$  a  $\leq 1\text{m}$ , 2)  $> 1\text{m}$  a  $\leq 2\text{m}$  y 3)  $> 2\text{m}$  a  $\leq 3\text{m}$  y en cada zona se calculó el área total de la infraestructura ( $\text{m}^2$ ).

Una vez definida la superficie, se realizó una búsqueda en internet de las páginas inmobiliarias, seleccionando aquellas que tuvieran frente de playa, y que se localizaran a lo largo de la costa. Para averiguar el valor promedio de bienes raíces (dólares por  $\text{m}^2$ ) en cada sitio de estudio, se determinaron precios promedio de venta por metro cuadrado de las propiedades (sin considerar la inflación). Este enfoque puede utilizarse para desarrollar indicadores de actividad económica (McLaren y Shanbhogue, 2011) y desarrollar herramientas que ayuden a pronosticar los precios de la vivienda y las ventas (Wu y Brynjolfsson, 2015). Para evaluar los impactos económicos de los sitios debido a un posible riesgo de inundación, se consideraron las áreas susceptibles que los MDE revelaron de 1 a 3 m de elevación.

Finalmente, se expusieron los escenarios de inundación de 1 a 3 m, estimando los valores de las propiedades. Las estimaciones de inundación no incluyeron los procesos sedimentarios debido a la dinámica costera.

## 8.7 Datos de la geoposición de las especies.

Se recopilaron datos para definir los puntos (georreferencia) en que se ha registrado de la fauna dominante en los sistemas acuáticos del Municipio de Solidaridad, considerando revisiones recientes (Álvarez e Iliffe, 2008; Álvarez, Iliffe, Benítez, Brankovits y Villalobos, 2015; Gamboa-Pérez, 1992)

Posteriormente, para el desarrollo de la cartografía de las especies de crustáceos y peces se migró la base de datos descriptiva al sistema de información geográfica ArgGis 10.4., con lo anterior se reconocieron las relaciones espaciales de distribución vinculando los terrenos sujetos a inundación, depresiones y altitud. Asimismo, su ubicación con respecto a la línea de costa. Se diferenciaron los mapas de distribución en las dos categorías de análisis (crustáceos y peces).

## 8.8 Resultados

### 8.9 Aumento del nivel del mar para la región del Mar Caribe

El aumento del nivel del mar en las costas se reconoce como uno de los resultados más directos del calentamiento global. En los últimos 100 años, se ha incrementado en promedio de 1 a 2 mm por año y se anticipa que esas tasas se acelerarán en las próximas décadas (Hernández Arana, 2007). Para la región del Mar Caribe, se encontró una tasa promedio de  $2.0 \text{ mm}^{-1}$ , con datos obtenidos de la serie de tiempo 1993-2013 de los altímetros TOPEX/Poseidón, Jason-1 y OSTM/Jason-2 (Ruiz-Ramírez et al., 2014). Sin embargo, esta tendencia va en aumento pues al analizar la serie de tiempo de 1993-2014 la tasa registraba  $2.3 \text{ mm}^{-1}$  y la serie de tiempo de 1993-2015 registró una tasa de  $2.8 \text{ mm}^{-1}$  (Ruiz Ramírez, et al., 2018).

### 8.10 Elevaciones

En el Modelo Digital de Elevación (MDE) se observan altitudes medias (msnm) de 6 m para Playa del Carmen. El perfil topográfico señalado en la imagen con las letras A y B (Línea de Costa) revela una zona contigua marina de alrededor de 500 m de longitud con una altura menor a 3 m de elevación. A partir de los 500 m de la línea de costa, se inicia una elevación del terreno que supera los 8 m de altura y se extiende hasta cerca de 1 km de distancia (Fig. 4).

**Figura 4.** Perfil topográfico del terreno en Playa del Carmen para el transecto resaltado en el recuadro.

### 8.11 Costos de infraestructura

Los costos por metro cuadrado de construcción, se reporta como el costo promedio neto de construcción, ya que si el desarrollo inmobiliario posee ciertos atributos (tipo de piso, muebles, accesorios de marca o de algún arquitecto de renombre), los costos se triplican o quintuplican. En el mercado de bienes raíces de 2016, Playa del Carmen tenía un costo por metro cuadrado ( $m^2$ ) de construcción de USD\$ 4,000 por  $m^2$ .

### 8.12 Vulnerabilidad ante el incremento del nivel del mar

La población permanente en la costa representa el 67.6% del total de la población del estado de Quintana Roo, principalmente por las necesidades de mano de obra relacionadas con las actividades económicas destinadas al turismo. Sin embargo, Playa del Carmen es la segunda localidad más poblada del estado con 234,613 habitantes, pero con un ritmo de crecimiento poblacional mayor al de Cancún. El riesgo para la infraestructura ante los fenómenos hidrometeorológicos y de aumento del nivel del mar se incrementa por la topografía relativamente plana de la Península de Yucatán y su poca elevación sobre el nivel del mar. Estas características de la zona y las alteraciones al sistema duna-playa han ocasionado desde el 2006, el vertimiento de arena en dos ocasiones, con el fin de rellenar las playas (Martell-Dubois, *et al.*, 2012), considerando un costo anual actual por metro cúbico ( $m^3$ ) de USD\$ 10 (Mariño-Tapia, *et al.*, 2012) que podría incrementarse sustancialmente por la demanda de sitios y la reducción de bancos de arena cercanos a las islas de Mujeres y Cozumel. Bajo este escenario general, para Playa del Carmen y Quintana Roo, la vulnerabilidad se incrementa principalmente por: 1) el crecimiento de la población y de la infraestructura costera; 2) el posible aumento de frecuencia e intensidad de los huracanes en corto plazo; y 3) por el incremento del nivel del mar a un largo plazo.

Las superficies afectadas en infraestructura por metro cuadrado, varía según el escenario estimado del nivel medio del mar. Tomando el escenario a 1 m de elevación, Playa del Carmen cuenta con una superficie de 19,281  $m^2$ , que sería afectada, con un valor estimado de USD\$ 77 millones, marcado en color rojo (Tabla 1, Fig. 5). El escenario a 2m de elevación, afectaría a una superficie 64,649  $m^2$ , con un valor estimado de USD\$ 258 millones, marcado en amarillo. El escenario a 3m de elevación afectaría a una superficie de 90,895  $m^2$  con un valor estimado de USD\$ 363 millones, marcado en verde. Cabe mencionar que la estimación de la superficie en infraestructura afectada no considera los posibles niveles de construcción, ni mobiliario o equipos; y cabe recordar que las intervenciones de vertimientos de arena en sus playas se están convirtiendo en una constante para mantener atractivas las actividades económicas.

**Tabla 1.** Superficie de afectación con base en el Modelo Digital de Elevación (MDE)

**Figura 5.** Playa del Carmen, resaltando la infraestructura marcada en rojo para 1 m, en amarillo para 2 m y en verde para 3 m, de elevación.

Cabe resaltar que esta ciudad turística y su infraestructura hotelera están ubicadas en áreas de posible inundación permanente por el incremento del nivel del mar y se esperaría que las medidas de adaptación futura, considere implementar estrategias locales acordes a sus características particulares.

### 8.13 Biodiversidad

Probablemente, alrededor de 27 especies que a la fecha han sido registradas en los sistemas acuáticos del Municipio de Solidaridad (Tabla 2; Figs. 5 y 6) se verían afectadas con los cambios en el nivel del mar en el municipio. Aunque aún se desconocen las estrategias adaptativas precisas que cada especie podría enfrentar con un incremento en el nivel del mar (porque la gran mayoría de las especies registradas en la región se han descrito recientemente y se desconoce su biología básica) muy probablemente aquellas con escasa capacidad de tolerar cambios ambientales como producto de las fluctuaciones en la salinidad (estenohalinas), serán las más vulnerables.

**Tabla 2.** Inventario de crustáceos y peces habitantes de sistemas acuáticos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México. Las señaladas con un asterisco, se consideran especies endémicas.

**Figura 6.** Crustáceos y peces habitantes de sistemas acuáticos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México.

Para el municipio de Solidaridad está planteado en un futuro que se decrete un “Área de Protección Especial”, que está contemplado en el Programa de Desarrollo Urbano de Playa del Carmen (2010), con el propósito de que exista un ANP que brinde servicios ambientales. En la actualidad se cuenta con un reglamento municipal que promueve la protección de las actividades en cenotes, cuevas y grutas, siendo una de ellas la exploración, el desarrollo de actividades de conservación y protección (Gobierno de Quintana Roo, 2017).

#### 8.14 Agradecimiento

La primera autora agradece la beca PRODEP otorgada a través de la Universidad de Quintana Roo (UQROO) para sus estudios de doctorado en el CINVESTAV-Unidad Mérida.

#### 8.15 Conclusiones

Este capítulo evaluó la vulnerabilidad de la ciudad turística de Playa del Carmen y su biodiversidad acuática de sus principales cenotes, ante el aumento del nivel del mar. La evaluación económica, considerando los costos de construcción, revela que la ciudad de Playa del Carmen es vulnerable a los escenarios de ANM a 1, 2 y 3 m con un impacto económico de USD \$ 77, USD\$ 258 y USD \$ 363 millones, respectivamente; siendo la baja elevación, la extensa infraestructura turística y el valor inmobiliario los que contribuyen a esta vulnerabilidad.

El impacto económico colectivo a un m de ANM, en un escenario esperado en este siglo, es de USD \$ 77 millones; las estimaciones utilizando costos de construcción pueden ayudar a determinar el impacto económico de las inundaciones para establecer una lista de prioridades por atender para mitigar el impacto socioeconómico ante escenarios de cambio climático.

La vulnerabilidad de las regiones costeras del Caribe mexicano ante el ANM apenas comienza a vislumbrarse a través de las pérdidas económicas que han sufrido las inversiones en la zona costera después de los desastres naturales en las últimas dos décadas, aunado a las tasas de crecimiento de la población local y regional y la creciente demanda de infraestructura, que indica la necesidad de futuras inversiones a medida que aumenta también el número de visitantes.

El desarrollo de planes de gestión para adaptar y mitigar el impacto del ANM en Playa del Carmen requerirá la inclusión de soluciones de ingeniería (carreteras elevadas, construcción en áreas elevadas, construcción de muelles alternos); enfocarse en zonas no desarrolladas para limitar el desarrollo turístico y urbano en zonas de alto riesgo; proteger la infraestructura en áreas urbanas y turísticas, establecer como prioridad la conservación y restauración de los hábitats naturales (vegetación de dunas costeras, humedales y sistemas arrecifales), que funcionan como barreras físicas y amortiguadores; así como la creación urgente de un ANP que incluya la conservación de los cenotes como cuerpos acuíferos, previniendo su salinización, y por ende sus especies endémicas, que elevan aún más la biodiversidad del país.

Cualquier programa de adaptación debe ir ligado a la difusión de información para integrar a la sociedad y a los usuarios sobre la importancia del mantenimiento de los servicios ambientales, incorporando también programas de prevención de descarga de contaminantes al subsuelo, manejo de residuos sólidos y monitoreo en la calidad del agua.

#### 8.16 Referencias

Alva-Basurto J. C. y Arias-González, J. E. (2015). Arrecifes de coral, servicios ecosistémicos y cambio climático. *La Jornada ecológica*. 199, 5-6.

- Álvarez, F. y Iliffe, T. (2008). Fauna anquihalina de la península de Yucatán. En F. Álvarez y G. Rodríguez-Almaraz (Eds.), *Crustáceos de México: Estado Actual de su Conocimiento* (pp 379-418). Monterrey, Nuevo León: Dirección de Publicaciones Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Álvarez, F. Iliffe, T. Benítez, S. Brankovits, D. y Villalobos, J. (2015). New records of anchialine fauna from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Check List the journal of biodiversity data*, 10, 1505.
- Álvarez Filip, L. (2015). El arrecife mesoamericano, un paraíso que peligra por su belleza. *La Jornada ecológica*, 199, 3-4.
- APIQROO. (2018). Cozumel se coloca, por segundo año consecutivo, como líder en la industria de cruceros en México y Centroamérica. Administración Portuaria Integral de Quintana Roo S.A. de C.V. Gobierno del Estado de Quintana Roo 2016-2022. Recuperado el día 17, septiembre, 2018, de <http://www.apiqroo.com.mx/cozumel-se-coloca-por-segundo-ano-consecutivo-como-lider-en-la-industria-de-cruceros-en-mexico-y-sudamerica/>.
- Azuz Adeath, I. y Rivera Arriaga, E. (ed.). (2002). Resultados del Seminario/Taller La sustentabilidad costera. Comité Nacional Preparatorio para la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo. Campeche: Editorial Departamento de difusión y publicaciones, Centro EPOMEX, Universidad de Campeche
- Bi, X., Q. Lu y Pan, X. (2013). Coastal use accelerated the regional sea-level rise. *Ocean & Coastal Management*, 82, 1-6
- Blanchon, P., R. Iglesias-Prieto, E. Jordán Dahlgren y Richards, S. (2010). Arrecifes de coral y cambio climático: vulnerabilidad de la zona costera del estado de Quintana Roo. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Ed.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (p. 229-248). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL.
- Campos Cámara, B.L. (2011). Presión turística y urbanística: vulnerables al cambio climático en el Caribe mexicano. *Quivera*, 13 (2), 1-13
- Casco Montoya, R. (2004). La zona costera de México: definición. En: Rivera Arriaga, E., G.J. Villalobos, I. Azuz Adeath, y F. Rosado May (Eds.). 2004. *El Manejo Costero en México* (pp. 1-4). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- CEPAL. (2012). Efectos del Cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Riesgos. Organización de Naciones Unidas – CEPAL.
- Chimal, A. (2015). Análisis del clima en el norte de Quintana Roo y su prospección en el contexto de la variabilidad climática. Tesis de licenciatura, Universidad de Quintana Roo, Cozumel, México.
- CONACYT. (2018). Áreas Naturales Protegidas del Estado de Quintana Roo. Recuperado el 23, mayo, 2018, de <http://conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/anpl/quintana-roo>
- CONAPO. (2019). Proyecciones de la Población de los municipios de México, 2015-2030. Consejo nacional de población – Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/es/articulos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030-215756?idiom=es>
- Cooper, J.A.G. y Lemckert, C. (2012). Extreme sea-level rise and adaptation options for coastal resort cities: a qualitative assessment from the Gold Coast, Australia. *Ocean & Coastal Management*, 64, 1-14
- FAO. (2014). The state of world fisheries and aquaculture, opportunities and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 243 p. Recuperado el 7, noviembre, 2015, de <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>.

- Flores Verdugo, F.J., P. Casasola, G. de la Lanza-Espino, y Agraz Hernández, C. (2010). El manglar, otros humedales costeros y el cambio climático. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 165-188). Campeche: SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.
- Fragoso, P., A. Pereira Corona; F. Bautista Zúñiga; B. Prezas Hernández; N. A. Reyes (2020). Soils in extreme conditions: the case of the catenas karst-marsh-coastline in the Mexican Caribbean. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72 (2), 202. En:<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/content/article/381-sitio/resumenes/cuarta-epoca/7202/2193-7202-7-fragoso-servon>
- Frausto, O., Arroyo Arcos, L., Vázquez Sosa, A., Colín Olivares, O., Alvarado, R., Camacho Sanabria, J., Arriaga Rodríguez, J. y L. Velázquez Haller (2018). Diagnóstico de la ciudad de Playa del Carmen. En Velázquez Torres, D. (Coord.). *Diagnóstico de ciudades costeras ante huracanes para la construcción de resiliencia* (pp. 91 – 124). Quintana Roo: UQROO – CONACYT.
- Gamboa-Peréz H.C. (1992). Peces continentales de Quintana Roo. En D. Navarro y E. Suárez Morales (Eds.), *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an Quintana Roo, México* (pp 305-360). Quintana Roo: Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Gobierno de Quintana Roo (2017). Reglamento de actividades en cenotes, cavernas y grutas del Municipio de Solidaridad, Periódico oficial del gobierno de Quintana Roo. Recuperado de [https://www.qroo.gob.mx/sites/default/files/unisitio2018/10/PeriodicoOficial\\_EXTRAORDINARIO\\_2017-11-21.pdf](https://www.qroo.gob.mx/sites/default/files/unisitio2018/10/PeriodicoOficial_EXTRAORDINARIO_2017-11-21.pdf)
- Góchez, A. (2015). Ciudad con la mayor tasa de crecimiento en Latinoamérica. Recuperado el día 24, noviembre, 2016, de <http://www.razon.com.mx/spip.php?article277373>
- Guido Aldana, P., A. Ramírez Camperos, L. Godínez Orta, S. Cruz León y A. Juárez León. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20, 41-56
- H. Ayuntamiento de Solidaridad (2016) “Plan Municipal de Desarrollo, Solidaridad 2016-2018). H. Ayuntamiento de Solidaridad. Recuperado el día 16, agosto, 2017, de <http://municipiodesolidaridad.com/wp-content/uploads/2017/03/pmd.pdf>
- Hernández Arana, H. (2007). Calentamiento global y zonas costeras: peligrosa combinación. *Ecofronteras*, 31, 10-13.
- Hirales-Cota, M., J. Espinoza-Avalos, B. Schmook, A. Ruiz-Luna, R. Ramos-Reyes. (2010). Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias Marinas*, 36(2); 147-159.
- Ihl, T & Frausto, O. (2014). El cambio climático y los huracanes en la Península de Yucatán. En Frausto, O. (Coord). *Monitoreo de riesgos y desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático* (pp. 91). Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo.
- INEGI. (2015). Superficie de Quintana Roo. Recuperado el día 14, abril, 2015, de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/>
- INEGI (2018). Carta Geológica 1:250000, Cozumel. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2018a). Carta edafológica 1:250000, Cozumel. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2018b). Carta de Vegetación y uso del suelo 1:250000, Cozumel. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

- IPCC. (2014). Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado el día 23, noviembre, 2018, de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap5\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap5_FINAL.pdf)
- Jevrejeva, S., Moore, J.C., and Grinsted, A. (2012). Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 80-81, 14-20.
- Kuhn, M., D. Tuladhar y R. Corner. (2011). Visualising the spatial extent of predicted coastal zone inundation due to sea level rise in south-west Western Australia. *Ocean & Coastal Management*, 54, 796-806
- León, C. (2004). Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. En Rivera Arriaga, E., G.J. Villalobos, I. AzuzAdeath, y F. Rosado May (Eds.). *El Manejo Costero en México* (pp. 5-26). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. México.
- Mariño Tapia, I., Mendoza Baldwin, E., Martell Dubois, R., Félix Delgado, A., Enriquez Ortiz, C., Escalante Mancera, E., Ruiz Rentería, F., González Leija, M., Uc Sánchez, E. y R. Silva Casarín. (2012). La erosión de la playa de Cancún, origen y acciones para su mitigación. *Innovación para la vinculación, FOMIX-QUINTANA ROO*. 2, 43-50
- Martell Dubois, R., Mendoza Baldwin, E., Mariño Tapia, I, Silva Casarín, R. y E. Escalante Mancera. (2012). Impactos de corto plazo del huracán Dean sobre la morfología de la playa de Cancún, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 3(4), 89-111.
- McGranahan, G., Balk, D. and Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19 (1), 17-37.
- McLaren, N. and R. Shanbhogue. (2011). Using Internet Search Data as Economic Indicators, Bank of England, Quarterly Bulletin No. 2011 Q2, 7 p.
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J.F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., and van Vuuren, D.P.P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 213-241.
- Programa de Desarrollo Urbano de Playa del Carmen. (2010). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Playa del Carmen, Municipio Solidaridad 2010-2050. Recuperado el día 18, septiembre, 2018, de <http://seduvi.qroo.gob.mx/pdus/25PDU%20CENTRO%20DE%20POBLACION%20PLAYA%20DEL%20CARMEN%2020%20DIC%202010.pdf>
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 315, 368 – 370.
- Ruiz-Ramírez, J.D., J.I. Euán-Ávila y E. Torres-Irineo. (2014). Tendencias del nivel del mar en las costas del Caribe mexicano. *European Scientific Journal*, 10 (20), 86-96.
- Ruiz-Ramírez, J. D., López Montejo, G.D. y Cabrera Guillermo, R.J. (2018). Manglares, desarrollo turístico y cambio climático en Playa del Carmen, corazón del Caribe mexicano. *Cuadernos de Biodiversidad*, 55, 28-40.
- Schewe, J., Levermann, A. and Meinshausen, M. (2011). Climate change under a scenario near 1.5°C of global warming: monsoon intensification, ocean warming and steric sea level rise. *EarthSystem Dynamics*, 2, 25-35.
- SECTUR. (2013a). Agendas de competitividad de los destinos turísticos de México 2013-2018: Cancún, Quintana Roo. Recuperado el día 13, julio, 2016, de <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cancun.pdf>

SECTUR. (2013b). Agendas de competitividad de los destinos turísticos de México. Estudio de Competitividad Turística del destino Riviera Maya. Quintana Roo: Universidad de Quintana Roo.

SECTUR-Gobierno del Estado de Quintana Roo (2013) “Agenda de competitividad de los destinos turísticos de México: Estudio de competitividad turístico del destino Riviera Maya”, SECTUR-Gobierno del Estado de Quintana Roo 2011-2016. Universidad de Quintana Roo. Recuperado el día 16, agosto, 2017, de <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Riviera-Maya.pdf>.

SEDETUR. (2017). Reporte anual de turismo Quintana Roo 2017. Secretaría de Turismo. Gobierno del Estado de Quintana Roo 2016-2022. 35 p. Recuperado el día 7, noviembre, 2018, de <http://caribemexicano.travel/ARCHIVOS/REPORTE%20TURISMO%202017.pdf>.

Silva Casarín, R., G.R. Martínez, I. Mariño-Tapia, G.P. Vanegas, E.M. Baldwin, and E.E. Mancera. (2012). Manmade Vulnerability of the Cancun Beach System: The Case of Hurricane Wilma. *Clean Soil Air Water*, 40, 911–919.

Smith, R.B. (2006). Image classification. Lincoln, Nebraska: MicroImages, Inc.

Tso, B., and P.M. Mather. (2009). Classification methods for remotely sensed data. Florida: CRC Press Taylor and Francis Group.

Vázquez Botello, A. (coord.). (2008). Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe final INE/A1-051/2008. México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Wong, P.P., I.J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K.L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger, (2014). Coastal systems and low-lying areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 361-409) [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. United Kingdom and USA: Cambridge University Press

Wu, L. and E. Brynjolfsson. (2015). The Future of Prediction: How Google Searches Foreshadow Housing Prices and Sales. In. A. Goldfarb, S.M. Greenstein, and C.E. Tucker (Ed). *Economic Analysis of the Digital Economy* (pp. 89 – 118). Chicago: University of Chicago Press

Zárate Lomelí, D. (2004). Instrumentos para la gestión y el manejo de la zona costera de México. En Rivera Arriaga, E., G.J. Villalobos, I. Azuz Adeath, y F. Rosado May (Eds.). *El Manejo Costero en México* (pp 39-50). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. México.

## Capítulo 9 Biopolímeros: de principio a fin

### Chapter 9 Biopolymers: from beginning to end

RODRIGUEZ-GOMEZ, Divanery\*†, LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia, ALPIZAR-NEGRETE, Ana Guadalupe y CALIXTO-OLALDE, Ma. Elena

*Coordinación de Ingeniería de Materiales y Coordinación de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5. Colonia El Copal, C.P. 36821, Irapuato, Guanajuato, MÉXICO.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Divanery, Rodriguez-Gomez, Carcamo-Solis* / **ORC ID:** 0000-0002-4457-5338, **CVU CONACYT ID:** 131211

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Varinia, López-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0002-0948-9960, **CVU CONACYT ID:** 39343

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Ana Guadalupe, Alpizar-Negrete* / **ORC ID:** 0000-0002-4810-1033, **CVU CONACYT ID:** 704542

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Ma. Elena, Calizto-Olalde* / **ORC ID:** 0000-0001-8203-3014, **CVU CONACYT ID:** 82367

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.107.129

D. Rodríguez, V. López, A. Alpizar y M. Calixto

macalixto@itesi.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

## Resumen

Los polímeros naturales o biopolímeros, se han posicionado como la mejor opción para reducir los problemas de contaminación originados por el uso de polímeros sintéticos. En este capítulo se muestra que existe una extraordinaria variedad de biopolímeros, que pueden ser obtenidos de diferentes fuentes naturales y que son clasificados de acuerdo con su origen, funcionalidad, carga, y estructura. En cuanto a los métodos de obtención, se ha encontrado que los biopolímeros producidos por microorganismos presentan ventajas a los obtenidos por plantas. Para su producción biotecnológica, existen una serie de variables que deben ser ajustadas de acuerdo al tipo de microorganismo productor y a las propiedades físicas del polímero a obtener, las cuales definirán sus diversas aplicaciones, estas variables son: pH, temperatura, composición del medio de cultivo, fuente de carbono, agitación, aireación, entre otras. Para entender la etapa final de los biopolímeros, los cuales deberían cumplir con los requisitos relacionados con la biodegradabilidad y el compostaje para poder ser considerados materiales de bajo o nulo impacto ecológico. Se revisa también la tendencia que estos materiales tendrán en torno a sus aplicaciones y el mercado.

## Biopolímeros, Bioplásticos, Microorganismos productores, Biodegradabilidad

### Abstract

Natural polymers or biopolymers have been positioned as the best option to reduce pollution problems caused by the use of synthetic polymers. This chapter shows that there is an extraordinary variety of biopolymers, which can be obtained from different natural sources and which are classified according to their origin, functionality, charge, and structure. Regarding the methods of obtaining, it has been found that the biopolymers produced by microorganisms present advantages to those obtained by plants. For its biotechnological production, there are a series of variables that must be adjusted according to the type of producing microorganism and the physical properties of the polymer to be obtained, which will define its various applications, these variables are: pH, temperature, composition of the culture medium, carbon source, agitation, aeration, among others. To understand the final stage of biopolymers, which must meet the requirements related to biodegradability and composting to be considered materials of low or zero ecological impact. The trend that these materials will have around their applications and the market is also reviewed.

## Biopolymers, Bioplastics, Producing microorganisms, Biodegradability

### 9. Introducción

Ante la creciente preocupación por la contaminación del post consumo de los plásticos y su uso extendido, ha provocado problemas de contaminación ambiental. Por lo que, la comunidad científica ha buscado alternativas amigables con el medio ambiente para poder remplazar su uso. Esta búsqueda ha llevado a la caracterización de nuevos materiales con propiedades similares a los plásticos, pero sin el consecuente daño.

Los biopolímeros sintetizados por organismos de manera natural cumplen diversas funciones biológicas vitales como; la preservación del material genético (ácidos nucleicos), la estabilidad celular y metabólica de la célula (proteínas), y el almacenamiento de energía (polisacáridos). Esta diversidad de materiales con propiedades fisicoquímicas particulares permite que actualmente, estén siendo aprovechados por diferentes sectores; salud, alimentario, farmacéutico y plástico entre otros. Es importante conocer la gran diversidad de biopolímeros que existen, así como las diferentes formas de obtenerlos, del mismo modo se han hecho diversos estudios para demostrar la biodegradabilidad de los mismos. La gran cantidad de información que ha surgido, llega a generar confusión en algunos conceptos relacionados con los procesos obtención y descomposición por lo que serán consideradas la definición de éstos.

Este capítulo pretende realizar la presentación de información sobre los biopolímeros en diferentes secciones que muestren la clasificación de éstos materiales de acuerdo a su origen y composición, y con ello conocer las diferentes propiedades que estos presentan. Así como, los métodos de obtención de estos materiales, en los que se puede visualizar las principales variables involucradas, las diferentes fuentes de carbono que permiten la revalorización de residuos agroindustriales y la diversidad de microorganismos productores, esta información permite visualizar el gran esfuerzo que se está realizando en buscar las condiciones más adecuadas, que permitan hacerlos competitivos en sus diferentes aplicaciones. También se presenta información en la que se establece la relación entre la estructura-propiedades y sus aplicaciones, estos materiales presentan propiedades, que para algunas familias son capaces de igualar o mejorar propiedades mecánicas que permiten ser una alternativa a los plásticos sintéticos, con el plus de la biodegradabilidad, lo cual nos lleva a la sección de la etapa final de los biopolímeros, la cual presenta la forma en la cual se lleva a cabo el proceso de transformación de los biopolímeros en compuestos de bajo impacto ecológico y que además permite ser aprovechado para la generación de productos, como el biogás y minerales que enriquecen el suelo. Se incluye una sección que se analiza la tendencia de estos materiales, que se pretende sean una alternativa los polímeros sintéticos.

### 9.1 Definición de Biopolímeros

Los polímeros naturales o biopolímeros son compuestos sintetizados por los seres vivos y cumplen funciones biológicas (como el caso de las proteínas, ácidos nucleicos), estructurales (polisacáridos) y de defensa o mantenimiento de la actividad acuosa (biopelículas). Las fuentes naturales de biopolímeros abarcan diversos grupos biológicos (algas, plantas, animales, bacterias y hongos). En la actualidad, los biopolímeros se pueden combinar con moléculas sintéticas impactando en su resistencia y flexibilidad (Velde & Kiekens, 2002).

Los biopolímeros ofrecen una ventaja sobre los materiales sintéticos dada su biocompatibilidad, biodegradabilidad, baja antigenicidad y que son renovables (Sahana & Rekha, 2018). Los biopolímeros se pueden clasificar dado su origen (Tabla 9.1) y funcionalidad (Tabla 9.2). Basados en la carga de sus superficies los biopolímeros se pueden clasificar en aniónicos (gomas tragacanto, arábica, karaya, xantana, carragenina, gelano, agar, pectina y alginato), catiónicos (goma guar modificada), no-iónicos (goma de tamarindo, arábica, celulosa y algarrobo). Otra clasificación de los biopolímeros está dada en base a su estructura lineal (pectina, celulosa y algarrobo), o ramificada (gomas arábica, guar, karaya y amilopectina; (Mohammadinejad et al., 2020).

Los biopolímeros comprenden una amplia variedad de moléculas con propiedades fisicoquímicas particulares que actualmente están siendo aprovechados por diferentes sectores, en el caso del sector salud, los polímeros obtenidos de fuentes naturales se están aprovechando para el diseño de sistemas de entrega de fármacos, inmovilizar enzimas, productos para promover la cicatrización y en implantes, aprovechando de esta manera su biocompatibilidad (Velde & Kiekens, 2002; Zhang et al., 2013).

**Tabla 9.1** Tipos de biopolímeros

Origen	Biopolímero	Composición	Referencia
Vegetal	Algarrobo	Polisacárido lineal constituido de un esqueleto de $\alpha$ -1-4) manosa con cadenas laterales sencillas de de D-galactopiranosil unidas por enlaces $\alpha$ -1-6).	(Zhu et al., 2019)
	Almidón	Polímero de D-glucosa unidos por enlaces alfa glucosídicos constituido por una molécula lineal (amilosa) y una ramificada (amilopectina), asociadas en amilogramulos.	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).
	Celulosa	$\beta$ -D-glucosa unido por enlaces glucosídicos $\beta$ -1,4.	(Sahana & Rekha, 2018).
	Goma Arábica	Conformada por residuos de $\beta$ -D-galactopiranosil unidos por enlaces 1 $\rightarrow$ 3, ramificada con cadenas laterales en el carbono 6.	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).

	Goma Ghatti	Galactano formado por L-arabinosa, D-galactosa, D-mannosa, D-xylosa y ácido D-glucurónico con un peso molecular de 12000 kDa.	(Mohammadinejad et al., 2020).
	Goma Guar	También llamada guaran.	
	Guaran	Unidades de $\beta$ -D-manopiranosil unidas por enlaces 1 $\rightarrow$ 4. Cada dos residuos presenta un residuo de D-galactopiranosil unido a la cadena principal por un enlace $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 6).	(Bilal & Iqbal, 2019).
	Goma Karaya	Galactano formado por D-galactosa, L-rhamnosa y ácido D-galacturónico con un peso molecular de 9500 kDa.	(Mohammadinejad et al., 2020).
	Goma Tragacanto	Conformada por dos componentes principales el ácido tragacántico (soluble en agua) y la basorina (insoluble en agua). El ácido tragacántico contiene el 43% de ácido D-galacturónico, 40% de D-xilosa, 10% D-fucosa y 4% de D-galactosa.	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).
	Pectinas	Heteropolisacáridos conformados por tres componentes principales: homogalacturonano, I-rhamnogalacturano y galacturanos sustituidos.	(Bilal & Iqbal, 2019).
Algas	Agar	Mezcla heterogénea de polisacáridos. Los principales componentes de la cadena son $\beta$ -D-galactopiranososa y 3,6-anhidro- $\alpha$ -L-galactopiranososa, con enlaces alternados 1 $\rightarrow$ 4 y 1 $\rightarrow$ 3.	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).
	Agarosa	Heteropolisacárido lineal conformado por $\beta$ -D-galactosa y unidades de 3,6-anhidro- $\alpha$ -L-galactosa, acopladas a través de enlaces glucosídicos $\beta$ -1,4 y $\alpha$ -1,3 glucosídicos.	(Bilal & Iqbal, 2019).
	Alginato	Ácido $\square$ -D-manurónico y ácido $\square$ -L-gulurónico unidos por enlaces glucosídicos $\square$ -1,4.	(Sahana & Rekha, 2018).
	Carragenina	Mezcla heterogénea de polisacáridos fraccionados por precipitación con iones potasio. Las fracciones mayoritarias son $\square$ -carragenina (gelificante) y la $\square$ -carragenina (no gelificante). Sus componentes principales son D-Galactosa-4-sulfato, 3,6-anhidro-D-galactosa-2-sulfato o 3,6-anhidro-D-galactosa.	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).
	Fucoidan	$\square$ -L-fucosa unida por enlaces glucosídicos $\square$ -1,4.	(Sahana & Rekha, 2018).
Animal	Ácido hialurónico	Ácido D-glucurónico y N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces glucosídicos $\square$ -1,4 y $\square$ -1,3.	(Sahana & Rekha, 2018).
	Colágeno	Aminoácidos unidos por enlaces tipo amida.	(Sahana & Rekha, 2018).
	Gelatina	Peptidos producto de la desnaturalización del colágeno.	(Bilal & Iqbal, 2019).
	Quitosano	Mucopolisacárido lineal catiónico producido por la desacetilación de la quitina.	(Ban et al., 2018).
	Quitina	N-acetil glucosamina unidas por enlaces glucosídicos $\square$ -1,4.	(Sahana & Rekha, 2018).
Microbiano	Ácido itacónico	Producido por algunas especies de <i>Aspergillus</i> .	(Willis, 2018).
	$\square$ -glucanos	Esqueletos lineales de moléculas unidas por enlaces $\square$ (1-3) con ramificaciones frecuentes a lo largo de la cadena a partir de enlaces tipo $\square$ (1-6).	(Seviour et al., 2011).
	Schizofilano	Homoglucano no iónico soluble en agua compuesto por un esqueleto unido por enlaces $\square$ (1-3) con ramificaciones de	(Zhang et al., 2013).

		glucosa cada tres residuos unidos por enlaces $\alpha$ -(1-6).	
Ácido poliglicólico (PGA)		Polímero de ácido poliglicólico.	(Maraveas, 2020).
Ácido poliláctico (PLA)		Polímero de ácido láctico.	(Vijayendra & Shamala, 2013).
Exopolisacáridos (EPS)		Precusores nucleótidos activos, el incremento en su peso molecular se lleva a cabo en la superficie celular.	(Pereira et al., 2019).
Curdano		Formado por unidades de glucano unidos por enlaces glucosídicos $\beta$ -(1,3), producido por <i>Agrobacterium sp.</i>	(Zhan, Lin, & Zhang, 2012).
Dextrano		Polímero de unidades de D-glucopiranosas unidas por enlaces $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 6; 1 $\rightarrow$ 3).	(Osemwegie et al., 2020).
Gelano		Polisacárido aniónico por unidades repetidas de una molécula de L-ramnosa, ácido D-glucurónico y dos residuos de D-glucosa.	(Vijayendra & Shamala, 2013).
Kefiran		Producido por la microbiota asociada a granos kefir, el kefiran es un exopolisacárido soluble en agua, formado por unidades de glucosa y galactosa en proporciones equivalentes.	(Wang & Bi, 2008).
Levano		Homopolisacárido altamente ramificado constituido por monómeros de fructosa unidos por enlaces $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 6).	(Osemwegie et al., 2020).
Polihidroxicanoatos (PHAs)		Polímeros lineales formados principalmente de ácido hidroxialcanoico como unidad monomérica donde el grupo carboxilo forma un enlace tipo éster con el grupo hidroxilo del monómero adyacente. Se dividen en tres clases principales dependiendo del hidroácido que lo constituye, aquellos de cadena corta (SCL-PHAs), poli-3-hidroxi-butilato (PHB) y poli-3-hidroxi-valerato (PHV), entre otros.	(Costa, Miranda, de Moraes, Costa, & Druzian, 2019; Singh et al., 2019).
Pululano		Homopolisacárido no ramificado compuesto de unidades maltotriosa y maltotetraosa unidos por enlaces glucosídicos $\alpha$ -1,6 y $\alpha$ -1,4.	(Lee et al., 1999).
Xanthana		Glucosa, manosa, y ácido glucurónico $\beta$ (1 $\rightarrow$ 4; 1 $\rightarrow$ 2; 1 $\rightarrow$ 3)	(Ahmad, Mustafa, & Man, 2015).

La industria alimenticia y farmacéutica ha aprovechado las características de los biopolímeros para modificar las propiedades reológicas de los productos, además de ser empleados como estabilizadores y emulsificantes gracias a su capacidad de interactuar con el agua, encapsular sabores y aromas, actuar como agentes nutracéuticos y su capacidad de formar geles o películas (Vijayendra & Shamala, 2013; (Mohammadinejad et al., 2020).

Los biopolímeros vegetales en particular las gomas pueden ser obtenidas del endospermo de algunas semillas (gomas guar, tamarindo y algarrobo), de exudados de plantas (goma arábica, karaya y tragacanto, entre otras; (Salehi, 2019; Mohammadinejad et al., 2020).

En particular, los biopolímeros microbianos han aumentado su producción dada la facilidad que representan los microorganismos para su crecimiento. Los biopolímeros microbianos son producto de la asimilación de fuentes de carbono presentes en el medio y son empleadas por los microorganismos como fuente de energía, convirtiéndolas posteriormente en compuestos con actividad biológica diversa funcional y estructural (Bugnicourt et al., 2014).

Los biopolímeros microbianos descritos hasta ahora han sido identificados principalmente en bacterias, destacando: el ácido poliláctico (PLA), ácido poliglicólico (PGA), la poli- $\epsilon$ -caprolactona (PCL), el polihidroxi-butilato (PHB), el kefiran, la celulosa bacteriana, entre otros. Dadas las características fisicoquímicas presentadas por el ácido poliláctico (L-PLA), hacen de éste el mejor calificado en composición, densidad, propiedades mecánicas, entre otras (Velde & Kiekens, 2002).

**Tabla 9.2** Clasificación de biopolímeros por su funcionalidad.

<b>Función</b>	<b>Biopolímero</b>	<b>Referencia</b>
Gelificante	Agar, agarosa, alginato, schizofilano, gelatina, quitosano, pectinas, curdlano	(Ahmad, Mustafa, & Man, 2015; Bilal & Iqbal, 2019; Zhan, Lin, & Zhang, 2012; Zhang et al., 2013).
Espesante	Gomas guar, arábica, xantana, tragacanto, guar, algarrobo, alginato, dextrano	(Ahmad, Mustafa, & Man, 2015; Zhu et al., 2019).
Emulsificador	Alginato, goma xantana, pectinas	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).
Estabilizador	Gomas arábica, algarrobo, xantana, carragenina, alginato	(Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009, Zhu et al., 2019).
Empleados en el tratamiento de heridas	Celulosa, alginato, ácido hialurónico, colageno, goma guar, fucoïdan, quitosano.	(Ahmad, Mustafa, & Man, 2015; Sahana & Rekha, 2018).

## 9.2 Métodos de obtención

Los polímeros naturales o biopolímeros son compuestos sintetizados por los seres vivos y cumplen funciones biológicas de importancia celular. Las fuentes naturales de biopolímeros abarcan diversos grupos biológicos (algas, plantas, bacterias y hongos). Los polímeros producidos por los microorganismos ofrecen varias ventajas sobre los producidos por plantas, se producen de manera industrial dentro de esquemas de biorefinerías debido a la sustentabilidad de su producción. Sin embargo, para hacer procesos de producción rentables, se debe evaluar las condiciones de producción, control y optimización. En este sentido se ha trabajado en la modificación genética de cepas productoras de biopolímeros, bien sea por modificaciones en la ruta metabólica, eliminación de subproductos o coproductos, modificaciones en la morfología, etc. Otra alternativa es el uso de sustratos más económicos, como subproductos de otros procesos, principalmente a lo que se refiere de la fuente de carbono y nitrógeno.

Además, dicha diversidad metabólica ha dado pie a diversos tipos de biopolímeros, los cuales pueden ser de producción interna y que pertenecen allí, los cuales requiere para su recuperación del rompimiento celular (PHA), por lo cual en este caso se requiere proveer las condiciones de aumento de la biomasa con el mayor contenido de gránulos internos. En el caso que se produzca un exudado tipo polimérico, se requiere cuidar las condiciones del cultivo que permita que el polímero y sus propiedades no modifiquen la densidad celular o condiciones de operación, tal es el caso de los exopolisacáridos (EPS) que modifican la viscosidad haciendo difícil la operación de los reactores.

## 9.3 Producción biotecnológica

Cualquier proceso industrial debe ser competitivo en términos económicos, por lo cual la productividad debe ser alta y tener en cuenta: el sistema de cultivo a desarrollar, bien sea sumergido o sólido, no solo va a depender del microorganismo en cuestión, también de la facilidad de control de las variables en el reactor, el comportamiento del cultivo según la escala, la naturaleza del sustrato, de la ubicación del polímero en la célula y su facilidad de separación o purificación en la etapa posterior, teniendo en cuenta que sea rápido y barato.

Es bien sabido que los componentes del medio de cultivo y las condiciones ambientales en el reactor van a determinar la calidad de los metabolitos producidos, Tanto la agitación como la aireación van a ser determinantes en todo tipo de cultivo, pero para la producción de polímeros como xantano, gelano, pululanos, curdlano, entre otros, que son exopolímeros que cambian la capacidad reológica del cultivo, es tema de interés y de revisión intensa, especialmente relacionado con el escalamiento. El escalamiento de los cultivos sumergidos permite reproducir mejor las condiciones ideales establecidas a escala de laboratorio, que lo que podría esperarse de un cultivo en medio sólido.

Para esto, al inicio de los estudios de producción, se realizan cultivos en matraz agitado para poder suponer cuales son los medios de cultivo apropiados, relación C/N, pH, etc, sin embargo, esto no es representativo de las condiciones de escalamiento, ya que el control es ineficiente, las condiciones de agitación no corresponden a las de tanque agitado y por consiguiente la accesibilidad al oxígeno y el crecimiento es diferente, razón por la cual recientemente este tipo de cultivos se han estado escalando dependiente de su coeficiente de transferencia de oxígeno ( $K_{La}$ ), más que tiempo de residencia, flujo, volumen, tipo de agitación (Parente et al., 2014). O directamente partiendo de prototipos muy pequeños que tengan las mismas especificaciones de los reactores de alta escala usados en la industria.

El control de la agitación y oxigenación que van de la mano, son importantes porque determina el mezclado del medio, permitiendo que todos los componentes lleguen hasta el microorganismo de manera homogénea, sin embargo, puede modificar la morfología de los microorganismos, particularmente si se trata de hongos o bacterias filamentosas, puede modificar la producción de los metabolitos, tanto en su calidad como cantidad, es decir en su eficiencia de conversión (g de polímero por g de fuente de carbono). En la producción de EPS hay un aumento en la viscosidad conforme progresa el cultivo, pero en algunos casos, (pululanos y alginato por *A. vinelandii*) puede disminuir al final del cultivo por acción enzimática. Esto va ligado a la agitación y oxigenación, por supuesto al diseño del reactor. En tanques agitados, se puede mantener una agitación constante o se puede incrementar la agitación a medida que la viscosidad del cultivo progresa, por supuesto todo esto dentro de un balance de mantenimiento de la homogeneidad tanto en disponibilidad de sustratos como de oxigenación, sin causar un rompimiento celular ni un estrés que desvíe la ruta de producción del metabolito de interés.

En cuanto a la temperatura de producción, esta depende del metabolismo del microorganismo en específico, en general se ha visto un incremento en la producción cuando se trabaja por debajo de la temperatura óptima de crecimiento, debido a que la energía es redirigida hacia la producción del metabolito más que al crecimiento microbiano. Recientemente, se han trabajado microorganismos extremófilos, tanto en términos de pH como temperatura, por lo que este parámetro va a depender mucho del hábitat específico y ahora que la tendencia de bioprospección en lugares extremófilos en búsqueda de nuevas actividades y resistencias microbianas es la tendencia, se espera contar con un abanico de posibilidades, cuidando siempre encontrar en el laboratorio los que correspondan a los óptimos de operación y producción. El pH indicado en la mayoría de las veces es cercano a la neutralidad, pero en casos específicos, en la producción del pululanos se puede trabajar pH ácidos posterior al crecimiento celular, ya que pueden ser ventajosos al modificar la viscosidad del cultivo o por aumentar la actividad de algunas enzimas como la pululanasa, que tiene mayor actividad a pH 3-4 (Lee et al., 2002), u otro término importante es tener claro que puede existir el pH óptimo de crecimiento y el pH óptimo de producción del polímero, como es el caso del curdlano por *Agrobacterium* (Zhan et al., 2012).

#### 9.4 Producción de exopolisacáridos (EPS)

Los polisacáridos son atractivos para el mercado de los biopolímeros por sus diversas aplicaciones, están compuestos por diversas combinaciones de monosacáridos dependientes de sus enlaces característicos, son producidos por variedad de hongos y bacterias en cultivo sumergido (Seviour et al., 2011; Wang & McNeil, 1996). Por tanto, la concentración de la fuente de carbono y la relación C/N en el medio juegan un papel decisivo en la producción del mismo. Varios autores indican que la relación de limitación de N y C alto generalmente es benéfica para la producción de polímeros. (Seviour et al., 2011). Actualmente se han probado fuentes de carbono de origen renovable como biomasa, residuos de licorerías, derivados de plantas, derivados de animales (harina de pescado, huesos). Por otra parte, como fuente de nitrógeno se usa sales de amonio o aminoácidos y rara vez los nitratos. También se han probado fuentes de nitrógeno complejas como peptonas o extractos de carne, con resultados variables, dependientes de la actividad enzimática de los microorganismos y de la capacidad del medio de amortiguar los cambios de pH derivados del metabolismo de dicha fuente de N. Además, se debe cuidar la composición del medio de cultivo por la presencia de elementos como P, S, ya que algunos EPS contienen grupos sulfato y fosfatos importantes para la producción de enlaces tipo éster. En caso de producirse polímeros polianiónicos que adhieran fuertemente cationes, como  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  también será importante mantener la presencia de estos, así como el control osmótico del medio. Estos generalmente se agregan en soluciones trazas, por lo que, aunque sea muy pequeñas cantidades en este caso particular se hace indispensable para aumentar la productividad.

### 9.5 Fuentes de carbono de bajo costo

La revalorización de residuos agroindustriales, es decir, provenientes de diversos cultivos agrícolas o subproductos de procesos agroindustriales (rastrosos, bagazos, cascara, pastos, etc), son la tendencia actual en una visión sustentable de producción de productos de alto valor. Estos residuos se caracterizan por su bajo costo, y su alto contenido en azúcares. En general pueden ser usados directamente si se utilizaran por medio de cultivo en medio sólido, en el cual serían usados como sustrato y como soporte por organismos productores de enzimas hidrolíticas que digieren los polímeros que contiene (celulosa, hemicelulosa, pectina). Sin embargo, para ser usados en cultivo en medio líquido, generalmente se realiza un pretratamiento para poder liberar completamente los azúcares fermentables. La Tabla 9.3 presenta algunos ejemplos de EPS producidos por microorganismos a partir de fuentes de carbono renovables y que se presentan como opciones dentro de una estrategia rentable de producción de biopolímeros.

**Tabla 9.3** Exopolisacáridos producidos a partir de revalorización de sustratos residuales de la industria agrícola.

Biopolímero	Organismo productor	Sustrato; máxima producción; Referencia
Alginato	<i>Azotobacter vinelandii</i>	Salvado de trigo y licor de maíz fermentado; 15.8 g/l (Saeed et al., 2016). Cascara de papaya; 5.4 g/l (Saeed et al., 2019). Salvado de trigo; 4.5 g/l; pulido de arroz; 4 g/l; melaza; 3 g/l (Saeed et al., 2016).
Schizofilano (sizofirán)	<i>Schizophyllum commune</i>	Fibra de maíz pre-tratada; 206 mg/g CF (Leathers et al., 2006) Jarabe de dátiles; 8.5 g/l (0,12 g/g dátil) (Jamshidian et al., 2016). Hidrolizado de cascara de arroz; 1.3 g/L (Shu & Hsu, 2011). Granos secos de destilador con solubles; 10 g/L (Shu & Hsu, 2011).
Escleroglucanos	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Molzas de caña; 5.11 g/l (Valdez et al., 2019). Condensado soluble de maíz; 15 g/L (Fosmer et al., 2010). Residuos de granos de níspero; 12.08 g/L (Taskin et al., 2010). Molzas de caña de azúcar; 20 g/l; jugo de caña de azúcar; 24 g/l; agua de coco; 14 g/l (Survase et al., 2007).
Curdano	<i>Agrobacterium</i>	Sobrantes de tallo de espárragos; 40,2 g/l (Anane et al., 2017). Hidrolizado de almidón de yuca; 20 g/l (Wu et al., 2018). Sacarosa/ hidrolizado de cascara de naranjas; 23.24 g/l (Mohsin et al., 2019).
Dextrano	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Permeado de leche; 14 g/l (Esmailnejad-Moghadam et al., 2019).
Gelano	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	Molzas; 13.8 g/l (Banik et al., 2007). Suero de leche dulce crudo; 2.5 g/l (Amin & Abou-Taleb, 2019).

Pululanos	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Residuos hidrolizados de almidón de patatas; 40 g/l (An et al., 2017).
		Hidrolizado de bagazo de caña; 20 g/l (Hilares et al., 2017). Licor de maíz fermentado; 88.59 g/l (Sharma et al., 2013; Citados en Singh et al., 2019). Orujo de soya; 125.7 g/l (Sheoran et al., 2012; Citados en Singh et al., 2019). Salvado de arroz desgrasado; 5.48% (Singh & Kaur, 2019).
Xantano	<i>Xanthomonas campestris</i>	Cascaras de papa; 20 g/l (da Silva et al., 2020). Nejayote (residuo de la nixtamalización del maíz); 10.8 g/l (Orozco-Flores et al., 2020). Aguas residuales de industrias de aceite vegetal; 16.17 g/l (Bajić et al., 2017). Azúcar de remolacha y peptona de plumas de pollo; 20.5 g/l (Ozidal et al., 2019).

### 9.6 Polihidroxicanoatos (PHA)

La presencia de PHA en la célula responde a condiciones de estrés que motivan la conversión de un exceso de carbohidratos hacia estos polímeros específicos con papel de mantenimiento de la homeostasis celular. Actualmente se encuentran diversas investigaciones sobre variadas especies microbiológicas incluyendo bacterias Gram positivas, Gram negativas, arqueas y microalgas con igual diversidad de estrategias de incremento en la producción, incluyendo regímenes en los que se tiende a aumentar la concentración de biomasa o el uso de cultivos mixtos. Los diversos enfoques de cultivo que han funcionado van desde regímenes aerobios dinámicos de exceso de alimentación seguido de agotamiento de carbono, o a cultivo en continuo caracterizado por la estabilidad en el suministro de alimentación y de condiciones ambientales (Koller et al., 2017).

La ruta de conversión de carbohidratos hacia poli-3-hidroxitirato tiene como compuesto intermedio el acetil co-A, por lo que se puede producir a partir de glucosa, pero también de otros monosacáridos que son interconvertibles como manosa, galactosa, xilosa, xilulosa, arabinosa (Dietrich et al., 2019). También ha sido reportada la producción a partir de n-alcenos (hexano, octano, dodecano), ácidos n-alcánicos (ácido acético, ácido propanoico, ácido butírico, ácido valérico, ácido láurico, ácido oléico), n-alcoholes (metanol, etanol, octanol, glicerol), y gases (metano y dióxido de carbono) (Tan et al., 2014).

Dicha variedad de sustratos ha permitido la producción dentro de biorefinerías de segunda generación, la cual está basada en biomasa lignocelulósica. Posterior al pretratamiento y la hidrólisis enzimática, la biomasa polimérica que contiene una matriz de lignina, requiere pretratamiento para degradarla, y dar acceso a enzimas hidrolíticas que puedan degradar los polímeros hacia las unidades de azúcares que se pueden desprender de las matrices internas de hemicelulosa y celulosa, conformadas por variedad de monosacáridos como glucosa, xilosa, arabinosa, fructosa, manosa. Es bien conocido que la presencia de inhibidores de crecimiento y metabolismo de los organismos transformadores de azúcares dentro de la biorefinería es dependiente de las condiciones de pretratamiento, por lo que se pueden presentar inhibidores como vainillina, ácido cinámico, siringaldehído, ácido vainillínico, ácido siríngico, ácido p-coumárico, furfural, 2-furanil metanol y ácido acético en el hidrolizado hemicelulósico. Debido a lo anterior, en búsqueda de maximizar los rendimientos del producto (PHA) además de las condiciones de cultivo, se debe cuidar la presencia de inhibidores debido al pretratamiento, bien sea por medio de métodos de detoxificación, o el uso de cepas resistentes a este tipo de compuestos. Por ejemplo, Lopes et al. (2014) presentan casos de incrementos de producción de PHA al adicionar pasos adicionales de detoxificación a su proceso de producción, el más usado hasta ahora agrega hidróxido de calcio para aumentar el pH del medio.

Por otra parte, las arqueas que han sido reportadas como las mejores productoras de PHA hasta el momento corresponden a género halófilos extremos como *Haloferax*, *Haloferax*, *Halalkalicoccus*, *Haloarcula*, *Halobacterium*, *Halobiforma*, *Halococcus*, *Halopiger*, *Haloquadratum*, *Halorhabdus*, *Halorubrum*, *Halostagnicola*, entre otras, los cuales requieren concentraciones elevadas de sales (hasta 6M NaCl), lo cual implica un alto costo en suplemento del medio y posibles daños (como corrosión) al material de los fermentadores, pero, por otra parte, permite disminuir costos en el cultivo relacionados con la esterilidad del proceso y además, estas sales pueden ser recirculadas para ahorrar costos de manera general (Bhattacharyya et al., 2014).

La Tabla 9.4, presenta algunos ejemplos de microorganismos productores de PHA a partir de fuentes de carbono renovables, teniendo en cuenta que el principal PHA que se ha reporta es polihidroxibutirato (PHB), en algunos casos se reporta la presencia de otros PHA de interesante aplicación como son poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato-co-3-hidroxipropionato (PHBVP), lactato-co-3-hidroxibutirato (PLAHB), poli-3-hidroxibutirato-co-hidroxivalerato (PHBHV).

**Tabla 9.4.** Producción de PHA a partir de revalorización de residuos de la industria agrícola.

Polihidroxibutirato (PHB), poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato-co-3-hidroxipropionato (PHBVP), lactato-co-3-hidroxibutirato (PLAHB), poli-3-hidroxibutirato-co-hidroxivalerato (PHBHV).

Microorganismo	Sustrato	Polímero; Máxima producción (g/L); referencia
<i>Pseudomonas cepacea</i>	Álamo, pretratamiento por explosión de vapor	PHB; 1.56 g/l; (Ramsay et al., 1995).
<i>Brevundimonas vesicularis</i> y <i>Sphingopyxis macrogoltabida</i>	Aserrín de <i>Pinus radiata</i> , pretratamiento ácido	PHBVP; 0.16 y 0.23 g/l, respectivamente; (Silva et al., 2014).
<i>Cuproavidus necator</i>	Bagazo de caña, pretratamiento ácido	PHB, 6.27 g/l (Yu y Stahl, 2008).
<i>Burkholderia</i> sp.	Bagazo de caña, pretratamiento ácido	PHB; 12.3 g/l (Lopes et al., 2014).
<i>Escherichia coli</i> modificada genéticamente	Xilano de madera de haya	PLAHB; 3.7 g/l (Salamanca-Cardona et al., 2014).
<i>Ralstonia eutropha</i>	Hidrolizados de kenaf ( <i>Hibiscus cannabinus</i> L.) pretratado	PHB; 10.10 g/l (Saratale et al., 2019).
<i>B. cepacea</i>	Chips de madera de maple, pretratamiento ácido	PHB; 8.72 g/l (Pan et al., 2012).
<i>Bacillus firmus</i>	Paja de arroz, pretratamiento ácido	PHB; 1.70 g/l (Sindhu et al., 2013).
<i>B. subtilis</i> recombinante	Cascaras de naranjas, pretratamiento térmico	PHB; 1.24 g/l (Sukan et al., 2014).
<i>Bacillus subtilis</i>	Aguas residuales municipales	PHB; 3.09 g/l (Mohapatra et al., 2017).
<i>Bacillus licheniformis</i> y <i>Bacillus megaterium</i>	Hemicelulosa de hidrolizado de paja de trigo	PHB; 1.91-2.48 g/l (Gasser et al., 2014)
	Celulosa de hidrolizado de paja de trigo	PHB; 1.11-1.23 g/l (Gasser et al., 2014)
<i>Haloferax mediterranei</i>	Vinagre de etanol a base de arroz	PHBHV; 16.42 g/l (Bhattacharyya et al., 2014)
<i>Haloferax mediterranei</i>	Vinasas	PHBHV; 19.7 g/l (Bhattacharyya et al., 2012)

## 9.7 Aplicaciones

Los bioplásticos están promoviendo una alternativa para responder a la demanda creciente del reemplazo de los polímeros de base fósil. Además, las iniciativas (17 objetivos de desarrollo sostenible) y regulaciones basadas en el medio ambiente verde han impulsado el interés de proteger y mejorar el medio ambiente en el futuro. Sin embargo, la realidad de este escenario dependerá del precio al consumidor y el rendimiento del producto. En este sentido, los biopolímeros pueden reemplazar o al menos reducir la dependencia de los productos petroquímicos al poseer propiedades similares de acuerdo a la aplicación.

## 9.8 Ácido poliláctico (PLA)

El PLA es un poliéster biodegradable que puede ser sintetizado químicamente partiendo del ácido láctico. Es uno de los biopolímeros más utilizado a nivel global con el potencial de sustituir a los polímeros de base petroquímica. Las propiedades mecánicas y el % de cristalización, dependerá principalmente del peso molecular y la composición estereoquímica de la cadena principal. Ejemplo se ha demostrado que modulo del PLA aumenta en un factor de 2 cuando Mw (peso molecular promedio en peso) se eleva de 50 a 100 kDa. (Anderson, Langer & Farah, 2016). Las propiedades mecánicas, resistencia al impacto, del PLA pueden ser mejoradas mediante la mezcla con otros biopolímeros como el PHA hasta un 20% y sometiendo las películas a un proceso de recocido, de acuerdo a sus propiedades se ha considera que el PLA puede ser un sustituto del polietileno tereftalato (PET), (Burzic et al., (2019).

El PLA es ampliamente utilizado en sector salud como andamios en ingeniería de tejidos, crecimiento celular y apoyos a la liberación de fármacos. En la industria automotriz se utiliza una amplia gama de moldeo por inyección, extrusión e hilado por fusión, para la obtención de productos como tapetes, colchonetas, tapizados o simplemente como embalaje protector mientras la fabricación del vehículo concluye (Coles & Mereith, 2014).

Actualmente se ha considerado el PLA como un material para membranas con la finalidad de llevar a cabo tratamiento de agua. Tanaka et al., (2004), comprobaron que al aumentar la concentración de PLA de 10 al 15% en peso, las bacterias son retenidas en la membrana hasta un 60% empleando un peso de 15% del PLA en la matriz polimérica. Al variar la temperatura de 40 a 50°C los autores obtuvieron resultados de retención bacteriana de 90 - 99%, concluyendo que la membrana sufría cambios en la estructura porosa.

## 9.9 Polihidroxicanoatos (PHA's)

Los polihidroxicanoatos han llamado el interés como bioplástico debido a sus métodos de obtención y a la variedad de pesos moleculares generados por la longitud de las cadenas: cortas que involucran de 3 a 5 átomos de carbono y medio de 6 a más átomos de carbono. Estas variedades proporcionan al material propiedades termoplásticas o elastoméricas, son enantioméricamente puros, no son tóxicos, son biocompatibles obtenidos a partir de reservas renovables y son biodegradables, dando una visión principal al sector biomédico.

De momento se han descubierto más de 150 unidades monoméricas diferentes dentro de la familia del PHA. Como puede apreciarse en la Tabla 9.5, es importante mencionar que dependiendo de la composición del homopolímero presentara diferentes propiedades fisicoquímicas, contribuyendo a una vasta variedad de materiales (Marino et al., 2018). Por ejemplo, la cepa *Pseudomonas sp.*, produce un copolímero aleatorio P(3HB-co3HA) con propiedades mecánicas similares al polietileno de baja densidad (PEBD) tabla 9.2 (Sudesh, Abe y Doi, 2000). Estos resultados demuestran que los biopolímeros tienen el alcance suficiente de sustituir a los polímeros de origen petroquímico.

**Tabla 9.5 Comparación de los polímeros PHA con el PEBD**

Biopolímero	Punto de fusión (°C)	Temperatura de transición vítrea	Módulo de Young (GPa)	Resistencia a la tensión (MPa)	% Deformación
P(3BH)	180	4	3.5	40	5
P(3BHco3HA)	133	-8	0.2	17	680
Polietileno de baja densidad	130	-30	0.2	10	620

Fuente: Tomada de K. Sudesh, H. Abbe, Y Doi (2000). *Synthesis, structure and properties of polyhydroxialkanoates: biological polyesters. Progress in Polymer Science. 25(10), 1503-1555*

Varios investigadores han tratado de estudiar la influencia de la estructura, comportamiento mecánico así como la influencia de la cristalinidad que le puede atribuir al material. McChalicher & Srienc en 2007, usando el microorganismo *C. necator*, obtuvieron PHA's con dos microestructuras diferentes como los copolímeros de bloque y aleatorios, concluyendo que los copolímeros de bloque son más resistentes al envejecimiento que los copolímeros aleatorios, a causa que en su estructura de bloque se une covalentemente a los dominios que no se co-cristalizan debido a la naturaleza isodimórfica de los bloques; los tamaños de los cristales están limitados por el grado de separación de la microfase que se puede lograr en el sistema polimérico.

De acuerdo a las contribuciones de los autores se ha llegado a la conclusión de que los polihidroxialcanoatos pueden impactar en áreas como empaques, pinturas, medicina, farmacia, agricultura y alimentos (González García et al., 2013); por ejemplo, el PHBV ha demostrado una creciente atención debido a que puede minimizar la respuesta antiinflamatoria cuando se usa para suturar fibras y tejidos, además que sus productos de degradación son un componente natural en la sangre humana (Chang, et al., 2016). En esta sección sólo se hace referencia al PLA y PHAs, considerando que son los biopolímeros que se han propuesto como sustitutos de plásticos como el polietileno y el polietileno tereftalato.

### 9.10 Etapa final de los biopolímeros

En las secciones anteriores se ha hablado de los biopolímeros diciendo qué son, cómo se clasifican, métodos de obtención, así como sus aplicaciones, y tratando de complementar la información en esta sección hablaremos acerca de su disposición final. Considerando el enorme interés en los biopolímeros, para los cuales se pronostica un crecimiento hasta del 20% en 2022, se tiene una expectativa intrínseca de que los nuevos polímeros diseñados a partir de recursos renovables y biodegradables, también sean biodegradables. Por lo tanto, los nuevos materiales de base biológica representan un enfoque estratégico para limitar la preocupación medioambiental, teniendo en cuenta que en los últimos años han surgido diversas iniciativas en pro de conservar y mejorar las condiciones del medio ambiente.

La introducción de estos nuevos productos podría representar una contribución significativa al desarrollo sostenible. Sin embargo, el uso de recursos renovables y la producción de biopolímeros, que incluye a los bioplásticos, ya no son una garantía de un impacto ambiental mínimo. El proceso de producción, así como sus prestaciones técnicas y su disposición final deben considerarse cuidadosamente. Los biopolímeros son generalmente biodegradables, pero la difusión de la tecnología de compostaje es un requisito previo para su desarrollo. Por lo cual, es importante entender de forma clara cada uno de los términos relacionados para evitar confusiones: biodegradabilidad, biodegradación, biocompostables, oxodegradable, bioplástico.

La biodegradabilidad, está relacionada la estructura química y consiste en la descomposición de la materia como resultado de la actividad de microorganismos, como hongos y bacterias, que típicamente secretan enzimas que escinden sobre los enlaces químicos específicos o realizan reacciones químicas muy específicas, lo que conduce a productos de menor peso molecular que luego puede ser utilizado en otros procesos, por otros organismos (Vroman et al., 2009). También es importante considerar que la biodegradación está relacionada al proceso de la degradación, el cual considera las condiciones presentes, tal como temperatura, pH, humedad, etc. Un polímero puede ser considerado biodegradable, pero si las condiciones ambientales no son las adecuadas, el polímero puede mostrar una limitada biodegradabilidad (Kale et al., 2007).

La biodegradabilidad a menudo se confunde con la compostabilidad, la última de las cuales puede potencialmente obstruir el sistema de reciclaje si se elimina de manera incorrecta. De hecho, no todos saben que los materiales compostables solo se descomponen completamente bajo un conjunto distinto de condiciones. El término biocompostable, se refiere a la degradación por la acción de microorganismos pero a la misma velocidad que los materiales biocompostables que ya conocemos, como las hojas, el papel y los trozos de madera (Ruggery, 2018).

Es importante considerar, que la principal diferencia entre lo biodegradable y biocompostable, tiene que ver con el tiempo y condiciones de degradación de los biopolímeros. Los materiales biocompostables no deben dejar fragmentos que duren más de 12 semanas en el residuo (desintegración), no pueden contener metales pesados o toxinas y deben permitir el crecimiento de plantas, esto significa que no sean tóxicos. (Ruggery, 2018).

Otro término que también está relacionado y que ha tenido gran auge por su “impacto ambiental” son los materiales oxodegradables y que en algunas ocasiones se llega a confundir con los biopolímeros biodegradables. Los polímeros oxodegradables son compuestos basados en polímeros convencionales, mezclados con aditivos que imitan la biodegradación. Estos aditivos actúan acelerando la degradación convencional de los polímeros, a través de la ruptura de las cadenas poliméricas, y de esta manera el material queda reducido a pequeños fragmentos, conocidos como microplásticos.

Es importante tener claridad en que existen diferentes formas de obtención de los biopolímeros, como fue mencionado en secciones anteriores, sin embargo, la biodegradabilidad de éstos está directamente relacionada con su estructura química y no con su origen. (Kale et al, 2007)

Considerando los términos antes mencionados y relacionados entre sí, es importante tener claro que no necesariamente todos los biopolímeros son biodegradables y compostables. Para lo cual resulta de vital importancia entender estos procesos, así como los factores que influyen en ellos.

### 9.11 Biodegradación

Dentro de los procesos de biotransformación de los biopolímeros se hablará del biocompostaje y biodegradación:

El compostaje es un proceso natural por el cual el material orgánico se descompone en una sustancia similar al suelo, llamada humus, un acondicionador del suelo. La descomposición se realiza principalmente por microorganismos (mesofílicos y termofílicos), que incluyen bacterias, hongos y actinomicetos. Estos microorganismos utilizan la materia orgánica como fuente de alimento, para generar CO<sub>2</sub> y humus como producto final. Este proceso natural requiere disponibilidad de carbono, nitrógeno, agua y oxígeno. Los microorganismos usan carbono como fuente de energía y nitrógeno para construir estructuras celulares. Una relación 30: 1 de carbono a nitrógeno (C: N) es ideal para la reproducción de microorganismos termofílicos y hace que el proceso de compostaje sea más rápido [4]. El proceso de compostaje consta de dos principales etapas; compostaje activo y un periodo de curado. En la primera etapa, la temperatura aumenta y permanece elevada, siempre que haya oxígeno disponible, lo que da como resultado una fuerte actividad microbiana. En la etapa posterior, la temperatura disminuye pero los materiales continúan transformándose a una velocidad menor. El proceso de compostaje no se detiene en un punto particular; más bien continúa lentamente hasta que los microorganismos restantes consumen los últimos nutrientes y casi todo el carbono se ha convertido en dióxido de carbono. El compostaje puede realizarse bajo diferentes medios; aeróbico (presencia de oxígeno) y anaeróbico (ausencia de oxígeno), a este último proceso también se le llama digestión anaeróbica. En cada caso los productos son diferentes. El proceso aeróbico da como producto CO<sub>2</sub> y humus, mientras que el proceso anaeróbico se obtiene biogás y digestato. (Ruggery, 2018)

En cuanto a la biodegradación, es un término que se aplica cuando el deterioro del polímero se debe a la acción de organismos vivos, como hongos o microorganismos. Es frecuente encontrar esta degradación de la mano de la hidrolítica cuando éstas tienen lugar en medio acuoso. Ésta es una reacción enzimática, por lo tanto, es muy específica para las estructuras químicas y los enlaces del polímero. Existen diferentes mecanismos de biodegradación de polímeros. Un mecanismo común es la hidrólisis, en la cual la escisión aleatoria en cadena no enzimática de los grupos éster conduce a la reducción del peso molecular. El proceso de hidrólisis se ve afectado por la velocidad de difusión del agua a través del polímero.

En resumen, el proceso de biodegradación se lleva a cabo en dos etapas: biodegradación primaria y biodegradación secundaria o mineralización. Durante la biodegradación primaria se producen alteraciones estructurales en la molécula, lo que hace que ésta pierda sus propiedades fisicoquímicas.

Durante la biodegradación secundaria o total, las sustancias químicas (oligómeros) son metabolizadas por los microorganismos como fuente de carbono y energía, son transformadas en compuestos inorgánicos, esta etapa puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno o en ausencia del mismo (Rodríguez, 2012).

### 9.12 Factores que influyen en el proceso de biodegradación

Los polímeros biodegradables generalmente contienen enlaces hidrolizables de éster, amida o carbonato (-COO-, -CONH<sub>2</sub>-) en la cadena principal del polímero, la presencia de estos grupos hidrolizables incrementa la susceptibilidad a la biodegradación. Sin embargo, en algunos casos la biodegradación puede ser limitada debido a que los enlaces en el carbono-carbono no pueden romperse a partir de enzimas y microorganismos, como resultado del carácter hidrofóbico, baja área superficial, peso molecular alto y cristalinidad (Rodríguez, 2012), Es importante considerar estos factores y además el tipo de microorganismo o mezclas de microorganismos que vaya a utilizar para el proceso de biodegradación.

La biodegradación depende, tanto de factores ambientales (temperatura, humedad, oxígeno, pH) como de la estructura química del polímero sin tener en cuenta su origen. La temperatura se refiere al nivel térmico del sustrato y su valor depende del tipo de microorganismo que se esté utilizando, se debe considerar que la temperatura puede afectar la estructura del polímero al modificar su flexibilidad, el aumento de flexibilidad en una cadena polimérica favorece la fijación del sitio activo de la enzima a la cadena polimérica e incrementa la velocidad de biodegradación. En este contexto, las cadenas alifáticas de gran tamaño son más flexibles y presentan mayores velocidades de biodegradación, no así para los biopolímeros que poseen anillos aromáticos en su estructura, los cuales actúan como obstáculos en el proceso de biodegradación, al actuar como impedimento estérico y no permitir el ataque enzimático al enlace éster.

La copolimerización es otro factor que también hay que tener en cuenta dentro de la biodegradación, fue observado que los co-poliésteres en bloque son más resistentes a la biodegradación que los copoliésteres alternados, relacionando este hallazgo con la diferencia en sus respectivos puntos de fusión.

La porosidad se refiere al volumen de espacios vacíos que se encuentran en el sustrato, biopolímero y se relaciona con la difusión, mayor difusión incrementa la velocidad de degradación.

En cuanto a la humedad, esta puede favorecer la hidrólisis del biopolímero rompiendo enlaces covalentes y permitiendo un área de mayor exposición para los microorganismos. La presencia de oxígeno determina si es un proceso aerobio o anaerobio y en lo que respecta al pH, éste es un factor determinante para los microorganismos, además de indicar en que fase se encuentra el compostaje en caso de hacer uso de esta técnica.

De manera particular, el PHA y PLA, son biopolímeros que han demostrado su biodegradabilidad, pero no su completa biocompostabilidad. En reportes recientes, se ha establecido que el PLA, polímero de origen biológico, son apenas biodegradables por microorganismos, completando su proceso en entornos naturales, por lo cual se considera que el PLA requiere de periodos que van de meses a dos años es por ello, que se ha tenido que recurrir a su copolimerización con poliestéres alifáticos, como la policaprolactona para acelerar su biodegradabilidad (Nonato et al, 2001).

Podemos entonces resumir que la biodegradación es un proceso causado por enzimas secretadas por microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos), la reacción enzimática es muy específica para las estructuras químicas y enlaces del biopolímero sin considerar su origen. No olvidar que la estructura determina las propiedades físicas de las moléculas poliméricas, entre las que se encuentran su temperatura de fusión y vítrea, su conocimiento permitirá establecer las condiciones bajo las cuales se llevará el proceso de biodegradación.

### 9.13 Evaluación de la biodegradabilidad

Como ha sido mencionado en secciones anteriores existe una enorme variedad de biopolímeros, que para ser introducidos en el mercado como biodegradables deben presentar; biodegradabilidad y biodegradación. El primer término relaciona su estructura química y la posibilidad de ser potencialmente degradado por un ataque biológico, y el segundo término se refiere al proceso de la degradación el cual se llevará a cabo bajo ciertas condiciones de; temperatura, pH, humedad, etc.

Para evaluar la biodegradabilidad el biopolímero es expuesto al ataque microbiano en agua y suelo. La degradación es medida conforme a la producción de CO<sub>2</sub> o consumo de O<sub>2</sub>, ambos relacionados al proceso de mineralización, en esta etapa el carbón orgánico es transformado en carbón inorgánico, CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la respiración microbiana (Kale et al, 2007).

### 9.14 Ensayos de biodegradabilidad

Los ensayos de biodegradabilidad son pruebas que se realizan bajo diferentes escenarios y en condiciones controladas. Para su selección, se considera lo que se desea analizar. Entre los estudios más frecuentes que realizan están: degradación en agua, donde además de medir la tasa de biodegradación se monitorean subproductos que se quedan en el medio y simula las condiciones en cuerpos de agua; degradación térmica, evalúa el cambio de las propiedades de los biopolímeros simulando una incineración; degradación por enterramiento, simula la degradación de los biopolímeros en suelo, compostas y rellenos sanitarios, siendo éste el escenario más probable en las ciudades. Dentro del ensayo por enterramiento se presentan los siguientes casos:

- Simulación en Relleno Sanitario en condiciones aerobias; se utilizan bacterias aerobias, extraídas de lodos residuales o relleno sanitario de una maduración de al menos seis meses, por la acción de los microorganismos el biopolímero se degradará y se transformará generándose CO<sub>2</sub>, el cual se puede medir por cromatografía de gases, trampa de carbono o por presión, existiendo también cambios físicos en el biopolímero (Funabashi, et al. 2007).
- Simulación en Relleno Sanitario en condiciones anaerobias: este ensayo se realiza en un sistema cerrado y el control de temperatura va de los 35 a los 65°C, se utilizan bacterias anaerobias (se pueden extraer de la profundidad de lodos residuales), los productos que se generan son metano y CO<sub>2</sub>.
- Comportamiento en suelo: en este ensayo el biopolímero es enterrado de tal manera que queda completamente cubierto, es un proceso por lotes, los cambios en el material se evalúan en ciertos periodos de tiempo.
- Vermicomposteo; este ensayo consiste en exponer el biopolímero con suelo obtenido por vermicomposteo. El vermicomposteo, es la utilización de lombrices para transformar los desechos en abono, este ensayo también se produce en lotes. (Funabashi, et al. 2007).

Cada uno de los anteriores ensayos deben ser realizados bajo una normatividad, lo que permite estandarizar los procesos y con ello evaluar y comparar resultados en los diferentes trabajos de investigación que son realizados en este tema. La finalidad de presentar la siguiente información es únicamente dar a conocer algunas de las diferentes normas que permiten evaluar cada uno de los ensayos antes expuestos, sin entrar en detalle en su análisis.

### 9.15 Normas para la determinación de la biodegradabilidad de materiales plásticos

Existen un gran número de normas de biodegradabilidad, redactadas por distintos organismos de normalización (ISO, CEN, ASTM, DIN, etc.). Los criterios de clasificación son variados: medio en el que se produce la biodegradación, variable de medida elegida, presencia o ausencia de oxígeno en el medio, etc.

Las normas internacionales (transpuestas a nivel nacional) más empleadas en la determinación de la biodegradabilidad de los materiales plásticos son las siguientes:

- **UNE-EN-ISO 14852:2005:** Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en medio acuoso. Método según el análisis del dióxido de carbono generado (ISO 14852:1999).

- **UNE-EN-ISO 14855:2005:** Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis del dióxido de carbono generado (ISO14855:1999).

- **UNE-EN-ISO 17556:2005 Plásticos:** Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2003).

Estas normas de ensayo se basan en que durante la biodegradación del material de ensayo en presencia de oxígeno, se generan como productos dióxido de carbono, agua, sales minerales y nueva biomasa. El porcentaje de biodegradación se calcula mediante la relación entre el dióxido de carbono generado a partir del material de ensayo y la cantidad teórica máxima de dióxido de carbono que puede producirse a partir del material de ensayo.

Es importante tener en cuenta, que las condiciones descritas en las normas no corresponden necesariamente a las condiciones óptimas que permiten que se produzca el máximo grado de biodegradabilidad, debido a que la norma esta diseñada para determinar la biodegradabilidad potencial de los materiales poliméricos o dar una indicación de su biodegradabilidad en ambientes naturales. Este permite evaluar el impacto ambiental que tendrán estos materiales y con ello estarlos monitoreando en su disposición final.

Los plásticos han incrementado en el mundo entero, de encontrarse 1.5 millones de toneladas en 1950, en 2018 alcanzó 400 millones de toneladas. Se proyecta que la producción de plásticos a nivel global alcanzará 1800 millones de toneladas por año en 2050 (Qualman, 2017). De acuerdo a Singh et al. (2019), el mercado de los polihidroxicarbonatos ascenderá a 93.5 millones de dólares, lo que los hace rentables. La necesidad de cubrir esta demanda, y la de disminuir la dependencia económica de los combustibles fósiles, ha llevado a producir polímeros de origen natural por medio de procesos biotecnológicos, incluyendo el uso de sustratos renovables, dentro de la tendencia de la economía circular. Es decir, sin desechos de principio a fin, bien sea por el uso de residuos agroindustriales dentro del proceso de producción, que son desechos de bajo valor industrial y que de otra manera se acumularían en el ambiente generando mayor contaminación. Sino porque, además, el proceso de degradación de estos bioplásticos puede generar como producto final el CO<sub>2</sub> en menor tiempo que los de origen químico y por procesos relativamente baratos, devolviendo a la naturaleza sustrato para la producción de biomasa y contribuyendo de manera orgánica al mantenimiento del ecosistema.

En términos de producción, a pesar del amplio conocimiento en el tema, aún existen varios retos por superar, como es aumentar la productividad cuidando la sustentabilidad con el objetivo de disminuir el precio de producción para que sea competitivo frente a los polímeros de origen fósil. Para lograr esto, se busca el uso de sustratos más económicos, a través de plataformas de biorefinerías en procesos consolidados con producción simultánea de varios productos de alto valor agregado. Las estrategias de producción deben cuidarse a lo largo de todo el proceso, desde la fuente de C, N, relación C/N, eliminación de inhibidores producidos en el pretratamiento, condiciones ambientales, estrategias de producción como cambios de pH, lote alimentado, cambios en los regímenes de agitación/ aireación. Pero indudablemente, el enfoque de mejores cepas, bien sea por prospección en la naturaleza o la modificación genética que incluyan genes de resistencia a inhibidores tóxicos del pretratamiento, a condiciones de pH altos, alta viscosidad y uso de múltiples sustratos. Todo encaminado a disminuir costos, evitando la necesidad de cultivos axénicos, sustratos puros, o pasos extras del proceso.

Es importante destacar el futuro de las investigaciones se encuentran en los avances en equipos de caracterización química y de separación y purificación. De igual manera, el alcance de la microbiología para encontrar o mejorar actividades enzimáticas y procesos de degradación de los materiales poliméricos en menos tiempo. Pero indudablemente habrá una búsqueda incesante de aplicaciones de estos biopolímeros, la cual se encontrará ligada al desarrollo de ciencias que la sustentan como la nanotecnología, las ciencias médicas, las ciencias de los materiales, las ciencias ambientales, entre muchas otras.

## 9.16 Conclusión

Los biopolímeros surgen como una necesidad de adquirir nuevos materiales capaces de sustituir a los polímeros sintéticos o a los obtenidos por fuentes no renovables. La búsqueda de estos nuevos materiales ha llevado al descubrimiento de organismos productores y al empleo de nuevas fuentes vegetales, así como a la descripción de polisacáridos o combinaciones de biomoléculas capaces de modificar las propiedades reológicas, elásticas y de soporte en los productos en donde se aplica, dando la pauta a una gama de aplicaciones en diversos sectores como el médico, industrial, farmacéutico entre otros.

Los polímeros de origen biológico demostraron que llegaron para quedarse, para ser explotados como ecoamigables de principio a fin, desde su generación a partir de residuos de múltiples procesos agroindustriales, ser absorbidos por el cuerpo humano en materiales de sutura u otros complementos médicos, hasta ser completamente biodegradados por acción de la naturaleza.

Se espera que esta tendencia continúe, tal como lo ha demostrado el aumento en el número de patentes, publicaciones científicas y más recientemente la apertura de industrias de producción de biopolímeros, traduciéndose en un reto para la comunidad científica al sortear las desventajas ambientales y económicas propias de estos procesos.

## 9.17 Referencias

- Ahmad, N. H., Mustafa, S., & Man, Y. B. C (2015). Microbial Polysaccharides and Their Modification Approaches: A Review. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 332–347. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.693561>
- Amin, S. A., & Abou-Taleb, K. A. (2019). Bioconversion of Various Raw Materials into some Polymers. *Middle East J*, 8(2), 732-745.
- An, C., Ma, S. J., Chang, F., & Xue, W. J. (2017). Efficient production of pullulan by *Aureobasidium pullulans* grown on mixtures of potato starch hydrolysate and sucrose. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.11.001>
- Anane, R.F., Sun, H., Zhao, L. et al. Improved curdlan production with discarded bottom parts of Asparagus spear. *Microb Cell Fact* 16, 59 (2017). <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0671-3>
- Bhattacharyya, A., Pramanik, A., Maji, S. K., Haldar, S., Mukhopadhyay, U. K., & Mukherjee, J. (2012). Utilization of vinasse for production of poly-3-(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) by *Haloferax mediterranei*. *AMB express*, 2(1), 34. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-2-34>
- Bhattacharyya, A., Saha, J., Haldar, S., Bhowmic, A., Mukhopadhyay, U. K., & Mukherjee, J. (2014). Production of poly-3-(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) by *Haloferax mediterranei* using rice-based ethanol stillage with simultaneous recovery and re-use of medium salts. *Extremophiles*, 18(2), 463-470. <https://doi.org/10.1007/s00792-013-0622-9>
- Bajić, B. Ž., Vučurović, D. G., Dodić, S. N., Rončević, Z. Z., Grahovac, J. A., & Dodić, J. M. (2017). The biotechnological production of xanthan on vegetable oil industry wastewaters. Part I: Modelling and optimization. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 23(3), 329-339. <https://doi.org/10.2298/CICEQ160430048B>
- Ban, Z., Horev, B., Rutenberg, R., Danay, O., Bilbao, C., Mchugh, T., ... Poverenov, E. (2018). Food Hydrocolloids Efficient production of fungal chitosan utilizing an advanced freeze-thawing method; quality and activity studies. *Food Hydrocolloids*, 81, 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.010>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. (Springer, Ed.) (4th ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>

- Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2019). Naturally-derived biopolymers: Potential platforms for enzyme immobilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, *130*, 462–482. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.152>
- Banik, R. M., Santhiagu, A., & Upadhyay, S. N. (2007). Optimization of nutrients for gellan gum production by *Sphingomonas paucimobilis* ATCC-31461 in molasses-based medium using response surface methodology. *Bioresource Technology*, *98*(4), 792–797. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.03.012>
- Bugnicourt, E., Cinelli, P., Lazzeri, A., & Alvarez, V. A. (2014). Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2014.82>
- Bussa, M., Eisen, A., Zollfrank, C., & Röder, H. (2019). Life cycle assessment of microalgae products: State of the art and their potential for the production of polylactid acid. *Journal of Cleaner Production*, *213*, 1299–1312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.048>
- Costa, S. S., Miranda, A. L., de Moraes, M. G., Costa, J. A. V., & Druzian, J. I. (2019). Microalgae as source of polyhydroxyalkanoates (PHAs) — A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *131*, 536–547. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.099>
- Da Silva, A. D. S., dos Santos, F. P., & de Souza Abud, A. K. (2020). Xanthan gum production by semisolid and submerged processes using potato peel as substrate/ Produção de goma xantana por processos semissólidos e submersos usando casca de batata como substrato. *Brazilian Journal of Development*, *6*(5), 25202–25207. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-102>
- De Oliveira, R. A., Rossell, C. E. V., Pereira, G. A., & Maciel Filho, R. (2020). Second-generation (2g) Lactic Acid Production and New Developments—a Mini-review. *Chemical Engineering Transactions*, *80*, 223–228. <https://doi.org/10.3303/CET2080038>
- De Oliveira, R. A., Komesu, A., Rossell, C. E. V., & Maciel Filho, R. (2018). Challenges and opportunities in lactic acid bioprocess design— From economic to production aspects. *Biochemical Engineering Journal*, *133*, 219–239. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.03.003>
- Dietrich, K., Dumont, M. J., Del Rio, L. F., & Orsat, V. (2019). Sustainable PHA production in integrated lignocellulose biorefineries. *New Biotechnology*, *49*, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.11.004>
- Esmailnejad-Moghadam, B., Mokarram, R. R., Hejazi, M. A., Khiabani, M. S., & Keivaninahr, F. (2019). Low molecular weight dextran production by *Leuconostoc mesenteroides* strains: Optimization of a new culture medium and the rheological assessments. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *18*, 100181. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100181>
- Fosmer, A., Gibbons, W. R., & Heisel, N. J. (2010). Reducing the cost of scleroglucan production by use of a condensed corn soluble medium. *Journal of Biotech Research*, *2*, 131.
- Freitas, F., Torres, C. A., & Reis, M. A. (2017). Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. *Bioresource technology*, *245*, 1674–1683. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.092>
- Funabashi, M., Ninomiya, F. & Kunioka, M. (2007) Biodegradation of Polycaprolactone Powders Proposed as Reference Test Materials for International Standard of Biodegradation Evaluation Method. *J Polymer Environment* **15**, 7–17. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0041-4>
- García, A., Castillo, T., Ramos, D., Ahumada-Manuel, C. L., Núñez, C., Galindo, E., ... & Peña, C. (2020). Molecular weight and viscosifying power of alginates produced by mutant strains of *Azotobacter vinelandii* under microaerophilic conditions. *Biotechnology Reports*, *26*, e00436. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00436>

- Gasca-González, R., Prado-Rubio, O. A., Gómez-Castro, F. I., Fontalvo-Alzate, J., Pérez-Cisneros, E. S., & Morales-Rodriguez, R. (2019). Techno-economic analysis of alternative reactive purification technologies in the lactic acid production process. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 46, pp. 457-462). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50077-1>
- Gasser, E., Ballmann, P., Dröge, S., Bohn, J., & König, H. (2014). Microbial production of biopolymers from the renewable resource wheat straw. *Journal of Applied Microbiology*, 117(4), 1035-1044. <https://doi.org/10.1111/jam.12581>
- Hilares, R. T., Orsi, C. A., Ahmed, M. A., Marcelino, P. F., Menegatti, C. R., da Silva, S. S., & dos Santos, J. C. (2017). Low-melanin containing pullulan production from sugarcane bagasse hydrolysate by *Aureobasidium pullulans* in fermentations assisted by light-emitting diode. *Bioresource Technology*, 230, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.052>
- Jamshidian, H., Shojaosadati, S. A., Vilaplana, F., Mousavi, S. M., & Soudi, M. R. (2016). Characterization and optimization of schizophyllan production from date syrup. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 484-493. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.059>
- Jem, K. J., van der Pol, J. F., & de Vos, S. (2010). Microbial lactic acid, its polymer poly (lactic acid), and their industrial applications. In *Plastics from bacteria* (pp. 323-346). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03287-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03287-5_13)
- Jem, K. J., & Tan, B. (2020). The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(2), 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.002>
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Ribino, M., Selke, S.E., Singh, S. P.(2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An overview, *Macromolecules Bioscience*. 7(3), 255-277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>.
- Kanimozhi, J., Sivasubramanian, V., Achary, A., Vasanthi, M., Vinson, S. P., & Sivashankar, R. (2018). Bioprocessing of Agrofood Industrial Wastes for the Production of Bacterial Exopolysaccharide. In *Bioprocess Engineering for a Green Environment* (pp. 67-98). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22021-4>
- Koller, M., Maršálek, L., de Sousa Dias, M. M., & Braunegg, G. (2017). Producing microbial polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters in a sustainable manner. *New Biotechnology*, 37, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.05.001>
- Kuo, Y.-C., Yuan, S.-F., Wang, C.-A., Huang, Y.-J., Guo, G.-L., and Hwang, W.-S., 2015, Production of Optically Pure L-Lactic Acid from Lignocellulosic Hydrolysate by Using A Newly Isolated and D-Lactate Dehydrogenase Gene-Deficient *Lactobacillus paracasei* Strain, *Bioresource Technology*, 198, 651-657. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.071>
- Leathers, T. D., Nunnally, M. S., & Price, N. P. (2006). Co-production of schizophyllan and arabinoxylan from corn fiber. *Biotechnology Letters*, 28(9), 623-626 <https://doi.org/10.1007/s10529-006-0028-1>
- Lee, J. H., Jeong-Hwa, K. I. M., Mi-Ryung, K. I. M., Sung-Mi, L. I. M., Soo-Wan, N. A. M., Jin-Woo, L. E. E., & Sung-Koo, K. I. M. (2002). Effect of dissolved oxygen concentration and pH on the mass production of high molecular weight pullulan by *Aureobasidium pullulans*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12(1), 1-7
- Lee, J. H., Lee, I. Y., Kim, M. K., & Park, Y. H. (1999). Optimal pH control of batch processes for production of curdlan by *Agrobacterium* species. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 23(2), 143-148. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900714>

- Lopes, M. S. G., Gomez, J. G. C., Taciro, M. K., Mendonça, T. T., & Silva, L. F. (2014). Polyhydroxyalkanoate biosynthesis and simultaneous removal of organic inhibitors from sugarcane bagasse hydrolysate by *Burkholderia* sp. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 41(9), 1353-1363. <https://doi.org/10.1007/s10295-014-1485-5>
- Mahapatra, S., & Banerjee, D. (2013). Fungal exopolysaccharide: production, composition and applications. *Microbiology Insights*, 6, MBI-S10957. <https://doi.org/10.4137/MBIS10957>
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/POLYM12051127>
- Mazzoli, R., Bosco, F., Mizrahi, I., Bayer, E. A., and Pessione, E., 2014, Towards Lactic Acid Bacteria-Based Biorefineries, *Biotechnology Advances*, 32(7), 1216-1236. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.07.005>
- Méndez-Alva, J. A., Perez-Cisneros, E. S., Rodriguez-Gomez, D., Prado-Rubio, O. A., Ruiz-Camacho, B., & Morales-Rodriguez, R. (2018). Computer-aided process simulation, design and analysis: lactic acid production from lignocellulosic residues. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 44, pp. 463-468). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50072-0>
- Mohammadinejad, R., Kumar, A., Ranjbar-Mohammadi, M., Ashrafizadeh, M., Han, S. S., Khang, G., & Roveimiab, Z. (2020). Recent Advances in Natural Gum-Based Biomaterials for Tissue Engineering and Regenerative Medicine: A Review. *Polymers*, 12(1), 176. <https://doi.org/10.3390/polym12010176>
- Mohapatra, S., Mohanta, P. R., Sarkar, B., Daware, A., Kumar, C., & Samantaray, D. P. (2017). Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by *Bacillus* strain isolated from waste water and its biochemical characterization. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 87(2), 459-466. <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0626-6>
- Mohsin, A., Sun, J., Khan, I. M., Hang, H., Tariq, M., Tian, X., ... & Mohsin, M. Z. (2019). Sustainable biosynthesis of curdlan from orange waste by using *Alcaligenes faecalis*: A systematically modeled approach. *Carbohydrate Polymers*, 205, 626-635. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.047>
- Orozco-Flores, A. A., Zúñiga-Sánchez, J. O., Iracheta-Cárdenas, M. M., Gomez-Flores, R., Romo-Sáenz, C. I., Rodríguez-Padilla, C., & Tamez-Guerra, P. (2020). Semi-pilot production of xanthan gum using nejayote as culture medium substrate. *BMC Microbiology, Applied Microbiology* 2020 <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-24096/v1>
- Ozidal, M.; Başaran Kurbanoglu, E. Use of Chicken Feather Peptone and Sugar Beet Molasses as Low Cost Substrates for Xanthan Production by *Xanthomonas campestris* MO-03. *Fermentation* 2019, 5, 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010009>
- Pan, W., Perrotta, J. A., Stipanovic, A. J., Nomura, C. T., & Nakas, J. P. (2012). Production of polyhydroxyalkanoates by *Burkholderia cepacia* ATCC 17759 using a detoxified sugar maple hemicellulosic hydrolysate. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 39(3), 459-469. <https://doi.org/10.1007/s10295-011-1040-6>
- Parente, E., Piraino, P., Fidaleo, M., & Moresi, M. (2004). Overall volumetric oxygen transfer coefficient in an aerated bench-top stirred fermenter in aqueous dispersions of sodium alginate. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 40(2), 133-143. <https://doi.org/10.1042/BA20030213>
- Pereira, S. B., Sousa, A., Santos, M., Araújo, M., Serôdio, F., Granja, P., & Tamagnini, P. (2019). Strategies to obtain designer polymers based on cyanobacterial extracellular polymeric substances (EPS). *International Journal of Molecular Sciences*, 20(22), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms20225693>
- Qualman, D. (2017) Global Plastics Production, 1917 to 2050 [Online]. <https://www.darrinqualman.com/global-plastics-production/>

- Ramsay, J. A., Hassan, M. C. A., & Ramsay, B. A. (1995). Hemicellulose as a potential substrate for production of poly ( $\beta$ -hydroxyalkanoates). *Canadian Journal of Microbiology*, 41(13), 262-266. <https://doi.org/10.1139/m95-195>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos, *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 22(3). [https://www.researgate.net/publication/328676031\\_biodegradabilidad de materiales bioplásticos](https://www.researgate.net/publication/328676031_biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos).
- Ruggery, A. (2018). ¿Son los bioplásticos y biopolímeros realmente biodegradables? *Grupo Wedbrrand Rastreador*. <https://www.swedbrand-group.com/blog/bioplastic-biopolymers-really-biodegradable>.
- Saeed, S., Hashmi, A. S., Ikram-ul-Haq, M., Awan, A. R., Anjum, A. A., & Firyal, S. (2016). Bioconversion of agricultural by-products to alginate by *Azotobacter vinelandii* and physico-chemical optimization for Hyper-production. *J. Anim. Plant Sci*, 26(5), 1516-1521.
- Saeed, S., Hashmi, A. S., Tayyab, M., Awan, A. R., Anjum, A. A., & Firyal, S. (2016a). Hyperproduction of alginate by mutated strain of *Azotobacter vinelandii* through submerged fermentation. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(5).
- Saeed, S., Saeed, S., Masood, F., Firyal, S., & Tayyab, M. (2019). Potential of Carica papaya Waste for the Production of Alginic Acid by Fermentation Organic and Biochemistry. *J Chem. Soc. Pak*, 41(04), 679.
- Sahana, T. G., & Rekha, P. D. (2018). Biopolymers: Applications in wound healing and skin tissue engineering. *Molecular Biology Reports*, 45(6), 2857–2867. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4296-3>
- Salamanca-Cardona, L., Scheel, R. A., Lundgren, B. R., Stipanovic, A. J., Matsumoto, K. I., Taguchi, S., & Nomura, C. T. (2014). Deletion of the pflA gene in *Escherichia coli* LS5218 and its effects on the production of polyhydroxyalkanoates using beechwood xylan as a feedstock. *Bioengineered*, 5(5), 284-287. <https://doi.org/10.4161/bioe.29595>
- Salehi, F. (2019). Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food Science and Nutrition*, 7(11), 3391–3402. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1245>
- Saratale, R. G., Saratale, G. D., Cho, S. K., Kim, D. S., Ghodake, G. S., Kadam, A., ... & Shin, H. S. (2019). Pretreatment of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) biomass feedstock for polyhydroxybutyrate (PHB) production and characterization. *Bioresource Technology*, 282, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.083>
- Seviour, R. J., McNeil, B., Fazenda, M. L., & Harvey, L. M. (2011). Operating bioreactors for microbial exopolysaccharide production. *Critical Reviews in Biotechnology*, 31(2), 170-185. <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.505909>
- Sharma, N., Prasad, G. S., & Choudhury, A. R. (2013). Utilization of corn steep liquor for biosynthesis of pullulan, an important exopolysaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 93(1), 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.059>
- Sheoran, S. K., Dubey, K. K., Tiwari, D. P., & Singh, B. P. (2012). Directive production of pullulan by altering cheap source of carbons and nitrogen at 5 l bioreactor level. *International Scholarly Research Notices*, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/867198>
- Shinkawa, S., Okano, K., Yoshida, S., Tanaka, T., Ogino, C., Fukuda, H., and Kondo, A., 2011, Improved Homo L-Lactic Acid Fermentation from Xylose by Abolishment of the Phosphoketolase Pathway and Enhancement of the Pentose Phosphate Pathway in Genetically Modified Xylose-Assimilating *Lactococcus lactis*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(6), 1537-1544. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3342-z>

- Shu, C. H., & Hsu, H. J. (2011). Production of schizophyllan glucan by *Schizophyllum commune* ATCC 38548 from detoxified hydrolysate of rice hull. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(3), 387-393. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.08.009>
- Sudesh, K., Abbe, H., Doi, Y. (2000). Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters. *Progress in Polymer Science*. 25(10), 1503-1555. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00035-6)
- Silva, L. F., Taciro, M. K., Raicher, G., Piccoli, R. A. M., Mendonca, T. T., Lopes, M. S. G., & Gomez, J. G. C. (2014). Perspectives on the production of polyhydroxyalkanoates in biorefineries associated with the production of sugar and ethanol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 71, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.06.065>
- Sindhu, R., Silviya, N., Binod, P., & Pandey, A. (2013). Pentose-rich hydrolysate from acid pretreated rice straw as a carbon source for the production of poly-3-hydroxybutyrate. *Biochemical Engineering Journal*, 78, 67-72. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2012.12.015>
- Singh, R. S., & Kaur, N. (2019). Understanding response surface optimization of medium composition for pullulan production from de-oiled rice bran by *Aureobasidium pullulans*. *Food Science and Biotechnology*, 28(5), 1507-1520. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00585-w>
- Singh, A. K., Srivastava, J. K., Chandel, A. K., Sharma, L., Mallick, N., & Singh, S. P. (2019). Biomedical applications of microbially engineered polyhydroxyalkanoates: an insight into recent advances, bottlenecks, and solutions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(5), 2007–2032. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09604-y>
- Sukan, A., Roy, I., & Keshavarz, T. (2014). Agro-industrial waste materials as substrates for the production of poly (3-hydroxybutyric acid). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 5(4), 229-240. <https://doi.org/10.4236/jbnt.2014.54027>
- Survase, S. A., Saudagar, P. S., & Singhal, R. S. (2007). Use of complex media for the production of scleroglucan by *Sclerotium rolfsii* MTCC 2156. *Bioresource Technology*, 98(7), 1509-1512. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.022>
- Tan, G. Y. A., Chen, C. L., Li, L., Ge, L., Wang, L., Razaad, I. M. N., ... & Wang, J. Y. (2014). Start a research on biopolymer polyhydroxyalkanoate (PHA): a review. *Polymers*, 6(3), 706-754. <https://doi.org/10.3390/polym6030706>
- Taskin, M., Erdal, S., & Canli, O. (2010). Utilization of waste loquat (*Eriobotrya japonica* Lindley) kernels as substrate for scleroglucan production by locally isolated *Sclerotium rolfsii*. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 1069-1075. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0150-7>
- Valdez, A. L., Babot, J. D., Schmid, J., Delgado, O. D., & Fariña, J. I. (2019). Scleroglucan Production by *Sclerotium rolfsii* ATCC 201126 from Amylaceous and Sugarcane Molasses-Based Media: Promising Insights for Sustainable and Ecofriendly Scaling-Up. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(12), 2804-2818. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01546-4>
- Velde, K. Van De, & Kiekens, P. (2002). Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing*, 21, 433–442.
- Vijayendra, S. V., Shamala, T. R. (2014). Film forming microbial biopolymers for commercial applications .Review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34(4), 338-357. <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.798254>
- Vroman, I., Tighzert, L. (2009). Review biodegradable polymers. *Materials*. 2, 307-344. DOI:10.3390/ma2020307

- Wang, Y., & McNeil, B. (1996). Scleroglucan. *Critical Reviews in Biotechnology*, 16(3), 185-215. <https://doi.org/10.3109/07388559609147421>
- Wang, M., & Bi, J. (2008). Modification of characteristics of kefiran by changing the carbon source of *Lactobacillus kefiranofaciens*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 763–769.
- Willis, K. J. (ed. . (2018). *State of the World's Fungi 2018*. Royal Botanic Gardens. Kew.
- Wu, S., Lu, M., Fang, Y. et al. Production of Curdlan Grown on Cassava Starch Waste Hydrolysates. *J Polym Environ* 26, 33-38 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0912-2>
- Yoshida, S., Okano, K., Tanaka, T., Ogino, C., and Kondo, A., 2011, Homo-D-Lactic Acid Production from Mixed Sugars Using Xylose-Assimilating Operon-Integrated *Lactobacillus plantarum*, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 92(1), 67-76. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3356-6>
- Yu, J., & Stahl, H. (2008). Microbial utilization and biopolyester synthesis of bagasse hydrolysates. *Bioresource Technology*, 99(17), 8042-8048. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.071>
- Zhan, X. B., Lin, C. C., & Zhang, H. T. (2012). Recent advances in curdlan biosynthesis, biotechnological production, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(2), 525-531. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3740-2>
- Zhang, Y., Kong, H., Fang, Y., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2013). Schizophyllan: A review on its structure, properties, bioactivities and recent developments. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 1(1), 53–71. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2013.01.002>
- Zhu, B. J., Zayed, M. Z., Zhu, H. X., Zhao, J., & Li, S. P. (2019). Functional polysaccharides of carob fruit: A review. *Chinese Medicine (United Kingdom)*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13020-019-0261-x>

**Capítulo 10 Uso del mezquite (*Prosopis spp.*) como recurso alimenticio****Chapter 10 Use of mesquite (*Prosopis spp.*) as a food resource**

ALTAMIRANO-FORTOUL, Rossana del Carmen†\*

*Universidad de la Cañada, Instituto de Tecnología de los Alimentos*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Rossana del Carmen, Altamirano-Fortoul* / **ORC ID:** 0000-0002-5323-8931, **CVU CONACYT ID:** 176818

**DOI:** 10.35429/H.2020.9.130.147

R. Altamirano

rossana@unca.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) *Biología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.*

## Resumen

En los últimos años han surgido cambios relacionados con las costumbres alimenticias entre los cuales destaca el interés por los alimentos con cierto valor añadido como son los ricos en fibra dietética, ácidos grasos, probióticos, prebióticos, bajos en calorías, en grasas y con aditivos naturales que prolonguen su vida útil. En consecuencia, las investigaciones se han centrado en explorar diferentes alternativas para dar respuesta a dichas demandas. Sin embargo, el desarrollo de nuevos productos alimenticios es un constante desafío, el cual incluye como parte fundamental la optimización de los ingredientes para generar la mejor formulación. Además, se ha fortalecido el interés mundial en investigar cultivos subexplotados, ya no solo por el aspecto agronómico, sino por su valor nutritivo. Uno de estos cultivos es el mezquite, ya que dentro de sus usos tradicionales y antiguos se encuentra el empleo de sus vainas o frutos en la alimentación humana. Por lo tanto, en este capítulo se incide el interés por rescatar el uso de la vaina de mezquite como materia prima en productos alimenticios tales como los productos de panificación, lo anterior con el fin de aumentar el aporte de fibra, minerales, así como el contenido de proteína, sin afectar sus propiedades tecnológicas y sensoriales.

### **Vaina de mezquite, Productos con valor añadido, Productos de panificación.**

#### **Abstract**

In recent years, changes have emerged in eating habits, including interest in foods with a certain added value, such as rich in dietary fibre, fatty acids, probiotics, prebiotics, reduced calories, low-fat foods, and foods with natural additives which extend their shelf life. Consequently, the research has focused on explore different alternatives to meet these demands. However, the development of new food products is a constant challenge, which includes the optimization of the used ingredients as a fundamental step to develop the best formulation. In addition, there is a great world's interest to investigate the under-exploited crops, not only due to the agronomic interest, but for their nutritional value. One of these crops is the mesquite, since its traditional and ancient uses includes the utilization of pods or fruits as human food. Therefore, this chapter review the interest to rescue the use of the mesquite pod as a raw material in food products such as bakery products in order to increase the fiber, minerals, and protein content, without modify their technological and sensory properties.

### **Mesquite pods, Added value products, Bakery products.**

## **10. Introducción**

México posee una diversidad de productos agrícolas con propiedades nutricionales excelentes, entre éstos se encuentra el mezquite; el cual se localiza en zonas áridas y semiáridas de México, siendo una de ellas la Cañada Oaxaqueña, es subutilizado, debido principalmente al desconocimiento de sus características químicas, físicas y funcionales ya que existe un gran número de especies de *Prosopis* que no han sido estudiadas desde el punto de vista funcional y nutricional.

El mezquite es científicamente conocido como *Prosopis*, pertenece a la familia *Leguminosae*, de la subfamilia *Mimosoideae*, que incluye aproximadamente 44 especies de mezquite, de las cuales 42 se encuentran localizadas en el continente americano (Felker, Takeoka y Dao, 2013). Siendo un recurso biótico, de él se obtienen varios productos entre los cuales se encuentran muebles, combustible y sus frutos o vainas que se emplean intensivamente como forraje para ganado, así como también es consumido como alimento por los habitantes de ciertas regiones donde prevalece este árbol. La vaina de mezquite, es de color amarillenta, marrón o negra (dependiendo de la especie) compuesta por: exocarpio, mesocarpio (pulpa), que juntos representan entre 55-58% en peso del fruto, según la especie, endocarpio (30-35% del fruto) y semillas (aproximadamente 10-14%) (Grados y Cruz, 1996).

El uso de las vainas de mezquite en la alimentación humana es muy antiguo, tanto en América, como en Asia y África. Las vainas de mezquite son dulces por su alto contenido de sacarosa, así como ricas en fibra, proteínas y minerales; pese a estos beneficios aún no se ha desarrollado por completo una forma factible para transformar la materia prima y darle valor agregado; por ejemplo, las proteínas presentes en harina de las vainas tienen un comportamiento viscoelástico semejante al del gluten de trigo, lo cual podría aprovecharse para generar nuevos productos derivados de cereales.

Pero en México existe escasa información acerca de la inclusión de las vainas de mezquite en formulaciones alimenticias con el fin de obtener productos que reúnan las características aceptables por los consumidores, además de aportar o reforzar nutrimentos que proporcionen un efecto benéfico a la salud de éstos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue plasmar el uso del mezquite en productos alimenticios. Para esto se recopiló información referente al mezquite, así como la importancia de uno de sus productos principales, las vainas o frutos; las cuales son una alternativa para implementar en el desarrollo de nuevos productos alimenticios en nuestro país, ya que estas son consumidas en bebidas o platillos en países del Sur de América. Cabe señalar que en este capítulo además de identificar productos elaborados a partir de los frutos o vainas de mezquite en otros países, se hace mención del desarrollo de nuevos productos de panificación a partir de vainas de mezquite procedentes de la Región Cañada, Oaxaca.

En este capítulo se presentan algunos resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto “*Evaluación del efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (Prosopis laevigata) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales*” aprobado y financiado por PRODEP en su convocatoria PRODEP-NPTC 2016. El proyecto fue desarrollado en el Taller de Alimentos y laboratorio de biología de la Universidad de la Cañada. El objetivo de dicho proyecto fue evaluar el efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y aceites esenciales en diferentes formulaciones de productos derivados de cereales.

Con la información expuesta en este capítulo se busca contribuir en el aprovechamiento de la vaina de mezquite para el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Así mismo, los resultados obtenidos en los productos de panificación ayuden a conocer sobre cómo la inclusión de harina de vaina de mezquite influye sobre las propiedades tecnológicas, nutricionales, así como sensoriales en los productos finales; lo anterior con el propósito de potencializar su valor agregado.

### 10.1 Generalidades del mezquite

El mezquite, proveniente de la palabra azteca misquite y recibe diferentes nombres que dependen de la región en donde se localiza, algunos son úthu, chúcata y tirtzecua en Michoacán; mientras que en Colima, Jalisco y Nayarit se le conoce como algarrobo (Trejo, 2010). Es una especie botánica que pertenecen a la familia *Leguminosae*, subfamilia *Mimosoideae*, y género *Prosopis*. México posee una amplia extensión de mezquite; de acuerdo a Palacios (2006), se estiman 11 especies de *Prosopis* en el territorio nacional, entre las que se encuentran *P. odorata*, *P. glandulosa*, *P. glandulosa var glandulosa*, *P. velutina*, *P. articulata*, *P. tamaulipana*, *P. yaquiana sp.*, *P. vidualiana*, *P. laevigata* y *P. mezcalina sp.*

El género *Prosopis* es una planta arbustiva silvestre que habita en las zonas áridas, semiáridas y subtropicales de diferentes partes del mundo. Sin embargo, su origen se ubica en África, donde persiste como una sola especie; *Prosopis africana*. En nuestro país, el mezquite se encuentre principalmente en el Norte, centro y en la vertiente del pacífico desde Michoacán hasta Oaxaca, ya que se presentan las condiciones necesarias para su desarrollo (Palacios, 2006); puesto que dicha planta se caracteriza por ser una de las más resistentes en las zonas secas debido a la capacidad de almacenamiento de agua, a sus raíces profundas y a la fijación de nitrógeno en el suelo. Esto último indica que produce sus propios compuestos debido a la simbiosis entre las bacterias fijadoras de nitrógeno y los nódulos que se desarrollan en sus raíces; lo cual da lugar a que no necesite fertilización con nitrógeno para un mejor crecimiento.

En general, el mezquite está constituido por la morfología que se describe a continuación (Valenzuela et al., 2015):

**Raíz.** - Es amplia y profunda, llegando a alcanzar más de 50 m y sus raíces laterales se extienden hasta 15 m a los lados del árbol.

**Tronco y ramas.** – El tronco presenta una corteza oscura, las ramas son flexuosas que forman una copa esférica con espinas axiales y tallos delgados, así como afilados y provistos de abundante parénquima cortical cumpliendo la labor de hojas atrofiadas.

**Hojas.** - Son compuestas, biparipinnadas, estipulas subuladas, con glándulas sensibles que cuentan con 12 a 15 pares de folíolos oblongos o lineares, de 5 a 10 mm de largo; únicamente presenta un par de pinnas por hoja. La época de formación de renuevos se extiende desde marzo hasta mayo; los folíolos permanecen en la planta de abril a diciembre.

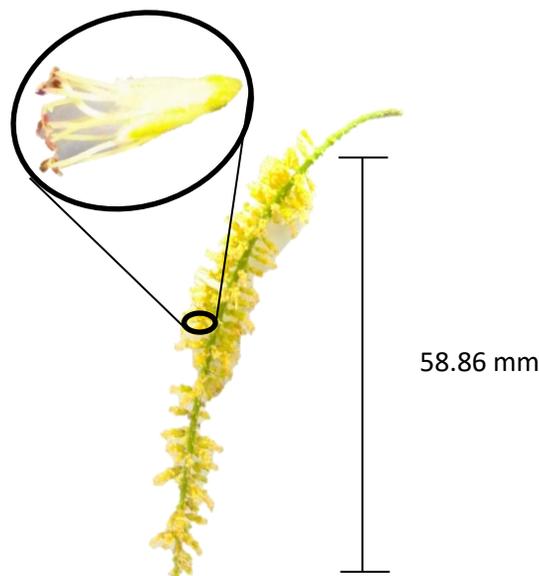
**Flores.** - Son de color amarillo verdoso, bisexuales y actinomorfas con 5 sépalos y 10 estambres, se encuentran agrupadas en racimos con forma de espiga; las flores son pequeñas, miden de 34 a 10 mm y están situadas sobre pedúnculos de 1 a 2 mm, produciendo un aroma agradable (Rodríguez et al., 2014).

**Fruto.** - los frutos son vainas o legumbres en forma alargada, recta o arqueadas y en algunos casos; se desarrolla cuando la flor ha sido fecundada.

De acuerdo a la literatura, en el altiplano norte-centro y en partes de Morelos, Puebla, Tamaulipas, Chiapas y Oaxaca, la especie que predomina es *Prosopis laevigata*; la cual es una planta leñosa que se visualiza como arbusto midiendo entre 2 y 3 m; no obstante, puede crecer en forma de árbol teniendo una altura de 6 a 14 m. Estudios realizados por Ortiz (2019) en árboles de mezquite localizados en Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca (Región Cañada); presentaron las siguientes características:

Se pueden encontrar árboles o arbustos de 3.0-9.0 m de alto, sus hojas presentan estípulas de 2.5-4.0 mm de largo, subuladas, glabras, margen espaciadamente ciliado; pecíolos de 0.2-3.5 cm de largo, con una glándula cilíndrica; raquis a veces con glándulas cilíndricas; pinnas 1-2 pares; folíolos 15-30 pares por pinna de 0.5-1.2 cm largo y 1.0-3.0 mm de ancho; lineares u oblongos, base oblicua, ápice agudo u obtuso, glabros o puberulentos en ambas superficies; generalmente glaucos, nervaduras reticuladas prominentes en el envés, margen espaciadamente ciliado o liso, subcoriáceos. También cuentan con racimos que pueden contener de 150-300 flores de 5.0-13.0 cm largo, solitarios o en fascículos de 2-4; pedúnculos de 0.5-2.0 cm largo, brácteas del pedúnculo entre 1-2, así como 1.0-3.0 mm de largo; cuculiformes a lanceoladas, brácteas florales de 0.5-0.7 mm de largo, espatuladas a cuculiformes, glabras a pubescentes. Las flores con pedicelos entre 0.5-1.0 mm largo, glabros a pubescentes; cáliz de 0.6-1.0 mm largo, campanulado, margen ciliado o liso; corola de 2.5-4.0 mm de largo, con 5 pétalos linear-lanceolados, amarillos a blanco-verdosos o blanco-amarillentos; superficie externa glabra a puberulenta, superficie interna lanosa, fusionados hasta la mitad de su longitud o libres en la antesis; cuenta con 10 estambres, filamentos libres, blancos; ovario glabro o lanoso, estilo veloso y estigma truncado (Figura 10.1).

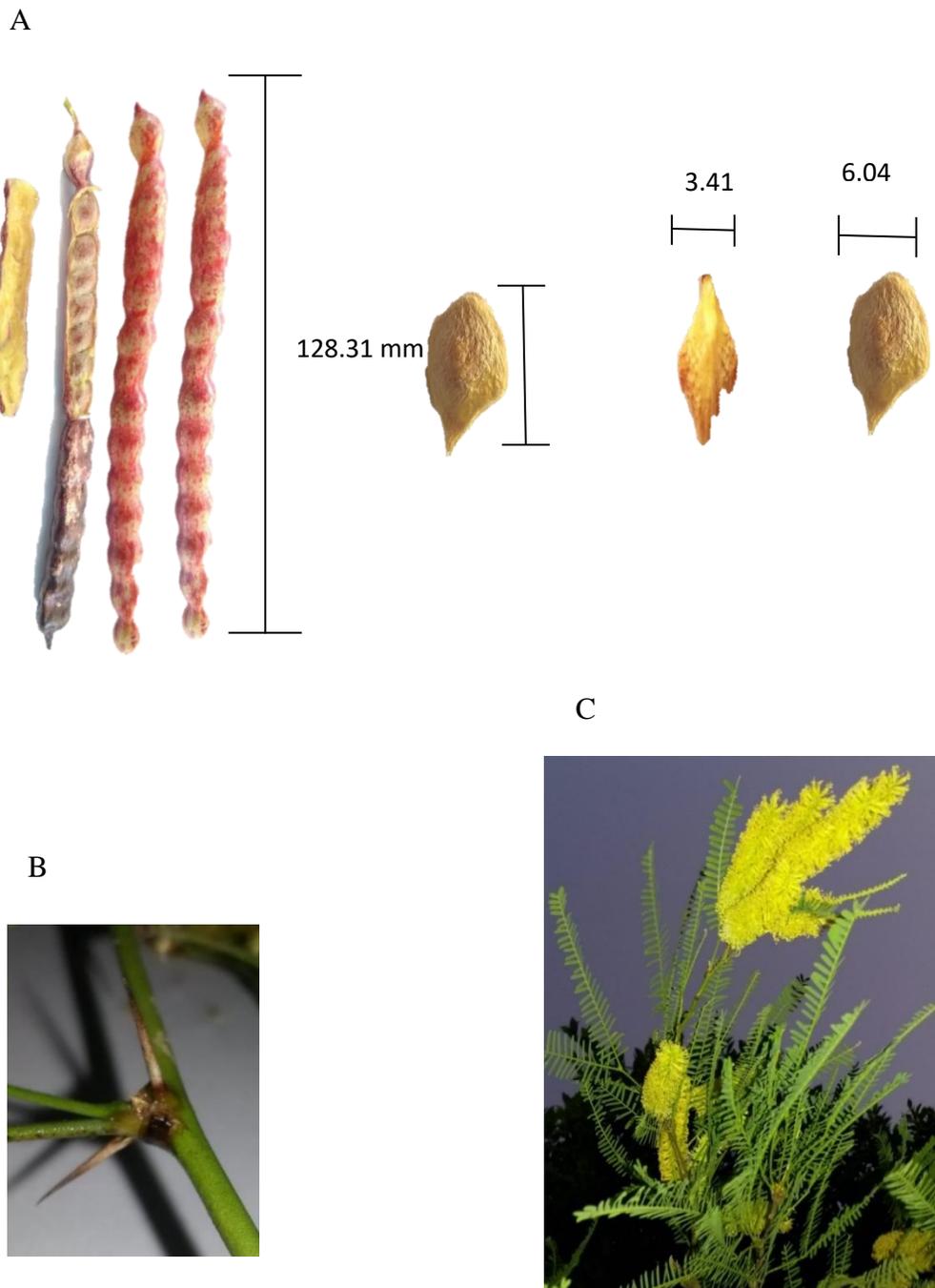
**Figura 10.1** Flor de *Prosopis laevigata*



Fuente de Consulta: Ortiz (2019)

En el caso de los frutos o vainas conocidas como legumbres se encuentran de 1-6 por racimo, entre 6.0-21.0 cm de largo y 7.0-11.0 mm de ancho, son rectas o ligeramente curvadas, comprimidas o no entre las semillas; presentan exocarpio estriado, glabro o puberulento; estas vainas pueden ser de color amarillo a rojizo, contando con semillas de 10-20 por vaina, insertadas oblicua a transversalmente en el fruto y son lenticulares (Figura 10.2 A). Además, tienen ramas con espinas caulinares, rectas de 0.5-9.0 cm de largo y laterales a las estípulas (Figura 10.2 B y C).

**Figura 10.2** Frutos o vainas de *Prosopis laevis*



Frutos o vainas (A), Espinas (B) y Rama floreciendo (C)  
Fuente de Consulta: Ortiz (2019)

Por otra parte, a pesar de que algunas especies de mezquite son consideradas como mala hierba, la mayoría de éstas han sido usadas para mejorar el ecosistema, así como en diferentes áreas, tal y como se presenta en la Tabla 10.1, en donde se especifica el uso y aprovechamiento de cada parte del mezquite. Como se observa, el mezquite tiene diversos usos, desde medicina debido a sus funciones antiséptica, propiedades antibacterianas y antivirales; hasta en la elaboración de muebles con su madera o la obtención de harina a través de la molienda de su fruto o vaina.

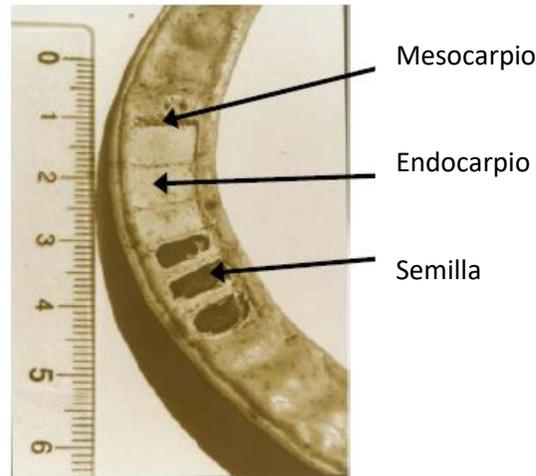
**Tabla 10.1** Usos y aprovechamiento del mezquite

Parte apreciable	Alimentación humana	Medicina	Forrajero	Forestal
<b>Corteza</b>		Antidisentérico y gastritis. Infusión de trozos de corteza.		Curtiduría. Corteza del mezquite.
<b>Ramas y tronco</b>		Desinflamatorio. Pomada de ceniza de leña con manteca		Arados, construcción de viviendas, vigas, elaboración de artesanías, refugio de vida silvestres.
<b>Hojas</b>		Antiséptico. Lavado de los ojos con infusión a partir de las hojas.	Ramoneo de follaje verde o seco. Ganado bovino, caprino, ovino, caballar, mular, asnal y porcino.	
<b>Flor</b>	Miel (generada por las abejas que chupan el néctar de la flor).			
<b>Vaina</b>	Fruta fresca, fruta en almíbar, pinole, queso de mezquite (alimento básico de los chichimecas), piloncillo, atole, vino.		Consumo de vainas y harinas.	
<b>Goma</b>	Goma y golosina de niños.	Laringitis. La goma disuelta para la infusión.		Pólvora de escasa potencia.

Fuente de Consulta: Cervantes (2002)

## 10.2 Vaina de mezquite

Como se mencionó, el mezquite produce frutos, a los cuales se les denomina vainas, éstas son de color amarillo pálido, café o negro dependiendo de la especie; con forma de fruta dehiscente carnosa alargada levemente curvadas que contiene entre 12 a 20 semillas. La vaina puede llegar a medir 10 a 25 cm de largo, de 1.5 cm de ancho y 0.8 cm de espesor, con un peso promedio de 12 g; la cual está conformada por tres partes principales (Figura 10.3): mesocarpio constituye 58%, endocarpio 35% y semilla 14%. La semilla es lenticular, comprimida, su color varía de café claro a oscuro en base a la especie, variedad y sitio donde se produce (Grados y Cruz, 1996; Sciammaro, Ferrero y Puppo, 2016). La productividad de la vaina depende de la edad del árbol y la calidad del suelo; por ejemplo, los árboles viejos llegan a producir hasta 100 kg de vainas al año, mientras que los árboles adultos presentan una producción entre 40 kg por año.

**Figura 10.3** Estructura de la vaina de *Prosopis spp.*

Fuente de Consulta: Adaptado de Felker (2013)

Debido a que el mezquite es una planta silvestre, se tiene mayor acceso a éste para la recolección de las vainas, las cuales se recogen manualmente y posteriormente son almacenadas para evitar que insectos como *Bruchidae* y *Pyralidae* las infesten. El procesamiento de los frutos de *Prosopis spp.* dependerá del producto que se desee obtener, ya sea utilizando la totalidad de la vaina o alguna de las fracciones (exocarpio, mesocarpio, endocarpio o semillas). Cada uno de estos componentes puede tener aplicaciones industriales en la elaboración de alimentos.

Por otra parte, varios autores han estudiado vainas de especies de mezquite originadas en regiones geográficamente diferentes, lo anterior con el propósito de evaluar sus propiedades nutricionales. Sin embargo, la interpretación de los resultados es difícil, debido a que en algunos casos denominan vaina a la fruta entera, pero en otros se refiere al pericarpio (vainas sin semillas). Aunado a esto, se ha reportado que existe una variación significativa en los valores nutricionales entre especies e incluso entre plantas de la misma especie. No obstante, en general las vainas contienen de 7-22% de proteína, 30-75% de carbohidratos, cantidades aceptables de minerales (3 a 6%), 2.8% grasas, 11 a 35% de fibra cruda y un perfil completo de aminoácidos (Barba de la Rosa et al., 2006; Altamirano-Fortoul 2018; Ruiz, 2011). Además, la composición aminoacídica de sus proteínas deja ver la presencia de importantes cantidades de aminoácidos esenciales, destacando el contenido relativamente alto de lisina; lo cual convertirían a las vainas de mezquite en un excelente complemento de otras proteínas deficientes en este aminoácido, como es el caso de los cereales.

En la Tabla 10.2 se muestra una comparación de nutrientes presentes en diferentes variedades de *Prosopis*. En donde Felker et al. (2013) informaron para *P. alba* un contenido proteico de 7.17%. Prokopiuk et al. (2000) destaca un contenido de azúcar (principalmente sacarosa) mayor al 30% en la fracción del mesocarpio de las vainas. Debido a esto, las harinas obtenidas de las vainas son dulces por su alto contenido de sacarosa constituyendo un alimento que aporta energía. Además, varios autores han estudiado la especie de *P. pallida* encontrando rangos para la proteína de 8.11%, fibra 3.4%, grasa 0.77%. De igual forma, las vainas de *Prosopis spp.* contienen, entre otros minerales, potasio, calcio y magnesio. Además de su aporte nutricional debe destacarse el alto contenido de fibra dietética (principalmente fibra insoluble), así como su composición aminoacídica de las proteínas deja ver la presencia de importantes cantidades de aminoácidos esenciales, excepto (según la especie) de metionina, isoleucina y treonina (Ortiz 2019). Por otro lado, en el estudio realizado en árboles de *P. laevigata*, ubicados en la Cañada Oaxaqueña, específicamente en Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca, se encontró que las vainas presentaron un alto contenido de humedad, grasa, ceniza y carbohidratos, al compararlo con los resultados para otros *Prosopis* descritos (Felker et al., 2013; Prokopiuk 2004; Barba de la Rosa et al., 2006; Ruiz, 2011; González-Barrón et al., 2020). No obstante, cabe señalar que los valores obtenidos en este estudio, presentan diferencias; lo anterior debido a las variedades de *Prosopis*, al estado de madurez de la vaina (vainas verdes, vainas maduras y vainas secas), el tratamiento aplicado a la vaina previo al secado, así como la fracción de la vaina (mesocarpio, endocarpio, pericarpio y semilla) utilizada para el estudio.

**Tabla 10.2** Principales nutrientes en las vainas procedentes de *Prosopis alba*, *P. glandulosa*, *P. velutina*, *P. pallida* y *P. laevigata*

Contenido (g/100g)	<i>P.pallid</i> <i>a</i> <sup>A</sup>	<i>P.pallida</i> <sup>B</sup>	<i>P.alba</i> <i>B</i>	<i>P.alba</i> <sup>C</sup>	<i>P.velutina</i> <i>D</i>	<i>P.glandulos</i> <i>a</i> <sup>E</sup>	<i>P.laevigata</i> <sup>F</sup>
Contenido de humedad	----	3.39	2.57	7.17	----	8.53	15.05
Proteína	8.11	8.11	7.17	7.03	9.5	6.81	7.05
Grasa	0.77	0.77	2.17	0.71	2	2.79	5.26
Colesterol	----	----	----	----	----	----	----
Cenizas	----	3.6	3.13	2.58	4.5	3.44	6.06
Fibra	----	----	----	----	16	26.57	----
Fibra cruda	----	3.4	2.43	2.07	----	----	4.52
Sacarosa	46.35	----	----	38.2	----	27.02	----
Azúcares totales	----	48.5	59.1	----	48	31.6	62.06
Taninos	----	0.41	0.57	0.583	----	----	----
Minerales	----	----	----	----	----	----	----
mg/100g	----	----	----	----	----	----	----
Calcio	75.9	76	127	200	----	420	----
Fosforo	----	----	----	140	----	----	----
Potasio	2650	----	----	360	----	1030	----
Sodio	113	----	----	136	----	80	----
Magnesio	90.4	----	----	81	----	60	----

Fuente de Consulta: <sup>A</sup>Grados y Cruz (1996); <sup>B</sup>Felker y col. (2003); <sup>C</sup>Prokopiuk (2004); <sup>D</sup>Meyer (1984); <sup>E</sup>Becker y Grosjean (1980); <sup>F</sup>Ortiz (2019)

De acuerdo a lo anterior, debido al alto valor nutritivo presente en la vaina de mezquite, es común el uso de ésta como parte de la dieta del ganado. Además, su consumo reduce el costo de las raciones alimenticias que son proporcionadas al ganado bovino lechero y principalmente al de engorda, al igual que al porcino y caprino y con menor intensidad al caballar, asnal y mular (Arnero, 2015). Sin embargo, el uso de la vaina en la alimentación humana es de los elementos menos estudiados, en la Tabla 10.3 se presentan las posibles aplicaciones de la vaina de mezquite, en donde se hace referencia a la separación de la vaina en tres fracciones para la posterior obtención de varios productos.

**Tabla 10.3** Posibles utilizaciones de la vaina de mezquite

Parte de la vaina	Aplicación
<b>Exo y Mesocarpio</b>	Sucedáneo de café Sucedáneo de cacao Jarabe de algarroba Aditivo para comidas dietéticas
<b>Endocarpio</b>	Aditivo para comidas
<b>Semillas Cotiledón Endospermo</b>	Concentrado proteico Goma

Fuente de Consulta: Grados y Cruz (1996)

### 10.3 Uso e importancia de la vaina de mezquite en la alimentación humana

La utilización de la vaina de mezquite como alimento humano es muy antiguo, tanto en Asia, África, así como en América (principalmente Perú, Chile y Argentina), siendo en estos países en donde se le conoce como vainas de algarrobo o algarroba. No obstante, en México, los primeros registros arqueológicos (6500 a.C) se encuentran en el Valle de Tehuacán, en donde se hallaron vainas de mezquite masticadas (Smith, 1967); así mismo hay evidencias de que los indios cazadores Chichimecas cosechaban las vainas de los mezquites para consumirlas como fruta seca o elaboraban una solución a partir del jugo de ésta. Además, las vainas jugaron un papel importante en el desierto de Sonora, ya que las tribus elaboraban harina y masa con la pulpa seca o tostada de las vainas maduras.

Por lo tanto, el uso de vainas de mezquite para consumo humano data de hace mucho tiempo. Sin embargo, su uso en México se ha reducido significativamente, ya que solo las personas mayores de algunos pueblos siguen conservando las costumbres de sus ancestros para elaborar productos como bebidas, piloncillo, pan y atole a partir de vaina de mezquite.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, el mezquite pertenece a la familia de las leguminosas. La importancia alimenticia de éstas, radica en su alto contenido en proteínas, así como su conveniente proporción de grasas, su contenido de carbohidratos y minerales, lo cual ha propiciado su uso como alimento a lo largo de los siglos. Sin embargo, las legumbres presentan factores no nutritivos, cuya eliminación es ineludible si se las quiere usar como alimento. La mayoría de estas sustancias se eliminan mediante el remojo y la cocción, permitiendo que la utilización de las legumbres como parte de la dieta humana se haya preservando. Además de su elevada calidad nutricional, se ha demostrado que las leguminosas protegen frente a ciertas enfermedades como problemas cardiovasculares, diabetes, obesidad y cáncer.

De acuerdo a lo anterior, es importante conocer algunos productos obtenidos a partir de las vainas de mezquite con el fin recuperar su uso y aplicación en productos alimenticios o en el desarrollo de nuevos productos.

#### 10.4 Harina

La harina de mezquite es un polvo fino que se obtiene de la molienda y tamizado de las vainas; para esto se utilizan tamices que proporcionen un producto con un tamaño de partícula fina (Figura 10.4). En México no se presenta una norma que defina a la harina procedente de la vaina de mezquite; no obstante, en el Art. 681 tris del Código Alimentario Argentino (2010) se define a la harina de fruto de algarrobo como el producto de la molienda de los frutos completos limpios, sanos y secos, del algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) y/o algarrobo negro [*Prosopis nigra* (Grisebach) Hieronymus].

**Figura 10.4** Harina de vaina de *Prosopis leavigata*



Fuente de Consulta: Ortiz (2019)

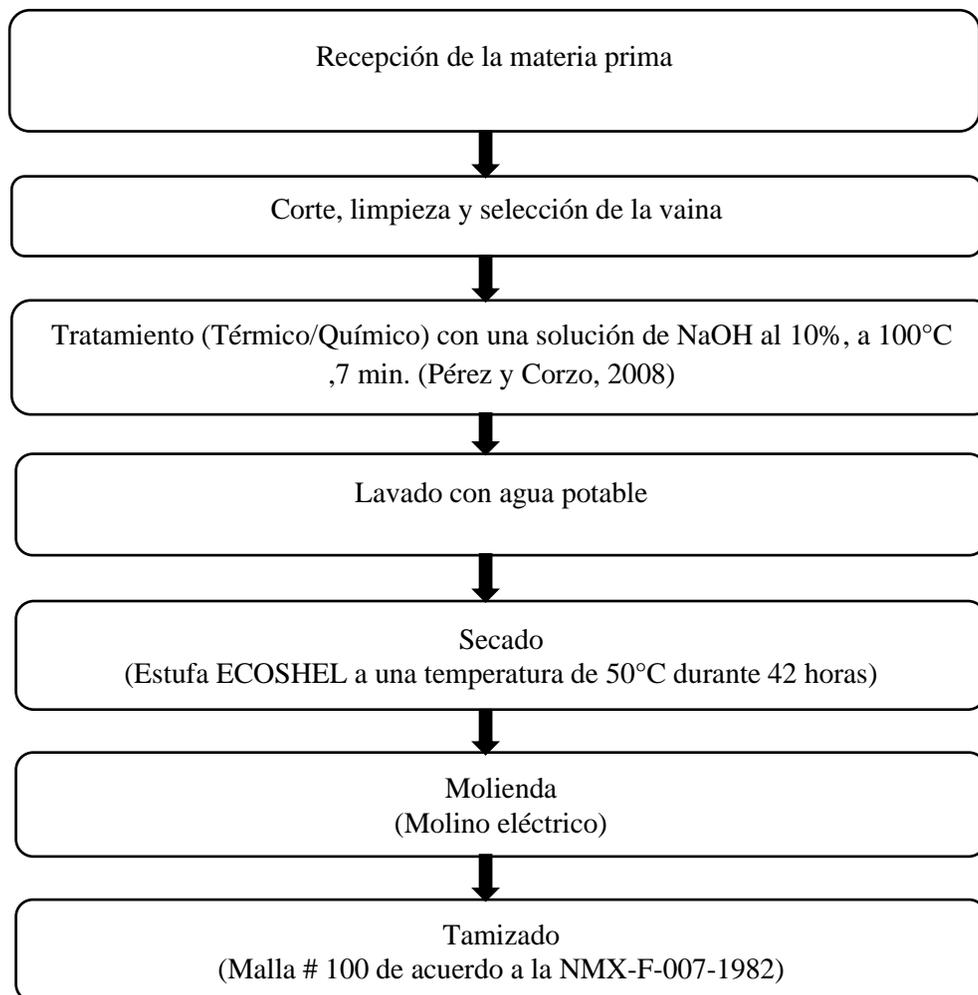
Para la obtención de harina se consideran principalmente las siguientes etapas: selección, lavado, escurrido, secado, molienda, tamizado y envasado. Los equipos básicos para llevar a cabo la obtención de la harina están conformados por lavadora de vainas, secador estático de bandejas, molino de martillos y tamizador. De acuerdo a Ortiz (2019) el rendimiento en harina respecto a materia prima es de 42%; sin embargo, éste depende de la especie, así como de las etapas que se emplearon para la obtención de la harina. Por otro lado, en Perú existen varias unidades procesadoras semiindustriales que se dedican a procesar vainas de mezquite o algarrobo para obtener harina.

Por su parte, en Brasil, existen instalaciones para el secado y molido de algarrobas de la especie *P. juliflora*; el proceso incluye el secado de las algarrobas con un secador a leña en grandes recipientes abiertos, la temperatura empleada es de aproximadamente 80°C durante 4 h. Posteriormente las algarrobas pasan a un molino de martillos con cribas de varios tamaños (Pasiiecznik et al., 2001).

No obstante, existen variantes acerca de la metodología para la obtención de la harina. Un ejemplo que presenta las etapas para obtener la harina de mezquite se muestra en la Figura 10.5, en donde se observa que éstas son similares a las reportadas por los autores citados anteriormente. Sin embargo, en algunos casos se aplica un tratamiento a la vaina previo a la molienda, con el propósito de eliminar los factores no nutritivos presentes en esta.

Independientemente de la forma en cómo se obtenga la harina de la vaina de mezquite, una vez conseguida ésta, se puede mezclar con otros alimentos para obtener bebidas, o para la preparación de postres, pastas, pasteles, entre otros (Barba de la Rosa et al., 2006; Bigne, Puppo y Ferrero, 2018).

**Figura 10.5** Diagrama de flujo para la obtención de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

## 10.5 Bebidas

En algunos países del sur de América, como es el caso de Perú, Argentina y Brasil, se consumen bebidas y jarabes obtenidos de la algarroba (vainas de ciertas especies de *Prosopis*), algunos de éstos se describirán en los siguientes párrafos.

La algarrobina es un jarabe concentrado de los azúcares naturales que se obtienen de la vaina de algarroba de 75 a 78° Brix. En general, se elabora hirviendo el fruto con agua y luego se evapora hasta obtener un líquido espeso de color café oscuro brillante. La algarrobina puede ser utilizada de diferentes formas; se toma como tónico fortificante, así mismo, como saborizante, en ensaladas, leche, yogurt, así como para sazonar carnes y elaboración de dulces de leche. Para la producción de algarrobina las etapas consisten en: recolección con el propósito de disponer de materia prima todo el año; posteriormente se continúa con una selección manual de las vainas para separar las picadas y muy dañadas, después se almacenan las vainas sometiendo a un proceso de pre-secado con el fin de disminuir su humedad. A continuación, se lavan las vainas para eliminar sustancias adheridas a éstas; se sigue con un troceado en un molino troceador para hacer más eficiente la extracción de azúcares.

Seguido de esto, se procede a una extracción de azúcares, en donde se mezcla las vainas de algarroba troceada con agua en una relación 1:4 (peso/volumen) y a continuación se hierven por dos horas, transcurrido este tiempo se separan las vainas cocidas (bagazo) y el jugo se hace pasar por una tela filtrante, el jugo contenido en el bagazo se separa por prensado y se adiciona al volumen obtenido inicialmente. Por último, se realiza una concentración con el jugo obtenido anteriormente hasta conseguir la algarrobina de 75 a 78° Brix (Grados et al., 2000).

Por otra parte, también las vainas se han utilizado para preparar bebidas fermentadas; relatos antiguos indican que en Chile y Argentina desde hace siglos se elabora una bebida fermentada conocida como aloja; dicha bebida se obtiene a base de algarroba molida cocida en agua. De acuerdo a Guinnar (1947), los indios autóctonos elaboraban esta bebida a partir de la vaina madura, a la cual la triturbaba con dos piedras, para posteriormente ponerla en una bolsa de cuero cubierta con agua y dejándola fermentar. No obstante, existen algunas variantes en la elaboración de la bebida, y dependiendo del lugar es su forma de consumo. Por ejemplo, en Tucumán, Argentina, su elaboración consiste en machacar con un mortero las vainas, y poner la pasta a fermentar con agua en una tina durante 24 horas; transcurrido el tiempo se sacan los restos de vainas que quedan y agregan mayor cantidad de vainas machacadas con el propósito que siga el proceso de fermentación. La proporción es vaina molida, 1 parte y agua 4 partes; cabe mencionar que la fermentación se propicia gracias al alto contenido de azúcares presentes en la vaina.

Otra bebida a base de algarrobo, fue reportada en el estudio realizado por Cerezal et al. (2012), en el cual se desarrolló una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. El algarrobo utilizado fue de la especie (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stunz). Reportándose que, al concluir 90 días de almacenamiento, la bebida obtuvo un contenido de proteínas de 1.36%, siendo el triptófano el aminoácido limitante; la tonalidad de la bebida fue rosado oscuro, la viscosidad y la evaluación sensorial resultaron aceptables.

En México, los chichimecas procesaban las vainas de mezquite para elaborar mezquiatole, desafortunadamente la elaboración de este y otros productos a base de mezquite han ido disminuyendo con el transcurso del tiempo y sólo quedan como alimentos típicos de ciertas regiones; además de no contar con escritos que reporten su elaboración, sino que pasan de voz a voz. Por ejemplo, en Guanajuato se continúa consumiendo mezquiatole. En donde, la bebida se prepara como un atole con masa, piloncillo, canela y se le incorpora el extracto de las vainas cocidas de mezquite (Alonso, 2017).

## 10.6 Otros productos

### *Sucedáneo de café*

Cabe mencionar que se entiende por sucedáneo, cualquier sustancia que sustituye a otra, es decir “sustituto”. Por tanto, debido a que ciertas personas no pueden consumir la mayoría de productos por razones de salud o intolerancia, se ha optado por desarrollar productos que sustituyan a otro con la finalidad de atender las necesidades de los consumidores. Tal es el caso del uso de las vainas de mezquite como sucedáneo de cacao.

Así mismo, se elabora sucedáneo de café a partir de la algarroba de *Prosopis alba* Grise; para esto, se seleccionan las vainas, se limpian, posteriormente pasan por un secado a 60°C durante 60 horas. Transcurrido este tiempo, se tuestan las vainas; de acuerdo a estudios realizados por Prokopiuk (2004) las temperaturas de tostado de 160 y 175°C dan lugar a un tostado similar al del café; además que el tostado modifica el comportamiento de la adsorción del agua en la vaina, disminuyendo la tendencia a la humectación y la capacidad de retención de agua. Como siguiente paso se muelen las vainas tostadas en un molino de martillos, el polvo obtenido se tamiza usando mallas de 0.85, 0.25 y 0.15 mm, y por último se envasa la muestra. En base a los estudios realizados por el mismo autor, se observó que el tostado a 160°C dio lugar a una infusión con aroma más semejante al del café y tuvo mayor aceptación por parte de los panelistas; por lo que, las vainas pueden utilizarse en la obtención de sustituto de café. De hecho, en Perú, Argentina y Europa se comercializan productos registrados de sucedáneos de café o café de algarroba presentando un resultado aceptable en el mercado.

### *Patay*

Básicamente, es una torta elaborada con harina de algarroba y agua que puede consumirse a modo de turrón. Este alimento fue fundamental para la dieta de los pueblos aborígenes de Argentina. Su elaboración consiste en secar las vainas aproximadamente una semana, después son molidas para obtener la harina, se mezcla la harina con agua para obtener una masa, en seguida se coloca la masa en un molde en forma de aro, dejándola secar para posteriormente ser consumida, en algunos casos se hornea. Sin embargo, existen diferentes recetas para su elaboración, las cuales dependen de la cultura del lugar donde se consume (Avellaneda y Cubas, 2018).

### *Condimentos*

En África y Asia, se usan las vainas de la especie *Prosopis africanana* con el propósito de elaborar condimentos. La proteína vegetal fermentada tiene alimentos potenciales utilizados como suplementos proteicos y como ingredientes funcionales en los alimentos fabricados. Conocido con el nombre de Okpeye es producido un condimento a partir de las semillas de las vainas de *prosopis* por el proceso de fermentación tradicional (Achi, 2005). Actualmente se vende en el mercado local de ciertas comunidades de estos países; sin embargo, existe escaso conocimiento acerca de sus propiedades nutricionales y funcionales.

### *Pinole*

Es un producto de origen prehispánico elaborado especialmente a base de maíz. El pinole se define como una harina de cereales o leguminosas ya sea secas o tostadas, algunas veces endulzado y mezclado con cacao, canela o anís. Algunos grupos propios mexicanos como es el caso de los Lacandones, Nahuas o Tarahumaras lo incorporan dentro de su dieta básica. Aunque con el paso del tiempo los granos utilizados para su elaboración han ido cambiando; por ejemplo, puede usarse tanto amaranto como vainas de mezquite. En estudios realizados por Gallegos-Infante et al. (2013), se elaboró pinole con vainas de mezquite de la especie *Prosopis laevigata* con el objetivo de determinar el efecto de procesamiento (secado/tostado) sobre las características antioxidantes del pinole. Para esto, las vainas fueron secadas a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y posteriormente fueron tostadas, al final de este paso, se limpiaron y se molieron en un molino de cuchillas, y por último se tamizaron. Para preparar el pinole se mezclaron las harinas obtenidas del mesocarpio y la semilla. De dicho estudio se obtuvo que la temperatura de 80°C dio lugar a la mayor disminución de inhibidores de tripsina y lectinas (factores no nutritivos presentes en las vainas); así como los extractos de pinole en general no influenciaron la capacidad de inhibir la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y demostrando que el pinole de mezquite es una fuente de alimento para el ser humano.

## **10.7 Evaluación del efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales**

México posee una diversidad de productos agrícolas con propiedades nutricionales excelentes, entre éstos se encuentra la vaina de mezquite. Como se ha mencionado, las vainas de mezquite son dulces por su alto contenido de sacarosa, así como ricas en fibra, proteínas y minerales; pese a estos beneficios aún no se ha desarrollado por completo una forma factible para transformar la materia prima y darle valor agregado. Además, como es sabido, los cereales son la principal fuente de energía en la dieta de las poblaciones, así como una fuente de proteínas y minerales; por consecuencia su volumen de consumo es alto. Lamentablemente, las proteínas de los cereales son de calidad regular, debido a que sus niveles de lisina, aminoácido esencial para los seres humanos, son bajos. De entre los cereales, el trigo es relevante, puesto que los productos derivados de éste han sido parte de la dieta desde muchos siglos atrás. La harina de trigo es la más usada en panificación, debido a que contiene las proteínas requeridas para formar un gluten con las características necesarias para elaborar pan. Sin embargo, dada su naturaleza de cereal, el trigo es deficiente en lisina, por lo que se han buscado opciones, tal como la sustitución parcial de harina de trigo por harinas no convencionales o combinación de harinas, como es el caso de leguminosas, con el propósito de mejorar el valor nutricional de los productos de trigo (Altamirano-Fortoul, 2018; Bigne et al., 2018; Ortiz, 2019).

Por lo tanto, en el proyecto “Evaluación del efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales”, desarrollado en la Universidad de la Cañada; se estudiaron alternativas para aprovechar la harina obtenida de la vaina de mezquite, como lo fue en la inclusión de un porcentaje de esta harina en galletas de masa corta, así como en pan de sal y/o pan de dulce tipo concha, en una proporción que no afectó los atributos tanto técnicos como sensoriales. Lo anterior, con el objetivo de obtener productos que reúnan las características aceptables por el consumidor y siendo similares a sus productos homólogos (obtenidos de 100% harina de trigo); así como una propuesta para reforzar nutrimentos y como una posible propuesta de elaborar productos con un efecto benéfico a la salud de los consumidores. Aunado a la inclusión de harina de vaina de mezquite, a los productos se les incorporaron aceites esenciales (orégano en el caso de pan de sal, naranja en el pan tipo concha y canela para el caso de galletas) como aditivos naturales para su conservación.

Para llevar a cabo lo anterior, se obtuvo la harina de vaina de mezquite siguiendo la metodología indicada en la Figura 10.5. Posteriormente con la ayuda de un diseño experimental de mezclas se elaboraron diferentes formulaciones (Tabla 10.4, 10.5 y 10.6) con el fin de ser evaluadas sensorialmente para seleccionar las formulaciones de mejor aceptación.

**Tabla 10.4** Formulación de galleta de masa corta

Formulaciones	Ingredientes								
	Harina de trigo (%)	Harina mezquite (%)	Ac. esencial de canela (%)	Grasa (%)	Azúcar (%)	Leche (%)	Sal (%)	Leudante (%)	Agua (%)
FA	92.493	7.4625	0.045	60	30	0.576	0.15	0.315	9
FB	97.493	2.4925	0.015	60	30	0.576	0.15	0.315	9
FC	90	9.94	0.06	60	30	0.576	0.15	0.315	9
FD	92.493	7.4925	0.015	60	30	0.576	0.15	0.315	9
FE	94.985	4.985	0.03	60	30	0.576	0.15	0.315	9
FF	97.463	2.4925	0.045	60	30	0.576	0.15	0.315	9
Control	100	0	0	60	30	0.576	0.15	0.315	9

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Tabla 10.5** Formulación de pan de sal

Formulación	Harina de trigo	Harina de mezquite	Aceite esencial de orégano
FA	93	6.955	0.045
FB	96.484	3.48875	0.0225
FC	94.744	5.22187	0.03375
FD	98.222	1.74437	0.003375
FE	98.244	1.74437	0.01125
FF	94.744	5.24437	0.01125
Control	100	0	0

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Tabla 10.6** Formulación de pan de dulce tipo concha

Formulación	Harina de trigo	Harina de mezquite	Aceite esencial de naranja
FA	92.485	7.485	0.03
FB	96.243	3.7425	0.015
FC	96.213	3.7425	0.045
FD	88.743	11.2425	0.015
FE	88.743	11.2125	0.045
FF	85	14.94	0.06
Control	100	0	0

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

Cabe señalar, que el análisis sensorial es una herramienta esencial para evaluar la apariencia, color, textura y sabor entre otros, siendo clave para la elección de un producto de ingesta diaria. Por ello, es de suma importancia la información aportada por el panel de catadores establecido. En este estudio se utilizó un método afectivo cuyo principal propósito fue evaluar las respuestas (preferencia o aceptación) de los consumidores en cada uno de los productos derivados de las formulaciones. De lo anterior se obtuvo que, en la galleta de masa corta, la formulación C presentó mejores puntuaciones y una diferencia significativa para todos los atributos evaluados, comparadas con las obtenidas con las otras formulaciones. En cuanto al pan de sal, la formulación de mayor aceptabilidad fue la E; mientras que para el pan tipo concha, la formulación que seleccionaron los panelistas fue la C. Una vez seleccionados los productos de cada variedad, éstos fueron caracterizados fisicoquímicamente, los resultados de reportan en la Tabla 10.7. De lo cual se obtuvo en cuanto a la galleta, que la inclusión de harina de vaina de mezquite no afectó el contenido de proteína, así como de extracto etéreo. No obstante, incrementó el contenido de cenizas y fibra, no siendo así el contenido de carbohidratos y humedad de esta. Así mismo, los parámetros de color fueron afectados por la incorporación de harina de vaina de mezquite dando lugar a una galleta más oscura que la galleta control. Aunado a esto, la incorporación de la harina de vaina de mezquite influyó en la dureza de la galleta, dando lugar a un producto que requiere de mayor fuerza para su rompimiento a diferencia de la galleta control. Cabe señalar, que el aceite esencial de canela no influyó en las propiedades antes mencionadas.

**Tabla 10.7** Propiedades fisicoquímicas de productos elaborados con harina de mezquite (*Prosopis laevigata*)

Propiedades		Producto					
		Galleta control (100% harina de trigo sin aceite esencial)	Galleta con harina de trigo+ harina de vaina de mezquite y aceite esencial canela	Pan de sal control (100% harina de trigo)	Pan de sal con harina de trigo+harina de vaina de mezquite y aceite esencial de orégano	Pan de dulce tipo concha (100% harina de trigo sin aceite esencial)	Pan de dulce tipo concha con harina de trigo+harina de vaina de mezquite y aceite esencial de naranja.
Físicas	L*	66.94	67.89	76.11	60.5	77.07	72.07
	a*	2.62	1.58	-0.81	2	-0.56	1.21
	b*	24.48	28.46	23.01	25.53	24.42	24.44
	Dureza (N)	16.74	18.05	4.98	4.01	3.42	3.05
Químicas	Proteína (%)	7.33	7.45	7.8	7.08	10.51	10.47
	Humedad (%)	3.32	2.17	27.04	30.52	23.31	24.33
	Fibra cruda (%)	1.75	2.66	2.41	2.53	2.5	2.6
	Extracto etéreo (%)	21.02	21.05	11.11	11.46	13.28	15.28
	Cenizas (%)	0.6	0.79	1.93	2.63	3.33	4.04
	Carbohidratos (%)	65.98	65.88	50.29	45.78	52.29	43.28

N: Newton; L: luminosidad; a\*: la dirección del rojo (+) al tono verde (-), y b\* indica el tono amarillo (+) y tono azul (-).

Fuente de Consulta: Elaboración

Con respecto al pan de sal, los resultados obtenidos en este estudio permitieron afirmar que la incorporación de harina de vaina de mezquite en la formulación, hacen posible obtener un producto con una diferencia en los macro y micro nutrientes respecto al pan control. Además, se observó un efecto en el color de la miga, en donde los parámetros de color indican que ésta fue más café; así mismo la incorporación de la harina de vaina de mezquite dio lugar a un pan con una dureza menor que el pan control. En cuanto al aceite esencial, este fungió como conservador natural, sin afectar las propiedades del producto. Por otra parte, en el pan de dulce tipo concha, la inclusión de la harina de vaina de mezquite, no modificó el contenido de proteína; no obstante, dio lugar a un incremento en cuanto al contenido de humedad, fibra, cenizas, extracto etéreo y carbohidratos. Al igual que en el pan de sal, el color de la miga fue más oscuro que el pan control y la dureza fue menor; así mismo la incorporación del aceite esencial, no influyó en las propiedades estudiadas.

Como se observa, en general, el contenido de proteína en todos los productos que incluyen harina de vaina de mezquite presentaron una pequeña diferencia en los macro y micro nutrientes, con respecto a sus homólogos (100% harina de trigo); sin embargo, se esperaba que los productos obtenidos con la inclusión de harina de vaina de mezquite presentaran un contenido de proteína mucho mayor que los controles. No obstante, es importante tener en cuenta que la calidad proteica está determinada por el contenido de aminoácidos esenciales; los cuales de acuerdo a lo reportado por Ortiz (2019), al comparar la harina de trigo con la harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*), son mayores en esta última en cuanto al contenido de Lisina, Valina y Leucina. Con respecto al contenido de fibra, se observó un ligero incremento de este en los productos con harina de vaina de mezquite; por lo que sería importante considerar que debido a que el trigo pierde parte de fibra durante la obtención de harinas blancas, la incorporación de harina de vaina de mezquite contribuiría a incrementar el contenido de fibra en los productos. Este dato también es reportado por otros autores, quienes afirman que la inclusión de harina de *Prosopis* en la formulación de pan, aumenta el contenido de fibra en éste (Bigne, Puppo y Ferrero, 2016; Correa et al., 2017).

Así mismo el contenido de cenizas fue mayor en todos los productos con harina de vaina de mezquite, cabe señalar que las cenizas son el material inorgánico, como minerales, presentes en el alimento luego que se ha eliminado el agua y los materiales orgánicos como la grasa y la proteína, la harina que se usó para el presente estudio pertenece a la variedad *Prosopis laevigata*; en estudios previamente realizados se ha identificado a esta variedad con cantidades de cenizas mayor en relación con otras especies como la *Prosopis alba* en donde se reporta un contenido de 2 a 3 %. Mientras que en *Prosopis nigra* el contenido es de 2.14 % (Prokopiuk et al., 2000).

Con respecto a los carbohidratos, los productos controles presentaron un mayor contenido en este macronutriente al compararlos con los obtenidos con harina de vaina de mezquite. Lo anterior puede deberse a que la determinación de los carbohidratos totales se ha llevado a cabo a partir de los resultados obtenidos del resto de componentes químicos, sus incrementos o reducciones se deben al comportamiento de dichos componentes. Sin embargo, cabe señalar que las leguminosas son fuente importante de carbohidratos complejos, algunos de absorción lenta como el almidón y otros no digeribles como los componentes de la fibra alimentaria.

Con respecto a la humedad presente en los panes, igualmente se observaron diferencias entre las muestras, presentándose mayor contenido de humedad en los panes con harina de vaina de mezquite; probablemente esto ocurre debido a la interacción de las macromoléculas presentes tanto en la harina de trigo como en la harina de vaina de mezquite, en donde se pudo haber reducido la concentración de humedad en el almidón, incrementando la retención de humedad en el gluten, logrando que se atara más agua a la miga. Se ha observado que al modificar las interacciones almidón-proteína en la matriz del pan, se originan cambios en el contenido de humedad tanto de la miga como de la corteza (Altamirano-Fortoul et al., 2012, Altamirano-Fortoul y Rosell, 2014).

En base a los resultados obtenidos en este proyecto; la sustitución parcial de harina de trigo por harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) permitió elaborar productos de panificación de calidad aceptable, posiblemente con un contenido de aminoácidos más completos que los productos elaborados con 100% harina de trigo, dando lugar a productos con un valor añadido.

## 10.8 Agradecimiento

La autora del presente capítulo agradece a la Dra. María Eugenia Bárcenas Pozos, M.C. Jesús Manuel Campos Pastelín, así como a los ingenieros Luis Alfredo Ortiz Cid y Fabiola Jazmín Santiago Montero por su colaboración en el proyecto “Evaluación del efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales”.

## 10.9 Conclusiones

Los árboles de mezquite se distribuyen en zonas áridas, semiáridas y subtropicales del mundo. México posee una amplia extensión de mezquite; estimándose once especies de este árbol en el territorio nacional. Del mezquite se obtienen varios productos entre los cuales se encuentran muebles, combustible y sus frutos o vainas se emplean intensivamente como forraje para ganado, así mismo es consumido como alimento en países del Sur de América.

Como se mencionó anteriormente, el mezquite tiene múltiples usos, interesándonos más en el área de alimentos, sus vainas o frutos se emplean intensivamente como fruta fresca, para la elaboración de pinole, jugo, bebidas fermentadas y condimentos. No obstante, en México se ha ido perdido el uso de las vainas o frutos del mezquite en la elaboración de alimentos. Además, existe información escasa del efecto de la inclusión de la harina obtenida de estas vainas en productos de panificación, surgiendo la duda si se obtienen productos con un alto contenido de proteínas, así como fibra; ya que se ha reportado que la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de frutas o leguminosas, ha sido empleada para mejorar la composición química de panes sin afectar los atributos tecnológicos y sensoriales de éstos.

Aunado a lo anterior, el desarrollo de nuevos productos se enfatiza en proporcionar a los consumidores alimentos que provean un valor añadido. Por lo que, en la investigación: Evaluación del efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales; la harina de vaina de mezquite, no presentó impedimento para la formación de la red de gluten en la masa, los productos elaborados fueron sensorialmente aceptables, además la incorporación de dicha harina presentó un efecto significativo en las propiedades físicoquímicas, permitiendo el incremento de algunos macro y micro nutrientes. Cabe señalar que la incorporación de los aceites esenciales dio lugar a la prolongación de la vida útil de los productos. Sin embargo, se recomienda seguir analizando la incorporación de diferentes concentraciones de harina de vaina de mezquite, de esta especie y de otras más, con la finalidad de mejorar el contenido nutricional y los parámetros tecnológicos de productos de panificación.

## 10.10 Referencias

- Achi, O.K. (1992). Microorganisms associated with natural fermentation of prosopisAfricana seeds for the production of Okpiye. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42, 97-304.
- Alonso, J. (2017). *Bebidas tradicionales y extravagantes de Guanajuato*. Recuperado el 01 de julio de 2020:<https://www.travelreport.mx/guanajuato/bebidas-tradicionales-de-mexico-guanajuato-gastronomia/>
- Altamirano-Fortoul, R., Moreno-Terrazas, R., Quezada-Gallo, A., & Rosell, C.M., (2012). Viability of some probiotic coatings in bread and its effect on the crust mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 29, 166-174.
- Altamirano-Fortoul, R., & Rosell, C.M. (2014). Influence of amyloglucosidase in bread crust properties. *Food Science and Technology*, 7(4), 1037-1046.
- Altamirano-Fortoul, R., Campos-Pastelín, J.M., Bárcenas, P.M., & Montero-Santiago, F. (2018). Efecto de la incorporación de harina de vaina de mezquite (*Prosopis leavigata*) en productos de panificación. *Compendio de Investigación Academia Journals Morelia 2018*, 125-130.
- Altamirano-Fortoul, R. (2018). Efecto de la adición de harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y diferentes aceites esenciales en productos derivados de cereales. Informe final de apoyo a la incorporación de nuevos PTC. PRODEP.
- Arnero, C.M.A. (2015). *La vaina de mezquite (Prosopis spp) en la alimentación del ganado*. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna División Regional de Ciencia Animal, México.

- Barba de la Rosa, A.P., Frias-Hernandez, J.T., Olalde-Portugal, V., & González-Castañeda, J. (2006). Processing, nutritional evaluation and utilization of whole mesquite flour (*Prosopis laevigata*). *Journal of Food Science*, 71, 315–320.
- Becker, R., Grosjean, O.K. (1980). A compositional study of pods of two varieties of mesquite (*Prosopis glandulosa*, *P. velutina*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28 22-25.
- Avellaneda, R.E.E., y Cubas, Q.D.M. (2018). *Formulación de panetón con sustitución parcial de harina de trigo (Triticum aestivum) por harina de algarroba (Prosopis alba)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Bigne, F., Puppo, M.C., & Ferrero, C. (2016). Fibre enrichment of wheat flour with mesquite (*Prosopis spp.*): Effect on breadmaking performance and staling. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 1008-1016.
- Bigne, F., Puppo, M.C., & Ferrero, C. (2018). Mesquite (*Prosopis alba*) flour as novel ingredient for obtaining a “panettone-like” bread. Applicability of part-baking technology. *LWT- Food Science and Technology*, 89, 666-673.
- Cerezal, M. P., Acosta, B.E., Rojas, V.G., Romero, P.N., & Arcos, Z.R. (2012). Desarrollo de una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 232-243.
- Cervantes, M. (2002). *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Primera edición. Ediciones UNAM. México.
- Código Alimentario Argentino. (2010). Resolución Conjunta N° 56/2010 y 538/2010- Modificación del Código Alimentario Argentino. Recuperado el 27 de junio de 2020: <https://www.ecolex.org/fr/details/legislation/resolucion-conjunta-no-562010-y-5382010-modificacion-del-codigo-alimentario-argentino-lex-faoc097707/27/07/2020>.
- Correa, M.J., Salinas, M.V., Carbas, B., Ferrero, C., Brites, C., & Puppo, M.C. (2017). Technological quality of dough and breads from commercial algarroba–wheat flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 2104–2114.
- Felker, P. (2011). Unpubl. Obsev.2011 en Felker, P., Takeoka, G., & Dao, L. 2013. Pod Mesocarp Flour of North and South American Species of Leguminous Tree *Prosopis* (Mesquite): Composition and Food Applications. *Food Reviews International*, 29(1), 49-66.
- Felker, P., Takeoka, G., & Dao, L. (2013). Pod Mesocarp Flour of North and South American Species of Leguminous Tree *Prosopis* (Mesquite): Composition and Food Applications. *Food Reviews International*, 29(1), 49-66.
- Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzman, N.E., González, Laredo, R.F., & García-Casas, M.A. (2013). Efecto del procesamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de pinole a base de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*). *CyTA - Journal of Food*, 11(2), 162-170.
- González-Barrón, U., Dijkshoorn, R., Maloney, M., Finimundy, T., Calhelha, R.C., Pereira, C., Stojković, D., Soković, M., Ferreira C.F.R.I., Barros, L., & Vasco, C. (2020). Nutritive and Bioactive Properties of Mesquite (*Prosopis pallida*) Flour and Its Technological Performance in Breadmaking. *Foods*. 1-25.
- Grados, N., & Cruz, G. (1996). New approaches to industrialization of algarrobo (*Prosopis pallida*) pods in Peru. En P. Felker y J. Moss (Eds), *Prosopis: Semiarid Fuelwood and Forage Tree Building Consensus for the Disenfranchised*. Texas A&M University-Kingsville, *Center for Semi-Arid Forest Resources*, 3, 25-42.

- Grados, N., Ruiz, W., Cruz, G., Díaz, C., & Puicón, J. (2000). Productos industrializables de la algarroba peruana (*Prosopis pallida*): algarrobina y haría de algarroba. *Multequina*, 9(2), 119-132.
- Guinnard, A. (1947). *Tres aFios de esclavitud entre k.'spatagones*. Tercera edición. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina, S. A (Argentina).
- Meyer, D. (1984). *Processing, utilization and economics of Mesquite pods as a raw material for the food industry*. Tesis Doctoral. Diss. Swiss Federal Institute of Technology Zürich. Zurich.
- NMX-F-007-(1982). Alimento para humanos harina de trigo. Normas mexicanas. Dirección general de Normas.
- Ortiz, C. L.A. (2019). Caracterización fisicoquímica de la harina de vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y evaluación de su efecto en productos de panificación. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Cañada, México.
- Palacios, R.A. (2006). Los mezquites Mexicanos: biodiversidad y distribución gráfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41 (1-2), 99-121.
- Pasiecznik, N., Fleker, O., Harris, P., Harsh, L., Cruz, G., Tewari, J., Cardoret, K., & Maldonado, L. (2001). *The prosopis juliflora-Prosopis pallida complex: A monography*. HDRA, Coventry (Reino Unido).
- Pérez, A., & Corzo B.D.C. (2008). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. *Jardín Botánico*, 153-162.
- Prokopiuk, D., Cruz, G., Grados, N., Garro, O., & Chiralt, A. (2000). Estudio comparativo entre frutos de *Prosopis alba* y *Prosopis pallida*. *Multequina*, 9, 35-45.
- Prokopiuk, D.B. (2004). *Sucedáneo del café a partir de algarroba (Prosopis alba Griseb)*. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Rodríguez, S.E.N, Rojo, M.G.E, Ramírez, V.B., Martínez, R.R., Cong. H M.C., Medina. T.S.M., Piña, R.H.H. (2014). Análisis técnico del árbol de mezquite (*Prosopis leavigata humb, & Bonpl. Ex Willd.*) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Ruíz, T.D.R. (2011). *Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano potosino*. Tesis de Maestría, Universidad autónoma de san Luis Potosí, México.
- Sciammaro, L.P., Ferrero, C., Puppo, M.C. (2016). Chemical and nutritional properties of different fractions of *Prosopis alba* pods and seeds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(1), 103-112.
- Smith, C. E. (1967). *Plant remains*. En: The prehistory of the Tehuacán Valley. Volume one Byers, D. S. (Ed.). *Environment and subsistence*. Estados Unidos de América. University of Texas Press, Ltd, (London).
- Trejo, E.J.L. (2010). *Establecimiento de un cultivo de células en suspensión de P. leavigata Humboldt et bonpland Ex Willd. M.C. Johnst*. Para la producción de goma de mezquite. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México.
- Valenzuela, N.L.M., Ríos, S.J.C., Barrientos, A.K.R., Muro, G.P, Sánchez, S.J., & Briceño, C.E.A. (2015). Estructura y composición florística en dos comunidades de mezquite (*Prosopis leavigata (Humb. & Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnst*) en Durango, México. *Interciencia*, 4, 465-472.

## Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

### Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

*International Identification of Science - Technology and Innovation*

ID 1<sup>st</sup> author: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1<sup>st</sup> author: (Scholar-PNPC or SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>st</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1<sup>st</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>nd</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 2<sup>nd</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>rd</sup> coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 3<sup>rd</sup> coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

(Report Submission Date: Month, Day, and Year); Accepted (Insert date of Acceptance: Use Only ECORFAN)

**Citación:** Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1<sup>er</sup> Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (Coord) *Título del Handbook [Times New Roman No.10]*, Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

# Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

## Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12**

## 1 Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

**Tabla 1.1** Título

<b>Particiones</b>	<b>Valores</b>	<b>Log</b>
P1	7.58	0.88
P2	7.62	0.88
P3	7.58	0.88
P4	7.59	0.88
P5	7.57	0.88
P6	7.58	0.88
P7	7.57	0.88

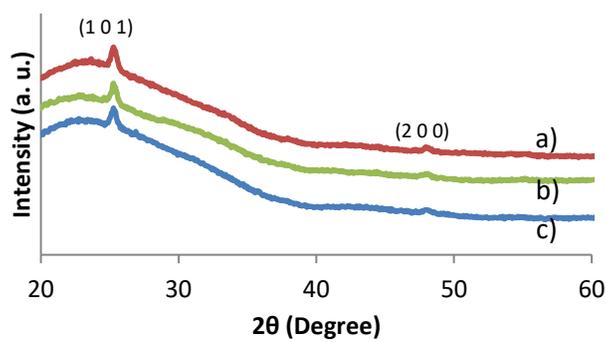
Fuente de Consulta:  
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

**Figura 1.1** Título



Fuente de Consulta:  
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Gráfico 1.1 Título



Fuente de Consulta:

(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$P = \frac{[V_V - P_V]^{1/2}}{V_O - P^{Uh}} + \frac{3}{4} \left[ \frac{(P^{VL})}{(P_u)} \right] \rightarrow \int_{V^{La}}^J \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

## Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

## Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo, en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

## Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Handbook

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

## Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

---

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

### **Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:**

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

ECORFAN Handbooks se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Handbooks. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Handbooks enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

## Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Handbooks, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE	For international bibliographer's manager
MENDELEY	For basification of data from scientific journals
GOOGLE SCHOLAR	For your international search specialized in retrieving scientific documents
REDIB	Ibero-American Network of Innovation and scientific knowledge-CSIC

#### **Servicios Editoriales:**

Identificación de Citación e Índice H.  
Administración del Formato de Originalidad y Autorización.  
Testeo del Chapter con PLAGSCAN.  
Evaluación de Obra Científica.  
Emisión de Certificado de Arbitraje.  
Edición de Obra Científica.  
Maquetación Web.  
Indización y Repositorio  
Publicación de Obra Científica.  
Certificado de Obra Científica.  
Facturación por Servicio de Edición.

#### **Política Editorial y Administración**

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistentes Editoriales**

SERRUDO-GONZÁLES, Javier. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan ),sponsorships@ecorfan.org

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

**Oficinas de Gestión**

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

43 Calle # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia.

