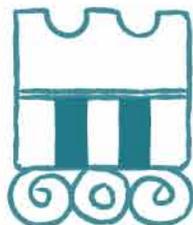


Sociedades rurales, producción y medio ambiente

ISSN 2007-7556



Revista semestral del Departamento de Producción Agrícola
y Animal de la UAM-X



Casa abierta al tiempo

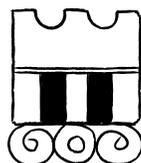
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

41

diciembre-Junio
2021

Sociedades rurales, producción y medio ambiente

Sociedades rurales, producción y medio ambiente



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
José Antonio de los Reyes Heredia

Secretaria General
Dra. Norma Rondero López

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector
Dr. Fernando de León Gozález

Secretario
Mtro. Mario Alejandro Carrillo Luvianos

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Director
Mtra. María Elena Contreras Garfias

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal
M. en S. Nora Rojas Serrania

Director de la revista
Adolfo Álvarez Macías

COMITE EDITORIAL

Ciencias Agrícolas
Dr. Carlos H. Ávila Bello
Centro de Estudios Interdisciplinarios de Agrobiodiversidad
(CEIABio)
Universidad Veracruzana

Dr. Rodolfo Figueroa Brito
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Daniel Ruiz Juárez
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Ciencias Pecuarias
Dr. Carlos Arriaga Jordán
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural
Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Luis Corona Gochi
Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Antonio Martínez García
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios
Dr. Arturo Camilo Escobar Medina
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Dra. Silvia D. Peña Betancourt
Departamento de Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

Economía y Desarrollo Rural
Dra. Tamara Perelmuter
Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)
Universidad de Buenos Aires

Acuicultura y Pesca
Dr. Iván Gallego Alarcón

Diseño y formación
D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana

Corrección de estilo
D. C. G. Amada Pérez

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE.
Año 2021, número 41, junio de 2021 es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Delegación Tlalpan, C.P. 14387, México, D.F., y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F., Tel. 54837231 y 54837230. Página electrónica de la revista: <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma> y dirección electrónica: aalvarez@correo.xoc.uam.mx Editor Responsable Adolfo Álvarez Macías. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2011-081214583100-203, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Índices de revistas a los que pertenece SRPMA: LATINDEX y PERIODICA. Responsable de la última actualización de este número: Mary Carmen Martínez Santana, asesor externo correo: macma_577@hotmail.com. Tamaño del archivo 3900 KB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Suscripción anual (2 números)
México: \$220.00
Estados Unidos: \$50.00 USD
Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD
Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

Índice

Editorial	9
Política de la revista	13
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Identification of Blastocystis ST1 in oysters (<i>Crassostrea virginica</i>) collected in self-service markets in Mexico City. <i>Ignacio Martínez Barbabosa, Manuel Gutiérrez Quiróz, Leticia Ruiz González, Ana María Fernández Presas, Mijail Campos Compean, Aída Hamdan Partida, José Félix Aguirre Garrido y Jaime Bustos Martínez</i>	17
Aprendizaje individual y colectivo en la acuicultura de pequeña escala en Morelos. <i>Jaime Matus Parada</i>	27
Cambios en la cobertura del bosque de mangle (2000-2017) en el sistema lagunar costero de Mandinga, Veracruz, México. <i>Laura Lisbeth Buendía Buendía, Javier Aldeco Ramírez e Iván Ernesto Roldán Aragón</i>	53
Adición de alfalfa deshidratada como suplemento nutricional de los sustratos paja de avena y rastrojo de maíz en la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>. <i>Norma Daniela García Calderón, Miguel Ángel Ramos López, Israel Rubalcava Alejo, Iván Levi Caratachea Aguirre y Antonio Flores Macías</i>	77
ARTÍCULOS DE REVISIÓN	
Persistencia de microorganismos patógenos en biosólidos porcinos provenientes de reactores anaerobios. <i>María Teresa Medrano Ramírez, Francisco Rivera Benítez, Jesús A. Guevara Guevara, Román Espinosa Cervantes y Adelfa del Carmen García Contreras</i>	87

Los aceites esenciales herbales como anestésicos en peces cebra (Danio rerio). <i>Román Espinosa Cervantes y Adolfo Rosado García</i>	113
RESEÑA	
El estado del arte de los búfalos de agua en Latinoamérica. <i>Adolfo Álvarez Macías</i>	131
Guía de autores	141

Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* mantiene su aparición regular desde el año 2000. Su publicación se produce desde el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, en la actualidad bajo formato digital. En esa línea, la revista prosigue en el proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, así como de economía, acorde a los tiempos de austeridad que vive nuestra Universidad y la economía nacional en su conjunto. En los últimos números se ha aumentado el número de colaboraciones, a pesar de que ello ha propiciado leves retrasos en la aparición de la revista, pero ha permitido interaccionar con mayor número de autores y revisores y, en especial, ha implicado un acercamiento a los estándares de calidad que exigen los índices de revistas.

En nuestra publicación siempre se han valorado las aportaciones de autores, árbitros y editoras, así como el respaldo de la Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal, que han resultado esenciales en el proceso de permanencia y mejora de la revista. En este contexto, sigue abierta la convocatoria para que investigadores y estudiosos de diversas instituciones nacionales y del extranjero, y desde las diferentes disciplinas relacionadas al desarrollo de las sociedades rurales, producción agropecuaria y pesquera, así como del medio ambiente, propongan aportaciones derivadas de sus investigaciones que coadyuven a atender problemas tan relevantes como la pobreza rural, la inseguridad alimentaria, los bajos índices de productividad, sostenibilidad y de bienestar animal, así como el desarrollo desigual que han resultado obstáculos mayores al desarrollo agropecuario, agroalimentario y rural. Por el contrario, existen opciones de abonar a las oportunidades que derivan del actual modelo de desarrollo, como las producciones y los mercados orgánicos, las tecnologías agroecológicas, prácticas de restauración y conservación de los recursos naturales y fauna silvestre, economía del hogar y participación de la mujer en las actividades rurales, procesos asociativos innovadores y los nuevos hábitos de consumo, por mencionar algunos de los más relevantes.

En este número se presentan siete contribuciones que revelan el carácter multidisciplinario de la publicación, las primeras cuatro corresponden a artículos de investigación, dos artículos de revisión, y una reseña de libro. En el primer artículo se determina la presencia de *Blastocystis* sp. en ostras americanas (*Crassostrea virginica*), así como la identificación de su subtipo. A partir del análisis de las heces de 550 ostras obtenidas en tiendas de autoservicio en la Ciudad de México, se aisló el DNA del contenido intestinal de un grupo de ostras para detectar la presencia de *Blastocystis* sp. y determinar el subtipo al que pertenece con microscopía de fotones. Se observaron quistes o formas vacuolares de *Blastocystis* sp. en 71.3% de las ostras por microscopía óptica. El subtipo (ST) de *Blastocystis*, identificado por PCR en *C. virginica* corresponde al ST1 subgrupo A. Se concluyó que el consumo de ostras crudas puede provocar infección por *Blastocystis* sp. entre los humanos, por lo que se trata de un asunto de salud pública. En el segundo artículo, se examinan cuatro procesos de aprendizaje entre acuicultores de pequeña escala de Morelos: formación previa al ingreso de la actividad, aprendizaje social, aprendizaje experiencial y esfuerzo personal para formarse mediante capacitación o por medios de comunicación. Los acuicultores evaluaron sus procesos de aprendizaje a través de una autoevaluación. Entre los resultados, destacó que en la formación de los acuicultores el aprendizaje experiencial es prioritario, seguido del aprendizaje social. Aun cuando la repercusión de estos aprendizajes ha sido restringida, tienen el potencial de coadyuvar a que los productores pueden construir una gobernanza sustentada en un conocimiento acuícola integral.

En el tercer artículo se evaluaron los cambios de la extensión del bosque de mangle en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga entre los años 2000 y 2017. Para esto, se obtuvieron mapas de uso del suelo y vegetación, a partir de clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat y, en otro sentido, se calcularon las tasas y dirección de cambio de la superficie de la cobertura del bosque de mangle y otras clases. Se detectó un aumento de la superficie de las coberturas antrópicas y una disminución de las naturales, entre éstas: la pérdida de 107 ha de bosque de mangle, equivalente a una tasa anual de deforestación de -1.02% para el periodo analizado. Las causas directas de estas dinámicas han sido el desarrollo urbano y el incremento de áreas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias. En el cuarto artículo se expone un estudio que busca incrementar la productividad del hongo *Pleurotus ostreatus*. Para ello, se evaluó el efecto de adicionar alfalfa deshidratada (*Medicago sativa* L.) como suplemento nutritivo a los sustratos vegetales paja de avena y rastrojo de maíz. Los resultados indican que cuando el sustrato fue únicamente alfalfa deshidratada no se formaron cuerpos fructíferos. Los sustratos adicionados con el suplemento presentaron un mayor número de esporomas y

los valores más altos de biomasa fresca. Se concluyó que la alfalfa deshidratada, utilizada como sustrato único, no favorece el crecimiento de *P. ostreatus* y que su adición como suplemento para los sustratos estudiados incrementa efectivamente la producción de biomasa fresca, pero reduce la eficiencia biológica.

Las dos siguientes contribuciones son artículos de revisión; en el primero se muestra la presencia y persistencia de ciertos microorganismos patógenos (bacterias y virus) en los subproductos generados a partir de la biodigestión anaeróbica, que es un proceso de biorreacción que permite convertir residuos orgánicos, generados en unidades de producción porcina, en energía, biosólidos y biofertilizantes gracias a la acción de microorganismos. Aunque este proceso es recomendable para transformar los residuos orgánicos generados en este tipo de unidades productivas, también se han detectado deficiencias en su gestión y en el manejo de residuos orgánicos. En el siguiente artículo se identifica que en el mercado existen una gran diversidad de productos químicos y sintéticos que se usan en la anestesiología animal, como el metanosulfonato de tricaina. Sin embargo, algunos de ellos generan efectos secundarios como alteraciones bioquímicas, problemas cardíacos y respiratorios. Por ello, el uso de los productos herbales (aceites esenciales) como anestésicos en la acuicultura se ha revelado como una opción, por lo cual se estudiaron como sustancias activas para la sedación y anestesia en peces cebras. Se encontró que estos aceites son ecológicos, son promotores de la salud (antioxidante, antimicrobiano y antiparasitarios) y rentables y, por el contrario, no son aversivos, ni causan efectos secundarios. Aunque todavía falta información de estos anestésicos herbales, especialmente sobre sus mecanismos de acción y el efecto en la salud, se presentan los principales aceites utilizados como sedantes y anestésicos en peces cebras durante los procedimientos de manejo en confinamiento. Por último, se expone la reseña a la tercera edición del libro *El búfalo de agua en Latinoamérica. Hallazgos recientes*, que es un texto electrónico de libre acceso.

Finalmente, se reitera que el proceso de mejora general en que está inserta la revista se mantendrá para que se logre el reconocimiento necesario que atraiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que coadyuven en este sentido. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad susceptibles de ser publicadas.

Adolfo Álvarez Macías
Director

Política de la Revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* prosigue con su publicación periódica y cada vez está más cerca de alcanzar la puntualidad en su aparición semestral, gracias a la colaboración tanto de autores como de revisores y cuerpo editorial. También se ha continuado con la mejora progresiva de los mecanismos de evaluación de los manuscritos que se presentan y se han acortado los períodos de respuesta a los autores, lo que permite a la revista responder, cada vez más, a los requerimientos de una publicación de calidad susceptible de ingresar a los índices de revistas más relevantes del país. Para ello, ha sido apreciable el impulso que mantiene el Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, que está comprometido en la divulgación de resultados de investigaciones de los cuerpos de académicos, como lo mandata su Ley Orgánica. Asociado a lo anterior, es importante la participación de todos los investigadores que consideren a la revista como un canal de divulgación pertinente.

Prueba de lo anterior es que la revista ha rebasado los 20 años de aparecer regularmente. Desde su origen, la revista se planteó con el objetivo central de comunicar y promover los avances en el desarrollo de las ciencias y campos de conocimiento asociados al estudio multidisciplinario de la producción y las transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales, en las sociedades y los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial y regional que no cesa de evolucionar y de marcar nuevos retos de investigación, análisis y evaluación. Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en la confección de los distintos modelos de producción agrícola, ganadera, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades inherentes al desarrollo rural y alimentario bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental, tecnológico y socioeconómico, privilegiando los enfoques multi e interdisciplinarios.

Así, la publicación comprende los cuerpos de conocimientos y métodos de las ciencias biológicas, sociales y ecológicas que tratan de explicar los problemas –científicos, tecnológicos, sociales y culturales– que enfrentan las sociedades en sus territorios rurales, la agricultura, los recursos naturales, la fauna, la alimentación y el desarrollo regional. En ese marco, en la revista se intenta proponer análisis y discusiones que generen, cada vez más, posibles alternativas de solución para problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales. De esta forma, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Desde esta perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones aborden la temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados.

Se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos y revisiones bibliográficas y iv) Reseñas de libros y de eventos especializados. Así, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuven al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad.

Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas ópticas analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta última opción se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar, de la mejor manera posible, alternativas de este tipo. En síntesis, esta revista se mantiene como una casa abierta para contribuciones del medio científico, tecnológico y del desarrollo que permitan fomentar y dar sustento al trabajo académico en beneficio de la sociedad en su conjunto.

Finalmente, nos gustaría subrayar que esta revista está inscrita en LATINDEX, así como en PERIODICA, esperando en el futuro cercano avanzar en su inscripción en otros índices similares.

Para más información sobre la publicación, favor de dirigirse a:
Adolfo Álvarez Macías
Director de la revista.

Edificio 34, tercer piso. Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán 04960, Ciudad de México. Tels. 5483-7230 y 7231. e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx.
La guía para autores puede consultarse en: https://publicaciones.xoc.uam.mx/FasciculosRevista.php?id_revista=5.

Identification of *Blastocystis* ST1 in oysters (*Crassostrea virginica*) collected in self-service markets in Mexico City

Ignacio Martínez Barbabosa,^{1,2} Manuel Gutiérrez Quiróz,¹ Leticia Ruiz González,¹ Ana María Fernández Presas,¹ Mijail Campos Compean,² Aída Hamdan Partida,² José Félix Aguirre Garrido³ y Jaime Bustos Martínez^{2*}

Abstract. *Blastocystis* sp. is an intestinal host of the digestive tract of a great variety of vertebrate and invertebrate organisms. The objective of this study was to determine the presence of *Blastocystis* sp. in American oysters (*Crassostrea virginica*) and to identify its subtype. Stools of 550 oysters obtained from self-services markets in Mexico City were analyzed with photon microscopy by means of direct examination in fresh feces colored with Lugol solution. DNA from the intestinal content of a group of oysters was isolated to detect the presence of *Blastocystis* sp. and to determine its subtype, by means of PCR amplification of the ITS1-5.8S-ITS2 region. The amplicons were sequenced and later typed by bioinformatic analysis. Cysts or vacuolar forms of *Blastocystis* sp. in 71.3% of the oysters were observed by light microscopy. The *Blastocystis* subtype (ST) identified by PCR in *C. virginica* corresponds to the ST1 subgroup A. We conclude that consumption of these raw oysters is a possible source of infection of *Blastocystis* sp. for humans.

Keywords. *Blastocystis*, ST1, *C. virginica*, Oysters, Self-service markets.

Resumen. *Blastocystis* sp. es un huésped intestinal del tracto digestivo de una gran variedad de organismos vertebrados e invertebrados. El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de *Blastocystis* sp. en ostras americanas (*Crassostrea virginica*) e identificar su subtipo. Se analizaron las heces de 550 ostras obtenidas de tiendas de autoservicio en la Ciudad de México, con microscopía de fotones mediante un examen directo de heces frescas coloreadas con solución de

¹ Departamento de Microbiología y Parasitología. Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

² Departamento de Atención a la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Mexico.

³ Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma.

* Corresponding author: Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular. Departamento de Atención a la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: jbustos@correo.xoc.uam.mx.

Lugol. Se aisló el DNA del contenido intestinal de un grupo de ostras para detectar la presencia de Blastocystis sp. y determinar el subtipo al que pertenece, mediante la amplificación por PCR de la región ITS1-5.8S-ITS2. Los amplicones se secuenciaron y luego se tipificaron mediante análisis bioinformático. Se observaron quistes o formas vacuolares de Blastocystis sp. en el 71.3% de las ostras por microscopía óptica. El subtipo (ST) de Blastocystis identificado por PCR en C. virginica corresponde al ST1 subgrupo A. Concluimos que comer ostras crudas es una posible fuente de infección de Blastocystis sp. para los humanos.

Palabras clave. *Blastocystis, ST1, C. virginica, Ostras, Mercados de autoservicio.*

INTRODUCTION

Blastocystis sp. is an intestinal protist that belongs to the Chromista kingdom, located in the Stramenopiles sub-kingdom. Besides being a common organism of the human intestinal tract, it is found colonizing the intestine of a wide variety of vertebrates (cats, pigs, dogs, poultry, rodents and even cockroaches), and is considered a zoonotic protozoan (Scanlan, 2012; Stensvold *et al.*, 2007; Parija and Jeremiah, 2013; Zierdt *et al.*, 1967).

Blastocystis sp. are facultative anaerobic organisms, it presents from one to four nuclei and typical organelles of a eukaryotic cell. They usually present four different forms: vacuolar, granular, ameboid and cyst. The vacuolar form also called central body is characterized by a large central vacuole that occupies most of the cell, surrounded by a peripheral band of the cytoplasm with one or more nuclei. Its size varies from 3 μm to 120 μm . It has a surface coating that is rarely observed to protect it from osmotic shock, and it is has been postulated that it participates in the capture of bacteria for its nutrition. The granular form is similar to the vacuolar form, except for the presence of metabolic, reproductive or lipid granules. The diameter of the granular forms ranges between 15 μm and 25 μm . The amoeboid form (trophozoite) presents pseudopodia and has a large phagocytic activity. It has an irregular shape and generally measures around 10 μm in diameter. The shape of the cyst is spherical and smaller than the vacuolar and granular form. Cysts isolated from humans usually have a diameter of 3-6 μm and do not exceed 10 μm , while larger cysts have been isolated from animal hosts. The cyst is the only transmissible form of *Blastocystis* sp., it confers protection during adverse conditions and it is considered to remain viable up to 1 month at 25 °C even to air exposure (del Coco *et al.* 2017; Martínez-Barbabosa *et al.*, 2017; Stensvold *et al.*, 2007; Zierdt, 1967).

The epidemiology of *Blastocystis* sp. is somewhat enigmatic and controversial: while the source of the infection and the mechanism of transmission are not yet known with precision, the most accepted explanation is fecal-oral as that of other intestinal protozoa (transmitted by fecalism). Humans can acquire zoonotic infections, and especially *Blastocystis* sp. due to the great variety of hosts that it has. However, the possibility of transmission of this chromist by the consumption of oysters infected by *Blastocystis* sp. has not yet been satisfactorily investigated, especially in oysters distributed in supermarkets. The present study was carried out as an attempt to fill this gap. The main objective of this work was to detect the presence of *Blastocystis* sp. among the bivalve mollusk *Crassostrea virginica* collected in self-service markets, as a possible source of infection for humans.

MATERIAL AND METHOD

Sampling

In a period of four months (June to September 2018), a cross-sectional exploratory descriptive study was carried out that consisted in the collection of 550 American oyster *C. virginica* for the search of *Blastocystis* sp. The oysters were obtained by simple random sampling in different self-service markets in Mexico City.

Microscopic analysis

Each mollusk was placed in a sterile petri dish to obtain the intestine by dissection. The intestinal content was analyzed by direct examination in fresh with 0.85% sterile NaCl solution and Lugol solution. The morphological identification of *Blastocystis* sp. was done with Carl Zeiss photonic microscopes at 100X and 40X magnifications. Fecal smears stained with Gomori were made for fine observation of the morphology of *Blastocystis* sp. (Martínez-Barbabosa *et al.*, 2017).

Molecular identification of *Blastocystis* sp.

Total DNA was obtained from the intestinal content of a sample of 15 oysters, applying the Guanidine Thiocyanate technique. Briefly, a lysis solution containing 5M guanidine

ticianate, 10mM EDTA, 50mM Tris, 2% lauryl sarcosyl is added and subsequently the DNA is precipitated with 3M sodium acetate at pH 5.2, finally lipid and protein residues are eliminated with a chloroform-isoamyl alcohol solution (24: 1) (Sambrook and Russell, 2001). The detection and identification of the subtype (ST) of *Blastocystis* was carried out using the methodology described by Villalobos et al. (2014), which consists in amplifying the Internal transcribed spacer (1 and 2) plus the 5.8S region (ITS1+5.8S+ITS2) of rDNA by PCR. Using the following primers: ITS-Blas-F (5'-GGA AGG TGA AGT CGT AAC-3 'AAG), ITS-Blas-R (5'-CAG GTC TTC TTR CTT GA-3 '), which amplify a ~ 550 bp fragment to ST 1, ~ 530 bp to ST 2, ~ 620 bp to ST 3 and ~ 590 bp to ST 7. The mixed volume of the PCR containing: 1 mM dNTPs, 2 mM magnesium chloride, 5X colorless GoTaq flexi, 1.5×10^{-4} mM bovine serum albumin, 0.5 mM primers, 1 U of GoTaq DNA polymerase (Promega, USA) and 50 μ g of DNA sample. A thermocycler Mycycler (BioRad, USA) was used, the amplification conditions were an initial denaturation at 94 °C for 30 s, 35 cycles after denaturation at 94 °C for 30 s, annealing at 60 °C for 45 s, extension at 72 °C for 30 s and final extension at 72 °C for 10 min. The amplicons were electrophoresed on 1.2% agarose gels. Positive samples were purified with the ExoSAP kit (New England, UK). The purified amplicons were sent to sequence to Macrogen, Korea.

To determine the subtype of *Blastocystis*, the sequences obtained from the oyster samples were analyzed using the BLAST database of the National Center of Biotechnology Information. The sequences were registered in GenBank obtaining the registration numbers MG921687 and MG921688. Subsequently, sequences from the ITS-5.8S-IT2 region of subtypes 1, 2, 3 and 7 of *Blastocystis* found in humans were downloaded from GenBank. These sequences were aligned with the sequences found in *C. virginica* using the Clustal X program. Finally, through the program MEGA 7 a phylogenetic tree was constructed with Maximum Likelihood method to determine the subtype to which it belongs.

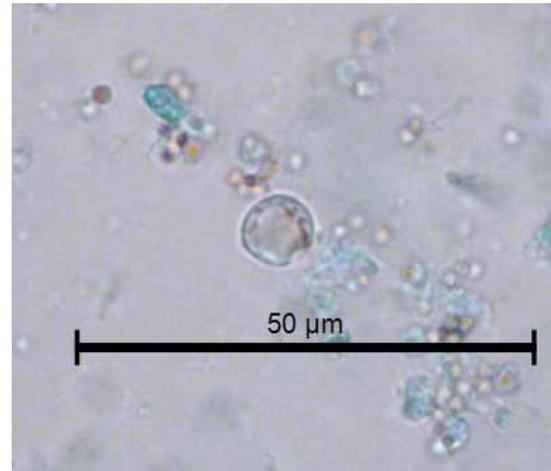
RESULTS

The total microscopic analysis of the oysters showed the presence of cysts or vacuolar form of *Blastocystis* sp. in 71.3% of the samples. Figure 1 illustrates the cyst form of *Blastocystis* sp. dyed with Lugol, inside there are granules. The vacuolar form of *Blastocystis* sp. stained with Gomori was observed in Figure 2, it allows to appreciate a cell of around 10 μ m in diameter, with a large central vacuole that occupies more than 70% of the cell surrounded by a peripheral band of the cytoplasm with several nuclei and numerous mitochondria.

Figure 1. *Blastocystis* sp. cyst in *C. virginica* feces stained with Lugol solution (40X magnification)



Figure 2. Image of the vacuolar form of *Blastocystis* sp. in stool of *C. virginica* stained with Gomori stain (100X magnification)



Molecular detection of *Blastocystis* by amplifying the ITS1-5.8S-ITS2 sequence in some of the oyster samples analyzed is observed in the Figure 3. It can be seen that samples C2 and C15 present an amplicon about 450 bp, like the control sample, which indicates the presence of *Blastocystis*, the other samples were negative. The amplicons were sequenced, presenting a size of 436 pb and when aligned in BLAST it presented a percentage of identity of 96% with *Blastocystis* sp. When making a phylogenetic tree using the ITS sequences of human *Blastocystis* obtained from GenBank, we found that it belongs to the *Blastocystis* subtype ST1 subgroup A, Figure 4.

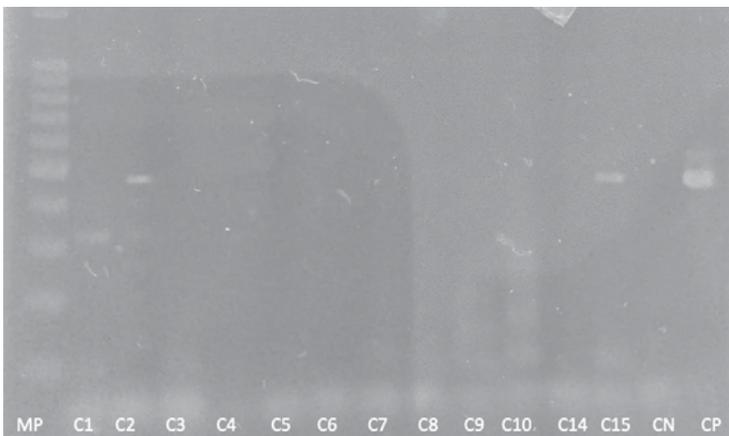
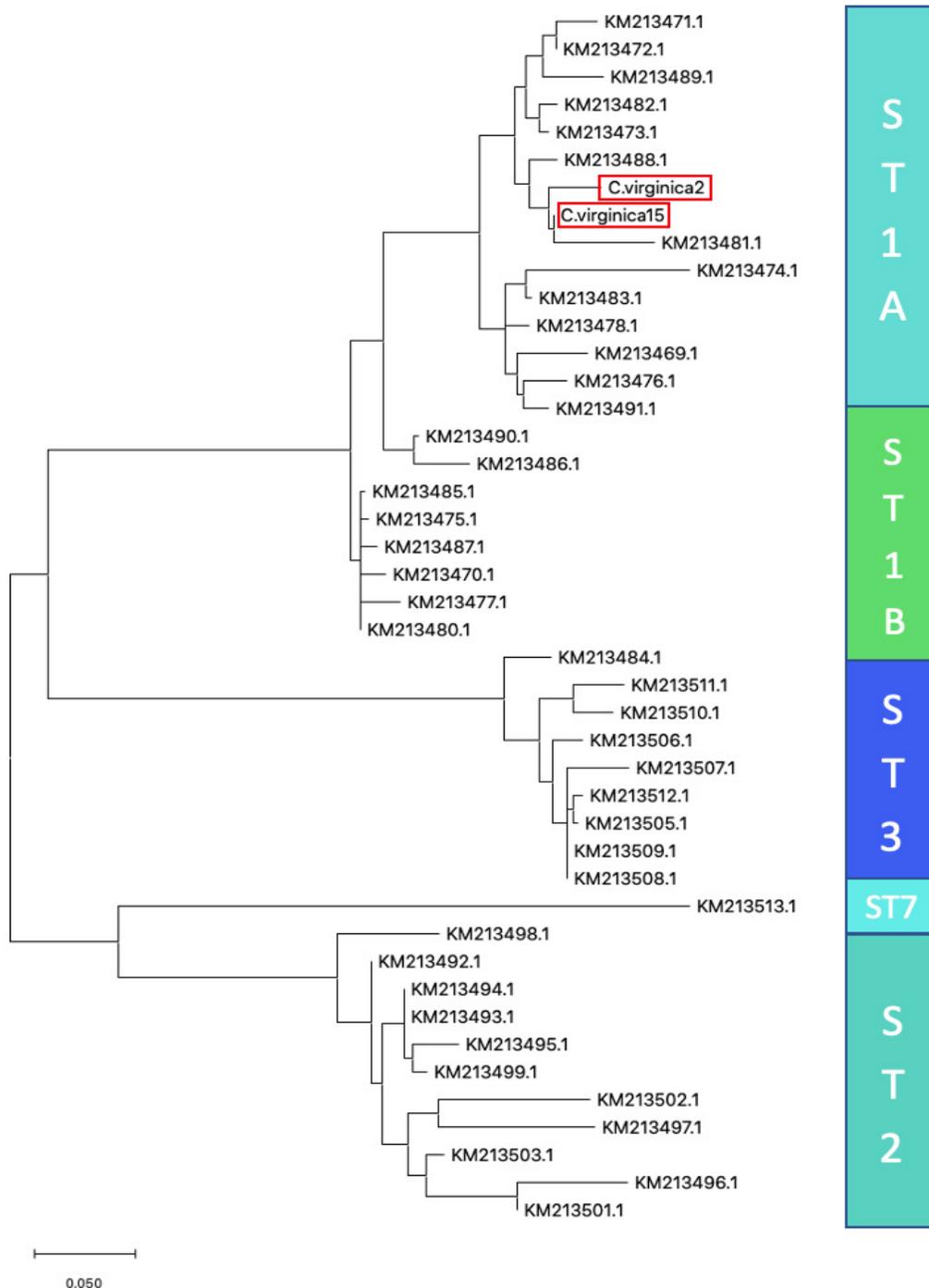


Figure 3. Amplification of the ITS1-5.8S-ITS2 region of rDNA by PCR. 1.5% agarose electrophoresis gel. C1 to C15: samples taken from oysters; MP: 100pb molecular weight marker; CN: Reaction control; CP: positive control sample of *Blastocystis* isolated from human.

Figure 4. Phylogenetic tree of *Blastocystis* STs using ITS1-5.8S-ITS2 region sequences. The phylogenetic tree was constructed with Maximum Likelihood method. The sequences of samples 2 and 5 isolated from *C. virginica* are included (MG921687 and MG921688), remaining in the clade of the subtype ST1 subgroup A.



DISCUSSION

In Mexico, the exploitation of oysters is one of the important fishing activities. The Gulf of Mexico generates 90% of the national oyster production. The American Oyster *C. virginica* is the most commercially important. It is distributed from the Gulf of San Lorenzo in Canada to the Laguna de Términos in the state of Campeche, Mexico. The largest production is carried out in the states of Tabasco and Veracruz. The annual oyster production is 400 thousand tons (Contreras and Castañeda, 2000), it is considered as an important oyster reserve in the American continent.

Oyster consumption is mainly due to its low price and high nutritional value, it provides 9.7% protein, 3.1% carbohydrates, and 1.7% fat plus vitamins A, B, C and D, same as phosphates, chlorides, and high zinc content. Basic nutrients in human nutrition.

The oysters are mollusks of the lamelibranch or bivalve group, to which numerous edible species belong. The oysters are fed by filtration, it is estimated that around 150 L of water per day are filtered, viruses, bacteria, protozoa, cysts, eggs and larvae of different organisms have been found so they can serve as potential reservoirs of pathogens for the human being, especially when consumed raw, which implies a risk for the consumer to develop important zoonoses such as blastocystosis (Aguirre-Macedo et al., 2007; Cabrera et al., 2010).

In recent years the prevalence of blastocystosis in the world population has increased significantly, to such a degree that it exceeds giardiasis and other protozosis transmitted by fecalism (Boorom et al., 2008; Dudlová et al., 2018; Martínez-Barbabosa et al., 2010; Weerakoom et al., 2018).

From the epidemiological point of view, the consumption of raw oysters infected with *Blastocystis* sp. can be a risk to the consumer as has been already reported (Martínez-Barbabosa et al., 2017; Martínez-Barbabosa et al., 2018; Campos et al. 2018). Because this microorganism could adapt to the physiological conditions that gives the human intestine and thus get to reproduce and produce the infection. We found a high presence of carrier oysters of *Blastocystis* sp. by microscopic observation. Studies conducted in other species indicate that host specificity seems to have some relation to the *Blastocystis* subtype that colonizes it. It is not known if the oyster is colonized by *Blastocystis*, which should be investigated by determining the life cycle of this protozoan in oysters.

Studies of genetic diversity have led to the identification of numerous subtypes within the genus *Blastocystis* (Stensvold et al., 2007). So far, 26 subtypes have been identified (Stensvold and Clark, 2020), of which ST1 to ST8 colonize the intestine of humans and other hosts, ST9 only colonizes man, the other subtypes have not been identified

in humans. The ST3 subtype is the one most frequently detected in humans, but the ST1, ST2 and ST4 subtypes have also been regularly identified (Villalobos *et al.*, in 2014, Parija and Jeremiah, 2013; Stensvold *et al.*, 2012). In this work, we found the presence of *Blastocystis* of the subtype ST1, specifically from subgroup A, as proposed by Villalobos *et al.*, in 2014, since after doing the bioinformatic analysis the sequences found in the analyzed oyster samples are grouped into the clade of subgroup A of ST1 (Figure 4).

A possible cause of the presence of *Blastocystis* in oysters is human or animal fecal contamination in aquifers areas, but this has to be yet corroborated. If this is true is necessary to generate measures or actions that can mitigate the contamination of the aquifers and be able to eliminate the presence of *Blastocystis* sp. in *C. virginica*,

Due to these evidences, there is the possibility of using *C. virginica* as a surveillance model for *Blastocystis* infections in humans in coastal areas, that is, the presence of *Blastocystis* sp. in oysters it could indicate the possible presence of this protozoan in humans.

The presence of *Blastocystis* ST1 in oysters *C. virginica* implies that the corresponding sanitary authorities consider these oysters as a reservoir of *Blastocystis* sp. and to blastocystosis one of the emerging foodborne parasitic diseases (PTA) such as taeniasis, toxoplasmosis, trichinosis and hydatidosis (FAO / WHO, 2014). The pathogenicity of *Blastocystis* ST1 found in *C. virginica* will only be confirmed until the relevant studies are carried out. The association between the subtypes of *Blastocystis* and the clinical manifestations that can produce is still controversial, although there is some evidence to suggest that it behaves like a true pathogen (Dogruman-Al *et al.*, 2009; Parija and Jeremiah, 2013; Stensvold *et al.*, 2013;). Infection in immunocompromised persons can lead to severe diarrheal syndrome (Deepika *et al.*, 2017; Paboriboune *et al.*, 2014; Rasti *et al.*, 2017).

Therefore, these results suggest that oysters are a possible source of infection for humans, hence it is advisable to cook the oysters before consumption.

CONCLUSIONS

Microscopic evidence indicates the presence of *Blastocystis* in *C. virginica* obtained from self-services markets. Likewise, the molecular analysis determined that *Blastocystis* ST1 subgroup A was found; this subtype can be found in the human population. These findings are important because the consumption of raw oysters with *Blastocystis* ST1 should be considered as a possible route of transmission for humans.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by UAM-Xochimilco

DECLARATIONS OF INTEREST

None

BIBLIOGRAPHY

- Aguirre, M. *et al.* (2007). "Parasite survey of the Eastern oyster *Crassostrea virginica* in coastal lagoons of the southern Gulf of Mexico", in *J. Aquat. Anim. Health*, 19 (4): 270-279.
- Boorom, K. *et al.* (2008). "Oh my aching gut: irritable bowel syndrome, *Blastocystis*, and asymptomatic infection", in *Parasit. Vectors*, 1(1): 40.
- Cabrera, L. *et al.* (2010). "Detección de parásitos protozoarios y helmintos en el molusco bivalvo *Geukensia demissa* (Dillwyn, 1817) presente en el sector de Nazarét del Municipio Mara, Estado Zulia, Venezuela", in *Rev. Científica*, 20(1): 7-16.
- Campos, J. *et al.* (2018). "Detection and typing of *Blastocystis* spp. in oysters (*Crassostrea virginica*) collected in Actopan River, Chachalacas, Veracruz", in *Inter. J. Fisher Aquat. Stud.*, 6(2): 511-514.
- Contreras, F. and Castañeda, O. (2004). "Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos", in *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. México: INE-SEMANAT.
- Del Coco, F. *et al.* (2017). "*Blastocystis* spp.: avances, controversias y desafíos futuros", in *Rev. Arg. Microbiol.*, 49(1): 110-118.
- Deepika, K. *et al.* (2017). "Multiple parasitic and viral infections in a patient living with HIV/AIDS on antiretroviral therapy", in *Indian J. Med. Microbiol.*, 35(3): 432-435.
- Dogruman, F. *et al.* (2009). "PCR-based subtyping of *Blastocystis* isolates from symptomatic and asymptomatic individual in a major hospital in Ankara, Turkey", in *Parasitol. Res.*, 106(1): 263-268.
- Dudlová, A. *et al.* (2018). "Prevalence of non-pathogenic types of gastrointestinal protozoa in population in Slovakia and their potential importance in the aspect of public health", in *Acta Parasitol.*, 63(4): 819-825.

- FAO/WHO. (2014). Multicriteria-based ranking for risk management of food-borne parasites. Microbiological Risk Assessment Series No 23. Rome.
- Martínez, I. *et al.* (2010). “*Blastocystis hominis* y su relación con el estado nutricional de escolares en una comunidad de la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México”, in *Rev. Biomed.*, 21(2): 77-84.
- Martínez, I. *et al.* (2017). “Identification by Light Microscopy of *Blastocystis* Sp. in Oysters *Crassostrea virginica*”, in *Integr. J. Vet. Biosci.*, 1(2): 1-3.
- Martínez, I. *et al.* (2018). “Presence of *Blastocystis* spp. In the mollusc *Crassostrea virginica*, in Mexico City”, in *Rev. Salud Animal.*, 40(2): 1-5.
- Paboriboune, P. *et al.* (2014). “Intestinal parasitic infections in HIV-infected patients, Lao People’s Democratic Republic”, in *PLoS One*, 9(3): e91452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091452>
- Parija, C. & Jeremiah, S. (2013). “*Blastocystis*: Taxonomy, biology and virulence”, in *Trop. Parasitol.*, 3(1): 17-25.
- Rasti, S. *et al.* (2017). “Intestinal parasitic infections in different groups of immunocompromised patient in Kashan and Qom cities, central Iran”, in *Scand. J. Gastroenterol.*, 52(6): 738-41.
- Sambrook, J. and Russell, D. (2001). *Molecular cloning a laboratory manual*. 3rd edn. USA: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Scanlan, D. (2012). “*Blastocystis*: past pitfalls and future perspectives”, in *Trends Parasitol.*, 28(8): 327-334.
- Stensvold, R. *et al.* (2007). “Terminology for *Blastocystis* subtypes-a consensus”, in *Trends Parasitol.*, 23(3): 93-96.
- Stensvold, R. *et al.* (2012). “Levels of genetic diversity vary dramatically between *Blastocystis* subtypes”, in *Infect. Genet. Evol.*, 12(2): 263-273.
- Stensvold, R. (2013). “*Blastocystis*: Genetic diversity and molecular methods for diagnosis and epidemiology”, in *Trop. Parasitol.*, 3(1): 26-34.
- Stensvold, R. & Clark, G. (2020). “Pre-Emptying Pandora’s Box: *Blastocystis* Subtypes Revisited”, in *Trends Parasitol.*, 36 (3): 229-232.
- Villalobos, G. *et al.* (2014). “Suitability of internal transcribed spacer (ITS) as maker for the population genetic structure of *Blastocystis* spp”, in *Parasit. Vectors.* 7: 461.
- Weerakoom, G. *et al.* (2018). “Co-parasitism of intestinal protozoa and *Schistosoma japonicum* in a rural community in the Philippines”, in *Infect. Dis. Poverty* 7(1): 121.
- Zierdt, H. *et al.* (1967). “Protozoan characteristic of *Blastocystis hominis*”, in *Am. J. Clin. Pathol.*, 48(5): 495-501.

Aprendizaje individual y colectivo en la acuicultura de pequeña escala en Morelos

Jaime Matus Parada¹

Resumen. Con la finalidad de incidir en los conocimientos necesarios para que los acuicultores de pequeña escala puedan mejorar sustentablemente su actividad, y tomándolos como referencia, se estudiaron cuatro procesos de aprendizaje: formación previa al ingreso de la actividad, aprendizaje social, aprendizaje experiencial y esfuerzo personal para formarse mediante capacitación o por medios de comunicación. Los propios acuicultores estimaron sus procesos de aprendizaje a través de un autoinforme, capturado en una encuesta mediante la que se estimó el aprendizaje de los productores en cinco categorías de prácticas acuícolas. Los resultados indicaron que, en la formación de los acuicultores, es prioritario el aprendizaje experiencial, seguido por el aprendizaje social. Ambos procesos de aprendizajes han permitido el mantenimiento de la actividad, pero su repercusión ha sido limitada para beneficiar integralmente a la acuicultura, no obstante, ellos representan el potencial para construir una gobernanza sustentada en un conocimiento integral acuícola.

Palabras clave: Manejo colaborativo, Prácticas acuícolas, Sustentabilidad acuícola, Transición a la sustentabilidad.

Abstract. With the aim to positively influence knowledge required to improve aquaculture activity in a sustainable manner, we study four learning processes in small-scale fish-farmers: training prior the activity, social learning, experiential learning, and personal effort to receive in-person or virtual training. Fish-farmers measured their own learning processes through a self-report consisting of a survey, which was used to evaluate their learning in five aquaculture practice categories. Results showed that experiential learning is critical for fish-farmers training, followed by social

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento El Hombre y su Ambiente, e-mail: montagno_49@hotmail.com.

learning. Both learning processes have allowed the successful maintenance of this activity, but their impact in benefiting aquaculture integrally has been limited. However, they represent the potential to construct a governance based on a comprehensive aquaculture knowledge.

Keywords: *Collaborative management, Aquaculture practices, Aquaculture sustainability, Transition to sustainability.*

INTRODUCCIÓN

La acuicultura de pequeña escala² a nivel mundial representa un sector productivo crucial, pues cumple la función de abastecimiento alimentario y constituye además una fuente de crecimiento y empleo (Salazar *et al.*, 2018). No obstante, las granjas pertenecientes a esta acuicultura suelen presentar una serie de limitaciones para permanecer y crecer, a tal grado que un alto porcentaje de ellas no llegan a estar activas más allá de un año (Canal, 2012). Se ha denunciado que gran parte de este problema es debido a las reducidas posibilidades que tienen sus propietarios granjas para acceder a fuentes de información que les permita superar la debilidad de sus prácticas acuícolas (López-Jiménez *et al.*, 2020). Las granjas acuícolas de peces de ornato del estado de Morelos, en México, constituyen casos representativos de estas unidades productivas de pequeña escala, con problemas para acceder a los conocimientos potenciales que pueden mejorar sus prácticas (Diedrich *et al.*, 2019). En atención a este problema, la presente investigación se realiza bajo la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar la creación, acceso, movilización y utilización de los conocimientos necesarios para que los acuicultores de pequeña escala puedan mejorar su actividad en un marco de sustentabilidad? En busca de la respuesta, este trabajo parte del supuesto de que los acuicultores acceden a los conocimientos que les permiten realizar su actividad a través de diferentes procesos de aprendizaje,³ los cuales pueden ser de carácter individual o colectivo.

² La acuicultura de pequeña escala es la actividad de cultivo de recursos hidrobiológicos realizada por unidades relativamente pequeñas de producción, que cuentan con pocos recursos e insumos y tienen baja producción (Salazar *et al.*, 2018).

³ El aprendizaje ha sido conceptualizado de muy diferentes formas, pero aquí se afilia a una definición general y abierta, más que sin embargo permite trabajarlo con sustentos y a la vez de manera operativa, de esta forma se entiende por aprendizaje al proceso que en los organismos vivos (en este caso acuicultores) conduce a un cambio permanente de capacidad y que no se debe únicamente a la maduración biológica o al envejecimiento (Illeris, 2007).

En este trabajo se abordan los procesos de aprendizaje acuícola, no sólo porque conforman los medios para hacerse de conocimientos, sino también porque existe una extensa literatura que los considera mecanismos prometedores para avanzar hacia una producción sustentable. Así, por ejemplo, existen trabajos que han descubierto la forma en que los aprendizajes, a través de formas dialógicas de comunicación, han sido efectivos para desarrollar capacidades de producción sustentable (Buchecker *et al.*, 2013). Otros trabajos han develado el papel de los aprendizajes para la adopción de nuevas formas de trabajo (BenYishay y Mobarak, 2019), y otros más han encontrado que el aprendizaje constituye un componente esencial para el aprovechamiento de algunos recursos naturales (Schusler *et al.*, 2003).

En los acuicultores activos inciden diferentes procesos de aprendizaje, a través de los cuales se forman como productores, por ejemplo, pueden aprender cuando se capacitan, cuando investigan por su cuenta o mediante su trabajo cotidiano (Norström *et al.*, 2020). Hay distintos tipos de teorías del aprendizaje y cada una de ellas destaca aspectos diferentes que reflejan un enfoque particular (Wenger *et al.*, 2002). Aquí se rescatan cuatro procesos de aprendizaje que intervienen en la actividad del acuicultor, sin pretender que sean los únicos, sino sólo algunos de mayor relevancia. El primero es el asociado con la formación básica previa que recibieron los productores antes de introducirse a la actividad acuícola, la cual pudo consistir en estudios formales generales de algún nivel educativo, o bien, de estudios más específicos como técnico acuícola o estudios profesionales afines a la actividad acuícola. Un segundo proceso de aprendizaje es aquel que se produce cuando el acuicultor interactúa con otras partes interesadas en la actividad acuícola para intercambiar conocimientos de diferente naturaleza, pero que convergen en la actividad; a este tipo de aprendizaje se le suele denominar social,⁴ y hace referencia a que su construcción implica a un grupo o colectivo de individuos (Kendal *et al.*, 2018). Un tercer proceso se genera cuando el acuicultor, al trabajar, genera sus propios conocimientos y aprende a partir de lo que hace; a este tipo de aprendizaje se le

⁴ No existe consenso sobre la definición de aprendizaje social (Siebenhüner *et al.*, 2016), de hecho se ha empleado en una amplia gama de disciplinas y perspectivas teóricas, en estudios centrados en individuos o en muchos tipos diferentes de grupos sociales, organizaciones y sociedades sin llegar a una definición compartida (Tyler, 2008). Pero en general, por aprendizaje social se entiende una interacción participativa entre individuos que mejora el aprendizaje más allá del individuo y se sitúa dentro de unidades sociales más amplias (Blackmore, 2010).

ha denominado aprendizaje experiencial (Kolb, 1984) o aprendizaje a través de la práctica.⁵ Un cuarto proceso es cuando el acuicultor, mediante un esfuerzo personal, recibe cursos, capacitaciones o talleres, o bien, busca información por su cuenta en los medios de comunicación disponibles a su alcance: artículos, libros, documentales o información digital como tutoriales.

Al considerar estos cuatro procesos referidos, el trabajo abarca tanto un enfoque individual como colectivo del aprendizaje. Estos procesos actúan integralmente, de tal forma que el aprendizaje social favorece al individual, el cual, en un entorno participativo, retroalimenta al aprendizaje social a tal grado que en algunas ocasiones la fuerza y poder de éste es definido por lo que se aprende individualmente (Moschitz *et al.*, 2015). Ambos tipos de aprendizaje constituyen los motores para la creación, movilización y uso del conocimiento, que resulta tan esencial para una gobernanza adaptativa (van der Molen, 2018), así como definen la capacidad de acción del acuicultor y pueden incidir en definir límites y posibilidades de dicha gobernanza (Wyborn *et al.*, 2016).⁶

Todo lo que el acuicultor aprenda, de manera individual o colectiva, repercute en su capacidad productiva y se refleja en las prácticas acuícolas que realiza, ya sean sustentables o no (Dessart *et al.*, 2019). Por ello, resulta justificado comprender el potencial y limitaciones del aprendizaje para la gestión colaborativa de recursos naturales (Schusler *et al.*, 2003). Así, en la producción sustentable de peces, los procesos de aprendizaje pueden resultar equilibrados, o no, y generar huecos de conocimiento que limiten la implementación de prácticas específicas (Milman *et al.*, 2020). En particular, en la acuicultura de pequeña escala resulta frecuente encontrar una incidencia diferencial del aprendizaje, lo que provoca que algunos tipos de conocimiento relevantes estén ausentes o sean poco atendidos.

Convencionalmente, los problemas de aprendizaje acuícola y la mejora del acceso de conocimientos necesarios para estos productores se han tratado mediante la transferencia de conocimientos de arriba hacia abajo, en la que los conocimientos acuícolas

⁵ A este tipo de aprendizaje también se le ha denominado iterativo y se caracteriza por el “aprender haciendo” y por su vinculación con la capacidad adaptativa de los organismos (Doubleday, 2008). Esta denominación lo diferencia del aprendizaje interactivo (o social) que ocurre a través de procesos de colaboración (Berkes, 2009).

⁶ Siguiendo las ideas expresadas por Elinor Ostrom (1999), se entiende aquí por gobernanza adaptativa al proceso mediante el cual un grupo de personas acrecientan su integración con el medio natural y social que les rodea al organizarse para tomar decisiones, ejecutar actividades, procedimientos y normas para regular sus relaciones, acuerdos y transacciones.

generados por los centros de investigación son transferidos para asesorar a los productores en sus prácticas de trabajo (Moschitz *et al.*, 2015). Esta alternativa extensionista, al estar sustentada en la oferta institucional y tecnológica no permite la retroalimentación, tampoco considera la demanda y las necesidades de estos productores y ha tenido un efecto reducido para mejorar sus condiciones de producción (Cuéllar-Lugo *et al.*, 2018). Por demás está decir que este extensionismo rural clásico no posibilita que los productores expresen por sí mismos cómo aspiran a mejorar, por lo que quedan supeditados a iniciativas que tienden a mantener las formas funcionales y estructurales del capitalismo. Esto también incluye a las propuestas formales de sustentabilidad acuícola más ampliamente difundidas, como la del enfoque ecosistémico en uno de los manuales de la FAO (Hambrey *et al.*, 2008)⁷. De hecho, el marco de la Agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible (CEPAL, N.U., 2019) presentan alternativas de un capitalismo reformulado, por ejemplo, el objetivo 12 “*Producción y consumo responsable*” plantea como alternativa una variedad de desarrollo al centrarse en la mejora productiva mediante el incremento de las ganancias netas, la calidad de vida de los productores y la degradación y contaminación ambiental. Una alternativa a las estrategias de arriba hacia abajo, sería el que los mismos acuicultores tuvieran posibilidades de expresar su horizonte de cambio, así como configurar por sí mismos alternativas que puedan ir más allá de las variedades de desarrollo, las cuales finalmente comparten un mismo cimiento capitalista.⁸

La relevancia del aprendizaje acuícola tiene por lo menos tres vertientes destacadas: puede brindar la posibilidad de trazar una alternativa de cambio propia de los productores acuícolas; posibilita incidir en la mejora de prácticas productivas genuinamente sustentables, y favorece la puesta en marcha de una gobernanza adaptativa que coloque a los productores en mejores condiciones para afrontar la incertidumbre y los cambios ambientales y de mercado. Dada esta relevancia, el presente trabajo se realizó orientado por los siguientes objetivos: 1) explorar los principales procesos en que los acuicultores de Morelos están aprendiendo continuamente a ejercer su activi-

⁷ Esta concepción de sustentabilidad acuícola ha dominado la literatura del campo y se suele presentar mediante tres principios básicos: 1) no poner en peligro las funciones y servicios del ecosistema, 2) mejorar el bienestar y la equidad humana y 3) articularse armónicamente con otros sectores productivos, políticas y objetivos.

⁸ Se ha discutido y presentado evidencia de que el desarrollo capitalista, aún en sus variedades más “verdes”, implican un uso creciente de recursos que a corto o largo plazos se hace insustentable, por ello se habla de que el reto ambiental no consiste en crear alternativas de desarrollo, sino de generar opciones más allá del desarrollo (Gudynas, 2011).

dad, 2) analizar la incidencia de los procesos de aprendizaje actuales en la operación de las granjas acuícolas y 3) derivar las condiciones y factores que permitirían una mayor incidencia de los procesos de aprendizaje en el fomento de mejores prácticas y de una gobernanza acuícola, encausada a una producción sustentable.

METODOLOGÍA

El trabajo de campo se realizó desde el mes de septiembre de 2019 a marzo de 2020 e inició con un listado del total de granjas acuícolas del estado de Morelos registrados en el Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (CESAEM). Posteriormente, se invitó a los acuicultores registrados a participar en el trabajo, informándoles sobre los objetivos y metas de la investigación. Un total de 63 acuicultores se interesaron en participar en el proyecto, pero sólo a 42 de ellos se les pudo estudiar debido a que cumplieron con las citas para realizar las encuestas, así mismo estuvieron a disposición para recibir las visitas de observación en sus unidades productivas y brindar su información socioeconómica.

Las herramientas utilizadas para el estudio fueron las guías de observación y las encuestas, tanto para estimar el aprendizaje y los rasgos socioeconómicos. El instrumento central fue la encuesta, mediante ella los acuicultores estimaron sus procesos de aprendizaje a través de un autoinforme, el cual ha sido utilizado comúnmente para medir el aprendizaje (Ernst, 2019). Para realizar la encuesta se comenzó con un listado preliminar de las prácticas acuícolas que cotidianamente realizan. El listado partió de un estudio anterior (Matus, 2020) para, posteriormente, verificarlo y ajustarlo en colaboración con los encuestados. Una vez concluido el listado de prácticas, éstas se clasificaron en cinco grandes categorías con el fin de facilitar su procesamiento: 1. Control de riesgos ecológicos, 2. Usos de recursos naturales, 3. Eficiencia productiva, 4. Generación y usos de capital y 5. Integración social de la acuicultura al paisaje.

Estas cinco categorías incluyeron la interacción de lo ecológico, productivo, económico y social, debido a que en las dos primeras categorías (Control de riesgos ecológicos y Uso de recursos naturales) se incluyeron prácticas ecológicas: en la primera se abarcaron las prácticas de protección y conservación, y en la segunda las prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales existentes en el entorno de las granjas. En la tercera categoría, Eficiencia productiva, se englobó a las prácticas productivas referidas al manejo tecnológico de la biología y ecología de las especies de cultivo. En la cuarta categoría, Generación y uso de capital, se agrupó a las prácticas económicas, principalmente de

tipo financiero (relacionadas con la administración de las unidades productivas) y de tipo comercial (implicadas en la venta de sus productos). Finalmente, en la quinta categoría, Integración social de la acuicultura al paisaje, se agruparon las prácticas de tipo social, ya que hacen referencia a la contribución de la acuicultura al territorio en su conjunto, tanto a las comunidades como a las instituciones que lo conforman.

La encuesta consistió en indagar cómo habían aprendido esas prácticas, y las respuestas de los acuicultores se dieron en función de la percepción de su propio aprendizaje en cada una de ellas, mediante una escala Likert constituida de la siguiente forma: 0 (aprendizaje nulo), 1 (aprendizaje bajo), 2 (aprendizaje medio) y 3 (aprendizaje alto). Con estos resultados obtenidos se calcularon los porcentajes de aprendizaje para cada categoría de prácticas mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\sum Ni}{\sum Nmax} \times 100$$

donde:

$\sum Ni$ = es la suma de los valores obtenidos de aprendizaje de cada acuicultor.

$\sum Nmax$ = es la suma de los valores máximos posibles (42 X 3), dado que fueron 42 acuicultores y 3 el valor de aprendizaje más alto.

Una vez obtenidos estos resultados, se sometieron a un análisis comparativo en los cuatro procesos de aprendizaje considerados y descritos en la introducción del trabajo: formación previa, aprendizaje social, aprendizaje experiencial y esfuerzo personal.

Las guías de observación se llevaron a cabo mediante dos visitas acordadas con los productores y sirvieron para recopilar información sobre las formas particulares del trabajo de cada productor, así como los rasgos generales de infraestructura de las granjas. La encuesta socioeconómica se aplicó para obtener los datos personales de los productores, como su edad, género, años de experiencia en la actividad, nivel de estudios máximo alcanzado y número y tipo de capacitaciones recibidas.

RESULTADOS

El aprendizaje acuícola construido

En el cuadro 1 se presentan los porcentajes obtenidos para cada proceso de aprendizaje en cada una de las cinco categorías de prácticas consideradas. Se observa ahí que existen diferencias notorias en los distintos procesos de aprendizaje, pero se detectan dos rasgos generales: el primero es que en los cuatro procesos de aprendizaje considerados, los conocimientos predominantes son los relacionados con la eficiencia productiva, y los de menor aprendizaje son los relacionados con la integración de la actividad al paisaje, que incluyen prácticas asociadas con la contribución de la acuicultura a las comunidades humanas. Un segundo rasgo general, es que todos los acuicultores incorporados a la actividad con una buena formación, también destacan en otros procesos de aprendizaje.

Cuadro 1. Porcentajes de aprendizaje obtenidos para cada proceso de aprendizaje en cada una de las cinco categorías de prácticas consideradas

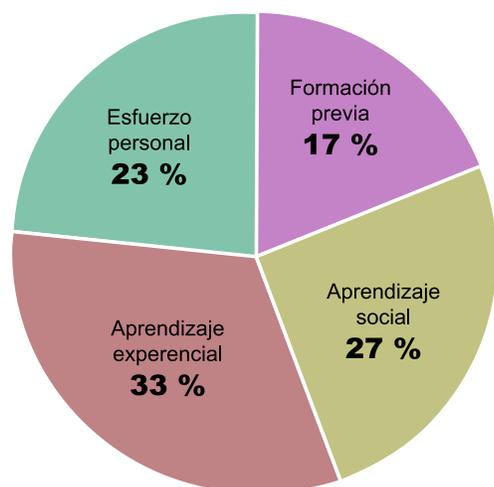
Categorías de prácticas	Formación previa	Aprendizaje social	Aprendizaje experiencial	Esfuerzo personal
Control de riesgos ecológicos	16.7	16.8	14.4	18.0
Usos de recursos naturales	16.7	22.1	19.2	18.0
Eficiencia productiva	40.5	39.7	34.9	32.4
Generación y usos de capital	16.7	15.3	32.2	26.1
Integración al paisaje	7.14	6.87	7.53	5.41

Fuente: Elaboración propia.

En forma más analítica, la *formación previa* tiene la contribución más moderada en el aprendizaje general de estos acuicultores (Gráfica 1). Se encontró que los años promedio de educación formal recibida por estos trabajadores, antes de incorporarse a la actividad acuícola, fue de 9 años, pero con una notoria variación interna, pues 55 % mostró una baja preparación, menor al nivel escolar de primaria, otro 15 % manifestó una formación media, con estudios hasta el nivel de secundaria, y sólo 30 % presentó una buena formación, pues llegaron a adquirir títulos de técnicos y profesionales relacionados con la actividad

acuícola. No obstante esta variación, la mayoría de ellos consideró que los conocimientos adquiridos mediante esa educación formal previa tuvieron escasa relevancia para realizar su actividad productiva.⁹ En todos los casos también, los conocimientos aprendidos en su formación previa fueron de un carácter tecnológico, referidos a la eficiencia productiva y conformados por aprendizajes generales asociados con el manejo biológico y ecológico de especies piscícolas.

Gráfica 1: Contribución (en porcentaje) de los cuatro procesos de aprendizaje a la formación del acuicultor



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al *aprendizaje social* se encontró que éste tiene mayor influencia que la capacitación y los medios de comunicación, pero menor que el aprendizaje experiencial

⁹ Probablemente, el que los técnicos y profesionales hayan considerado de escasa relevancia su formación previa al ingreso a esta actividad, se deba a la pérdida de influencia que el conocimiento científico está teniendo globalmente, debido, en gran parte, a la falta de interacción y comunicación entre los ámbitos de la ciencia y los problemas puntuales de poblaciones locales (Arandia *et al.*, 2020).

(Gráfica 1). No todos los acuicultores participan por igual de él, así, por ejemplo, sólo 30% de los acuicultores destacan por su aprendizaje social, de los cuales, más de la mitad presentaron una mayor educación formal previa, lo que sugiere que dicha formación otorga cierta ventaja para participar en la interacción social. El aprendizaje social aparece centrado en la eficiencia productiva y en menor medida en el uso de los recursos naturales, lo que de alguna manera indica que el flujo de conocimientos se establece entre los propios acuicultores y con una menor incidencia de otros actores involucrados en la actividad acuícola. También destaca notoriamente que los aspectos relacionados con la integración al paisaje de la actividad acuícola sean los menos atendidos, lo que habla del poco interés que existe sobre el papel social de la acuicultura en la región (Cuadro 1).

El principal proceso de aprendizaje por el que se están formando los acuicultores estudiados es el *aprendizaje experiencial* (Gráfica 1). Ellos experimentan con nuevas especies a través del ensayo y error para construir individualmente una serie de conocimientos, principalmente de carácter biológico-tecnológicos, que les han permitido sostener sus unidades productivas. Pero también aprenden, de manera muy informal, conocimientos financieros y comerciales al realizar sus labores económicas y balancear sus costos y gastos con las entradas de sus ingresos (Cuadro 1). La mitad de los acuicultores estudiados destacan por su aprendizaje experiencial, y dentro de ellos, 40% se incorporó a la acuicultura con una buena formación, así como también mostraron ser activos en el aprendizaje social.

El *esfuerzo personal* que realizan los diferentes acuicultores para capacitarse por su cuenta, así como para consultar los diferentes medios de comunicación, constituye un proceso de aprendizaje de “relativa” menor relevancia en estas unidades productivas (Gráfica 1). Estos esfuerzos se dirigen a aspectos relacionados con la eficiencia productiva y con la generación y usos del capital, lo cual evidencia la preocupación que representan estos rubros de conocimientos para los acuicultores (Cuadro 1). También 30% de los acuicultores se destacan en este tipo de aprendizaje, y casi la totalidad de ellos fueron los que se incorporaron a la actividad acuícola con una buena formación, es decir, parece haber una evidente relación entre el nivel de formación previa y los esfuerzos por seguirse desarrollando por cuenta propia.

DISCUSIÓN

Repercusiones de los procesos de aprendizaje en el trabajo acuícola

La relación entre el aprendizaje y las prácticas que se implementan para realizar una actividad no se han explorado con suficiente profundidad, además de que la evidencia encontrada sobre el tema está dispersa en múltiples fuentes (Suškevičs *et al.*, 2018). En términos generales, se sabe que dicha relación existe en algunos campos de actividad, como en la gestión de recursos naturales, donde el aprendizaje ha permitido una mejor adaptación de las comunidades a su entorno natural (Fabricius y Cundill, 2014). Los peces manejados en la acuicultura constituyen recursos naturales, y existen evidencias de que el aprendizaje de los acuicultores puede incidir en definir prácticas específicas (Fernö *et al.*, 2011). Lo obtenido en este trabajo se orienta a indicar que el efecto de los procesos de aprendizaje sobre la construcción de los diferentes tipos de conocimientos implicados en la actividad acuícola, no afectan de la misma forma a los distintos tipos de conocimientos asociados a prácticas acuícolas específicas.

En el caso de las dos categorías, Control de riesgos ecológicos y Uso de recursos naturales, se detecta una debilidad en las prácticas ecológicas incluidas en ellas, lo cual es relativamente común en las granjas de escasos recursos (Solaja y Adetola, 2018), este hecho se asocia con la falta de priorización de los conocimientos ecológicos en los procesos de aprendizaje. En principio, los acuicultores no llegan capacitados con estos conocimientos y, con este déficit de entrada, se carece de una base para implementarlas y aprender de la experiencia al tratar de minimizar el impacto acuícola negativo en el medio ambiente circundante, por lo que, sin una base formativa y sin la adquisición en la práctica, el aprendizaje social en este campo resulta reducido y provoca que la acuicultura de Morelos constituya un peligro para los ecosistemas naturales por las especies exóticas que maneja, todas potencialmente riesgosas para convertirse en invasoras de ecosistemas naturales (Alfaro *et al.*, 2014). Igualmente, la debilidad de las prácticas ecológicas no fomenta que este tipo de acuicultura (de pequeña escala) pueda aprovechar los recursos naturales y los servicios paisajísticos que ellos generan, así como tampoco permite el uso eficiente de los recursos clave para su desarrollo: espacio, agua, energía y materiales. Todo esto concluye en que las limitaciones de las prácticas ecológicas en esta acuicultura, no sólo tienen repercusiones ecológicas, sino también económicas y sociales, tal y como se ha encontrado en otros países en desarrollo (Tawaih *et al.*, 2021).

Por su parte, en la categoría Eficiencia productiva, se incluyen las prácticas productivas que son prioritarias en esta región acuícola y que se caracterizan por tener un

corte tecnológico para el manejo de las especies en cultivo. La atención a este tipo de prácticas no son exclusivas del estado de Morelos, sino que se encuentran con frecuencia en la acuicultura de pequeña escala (Mitra *et al.*, 2020). La primacía de estas prácticas tiene sus bases desde el ingreso de los acuicultores a la actividad productiva, pues los principales conocimientos que reciben antes de ser productores son lo que sustentan este tipo de prácticas. Posteriormente, estos conocimientos tecnológicos son prioritarios en el aprendizaje social y también en el esfuerzo continuo de estos trabajadores por mejorarlos. La atención prioritaria a estos tipos de conocimientos en los distintos procesos de aprendizaje no ha sido suficiente para superar sus problemas productivos más apremiantes, y que van desde el mal diseño de estanques e imprecisiones en la siembra de organismos, hasta la carencia de control en la alimentación y condiciones de los estanques (Matus, 2020).

El que se sigan manteniendo problemas en las prácticas productivas, aun cuando existe la prioridad que tienen los conocimientos tecnológicos en los procesos de aprendizaje, probablemente se deba a que el actual aprendizaje social de estos conocimientos se sustenta, casi en exclusividad, en lo que los acuicultores aprenden a partir de su experiencia y de sus esfuerzos individuales por capacitarse y asesorarse en los medios de comunicación que les resultan accesibles. Esto indica que el aprendizaje social presenta limitaciones para contribuir a la gestión eficiente de recursos cuando no es enriquecido por las diferentes partes interesadas involucradas en una situación (Schusler *et al.*, 2003). En este caso, el problema es que los contactos de los productores con investigadores, funcionarios y extensionistas son limitados, lo que a su vez provoca que el aprendizaje social carezca de subsidios de conocimientos que lo enriquezcan. Actualmente, los principales conocimientos que fluyen en el aprendizaje social son los generados por los propios acuicultores, lo cual ha beneficiado a la actividad acuícola en su mantenimiento y expansión, pero como son conocimientos con déficits de sistematicidad y rigor aplicativo, sus repercusiones en la mejora productiva son restringidas.

En la categoría Generación y usos de capital, se aglutinan las prácticas y conocimientos económicos, estos últimos solían ser poco atendidos en la acuicultura de pequeña escala, pero recientemente han venido ganado interés, tanto en sus aspectos comerciales (Mitra *et al.*, 2019), como en su vertiente financiera y de crédito (Rahman *et al.*, 2020). En la acuicultura de Morelos, los procesos de aprendizaje contemplan los conocimientos económicos en segunda importancia, esto a pesar de que la mayoría de los acuicultores no los recibió en su formación previa y no suelen intercambiarlos en su interacción con otros agentes. Sin embargo, estos conocimientos son prioritarios, juntos con los productivos, en su experiencia cotidiana y en su esfuerzo para formarse en ellos. No obstante,

estos logros resultan limitados, pues los acuicultores presentan diferentes problemas, tanto de comercialización como de financiamiento. Los primordiales problemas de comercialización se derivan de la sobreproducción de especies de mala calidad, así como de la poca diversificación productiva que culmina con bajos precios de sus productos en el mercado. También las limitaciones comerciales pasan por problemas organizativos, pues se detecta una competencia desleal debido a la falta de respeto de los acuerdos realizados al interior del sistema producto, además de un crecimiento desorganizado e irregular de las unidades productivas, la poca atención dada a la creación de corredores de comercialización y a las ventas por contrato, así como la falta de centros de acopio con estándares de calidad internacional.

Los problemas financieros y de crédito no son menores a los comerciales, pues dada la restringida inversión privada existente en la región, la inversión es dependiente de los apoyos gubernamentales: limitados en monto y sólo disponibles en periodos que no coinciden con los ritmos productivos. Frente a estas condiciones, varios acuicultores tienden a recurrir a los proveedores de insumos para solicitarles préstamos informales en especie, por ejemplo, alimentos o productos químicos. También resulta frecuente que lleguen a solicitar préstamos monetarios informales, a veces a tasas de interés prohibitivas (12% durante la duración de la cosecha: 3 a 5 meses). Este tipo de acceso al capital financiero los induce a elegir insumos de menor calidad y a buscar retornos rápidos y altos para cubrir sus deudas. El aspecto administrativo también presenta serios problemas, en principio porque no existe la cultura en estos productores de llevar registros de sus ingresos y egresos, pero también porque no realizan seguimientos ni evaluaciones de la rentabilidad de sus unidades de producción, ambas características denunciadas como frecuentes en la acuicultura de pequeña escala (Belton, 2013).

Finalmente, en la categoría Integración social de la acuicultura al paisaje, se incluyen las prácticas sociales en este tipo de acuicultura, las cuales se encuentran poco documentadas en la literatura sobre este campo. Principalmente existen estudios que analizan los factores socioeconómicos de la acuicultura de pequeña escala y que suelen concluir con las desventajas que tienen las familias más pobres de beneficiarse de esta actividad (Diedrich *et al.*, 2019). En la zona de estudio, los conocimientos sociales se detectan como poco relevantes en los procesos de aprendizaje analizados: los acuicultores no llegan con ellos a la actividad, no son atendidos en su experiencia de trabajo cotidiano, ni en sus esfuerzos por formarse en ese campo, y todo esto en conjunto provoca que casi no se consideren en las interacciones sociales. Esto explica, en gran parte, que la acuicultura en Morelos aparece desligada de los desarrollos locales, no existen evidencias sobre su papel para generar beneficios culturales y se registra una desconexión

entre productores y comerciantes, cada uno de los cuales ven por sus propios intereses, sin realmente interesarse por la cadena de valor.

Una gobernanza sustentada en procesos de aprendizaje

En la acuicultura se hace imperativo transformar las formas de producir con iniciativas que surjan de bases sociales amplias (López-Jiménez *et al.*, 2020), sin limitarse a proponer variaciones al desarrollo convencional, como aumentar la tecnología verde o descarbonizar los sistemas productivos, las cuales sólo conforman alteraciones del desarrollo convencional que no modifican los cimientos del capitalismo (Gudynas, 2011). Esto sólo puede hacerse factible, con la organización de los productores para llegar a decisiones colectivas mediante una gobernanza orientada al bien ambiental. Para ello, un posible camino es fomentar la generación, movilización y utilización del conocimiento, pues éste se considera generalmente un importante instrumento de gobernanza (De Kraker, 2017), ya que permite sustentar y adaptar decisiones (Cvitanovic *et al.*, 2015), fomenta la participación en mayores condiciones de igualdad (Ernst, 2019), y puede sustentar verdaderas transformaciones deseadas colectivamente (Norström *et al.*, 2020). No obstante, caminar en esta dirección, de una manera objetivamente posible, implica construir estrategias que partan de un análisis crítico de la situación específica y de cara a las particularidades concretas del contexto (Schneider *et al.*, 2019). En el marco de estos principios, el presente trabajo identifica las siguientes cinco estrategias que resultan ser más prometedoras para avanzar hacia una transformación profunda de la acuicultura morelense, dadas sus condiciones y particularidades: 1) formular colectivamente un horizonte de cambio hacia el bien ambiental, 2) avanzar en la equidad mediante la reconstrucción del aprendizaje social, 3) fomentar la capacidad de los productores para aprender de la experiencia, 4) buscar justicia en el mercado mediante una mejor coordinación y un mejor acceso a los conocimientos de tipo económico y, 5) desarrollar paulatinamente prácticas de gobernanza.

Formular colectivamente un horizonte de cambio hacia el bien ambiental

Formular un horizonte de cambio no debe ser un ejercicio académico, sino que debe responder a las urgencias actuales y a movimientos sociales, pero por el momento, los conocimientos que pueden crear y movilizar, a la mayoría de los productores acuícolas estudiados, serán los que se centran en la mejora productiva y en el incremento de las ga-

nancias, que es su mayor preocupación actual. Esto es totalmente comprensible porque mantener su actividad día a día, se centra en esta urgencia. Aunque también existen algunos productores, cuyos conocimientos expresados indican que pueden imaginar una acuicultura diferente. Para estos últimos, sus bases conceptuales y afectivas responden a otro modo de valorar a lo humano y a lo natural, rechazan la idea de dominación del hombre sobre la naturaleza o la de un grupo productivo sobre otro y consideran que la vida plena no se limita solamente al bienestar material. Sin embargo, esta visión no es predominante, pero indica la veta que, como señalan Turnhout y colaboradores (2020), podría hacer aflorar un pluralismo y hasta la impugnación del conocimiento dominante. Probablemente esto podría catalizarse mediante un espacio de aprendizaje experimental, diseñado deliberadamente para analizar alternativas de cambio, y así permitir la creación de lo que se ha definido como conocimiento multifacético y multidisciplinario (Bouncken y Aslam, 2019). Este conocimiento tendría que incluir al ecológico y social, los cuales actualmente se encuentran marginados de los procesos de aprendizaje y sin posibilidades de concretarse en las prácticas acuícolas.

Avanzar en la equidad mediante la reconstrucción del aprendizaje social

En los productores morelenses estudiados se detecta la presencia de un aprendizaje social, pero su incidencia en la mejora de la acuicultura está siendo limitada, pues éste se presenta en lo que se conoce como una estructura relacional de baja complejidad (Teves, 2005), la cual tiene un carácter endogámico al nutrirse de conocimientos locales originados en la experiencia y que sólo se difunden mediante una red de familiares y amigos (Bandiera y Rasul, 2006).¹⁰ En estas condiciones, el grueso del aprendizaje social se produce entre los propios acuicultores con reducida participación de otros actores como: investigadores, académicos, extensionistas o funcionarios gubernamentales, generando de esta forma una estructura vertical limitada que reduce el impacto del aprendizaje social (Tábara y Pahl, 2007). Además del carácter endogámico, otro problema en el aprendizaje social es la heterogeneidad entre los productores, pues hay quienes participan y apren-

¹⁰ Esto corrobora lo documentado hace tiempo sobre que la existencia del aprendizaje social no garantiza una mejora, pues depende de la naturaleza de lo que se esté aprendiendo, de tal forma que no todos los procesos de aprendizaje contribuyen necesariamente a lo que se considera esencial para la sustentabilidad (Tábara y Pahl, 2007).

den de los distintos procesos de aprendizaje y quienes se muestran marginados de ellos. Este rasgo produce una estructura horizontal de desigual participación entre los productores, la cual privilegia la visión de los más activos, excluyendo la perspectiva de los restantes. Para la superación de estas limitaciones relacionales se podría contribuir con la aplicación metodológica del establecimiento de comunidades de aprendizaje (Wenger *et al.*, 2002), sobre temáticas concretas y mediante el uso de facilitadores que aseguren continuamente una participación, tanto desde una perspectiva horizontal como vertical.

Fomentar la capacidad de los productores para aprender de la experiencia

Una cualidad de los acuicultores estudiados es su capacidad para crear conocimiento a través de la acción, o como ha sido citado: el aprendizaje alimentado a través de la experimentación (Bos *et al.*, 2013). Esta virtud es responsable en gran parte de su mantenimiento como actividad y ofrece la promesa de aumentar el conocimiento individual producido en la experiencia, y el social al enriquecerse mutuamente en los intercambios del mismo (Foster y Rosenzweig, 1995). Esto se ha traducido en ciclos de aprendizaje, en donde los momentos de creación individual son seguidos de momentos de intercambio social, con la potencialidad de conducir, en conjunto, a la creación colectiva y a cambios en las prácticas (De Bruin y Ensor, 2018). Pero esta potencialidad de acrecentar el conocimiento puede repercutir de mejor forma en la acuicultura, si se logran identificar brechas de conocimientos claves que ayuden a definir el establecimiento de prioridades formativas y la superación gradual de los conflictos acuícolas actuales.

Buscar justicia en el mercado mediante una mejor coordinación y un mejor acceso a los conocimientos de tipo económico

Uno de los problemas más fuertes en los procesos de aprendizaje documentados aquí es la falta de generación, movilización y utilización del conocimiento económico. La mayoría de los productores carece de él, lo que les limita para organizarse y coordinarse para hacer un uso más eficiente y efectivo de los ingresos generados por su actividad. Las ganancias se dispersan en una cadena de valor que resulta poco beneficiosa para los productores, lo que a su vez ocasiona un uso mayor de energía y recursos naturales para compensar sus limitaciones monetarias. En forma interna, es difícil o poco probable que se pueda superar dicha limitación, ya que estos productores presentan conexiones

deficientes con fuentes de conocimiento económico de calidad. En otros casos, donde el conocimiento de un tipo específico es deficiente a nivel local, se ha recurrido a plataformas de conocimiento basadas en Internet (Kaiser *et al.*, 2017). Mediante estrategias de este tipo se han puesto en marcha en procesos de aprendizaje grupal que ponen a los poseedores de ciencia y tecnología en contacto con los productores (De Bruin y Ensor, 2018). Pero no solamente se hace necesario mejorar los contactos o relaciones y acceder a fuentes de conocimiento, también se hace imperativo que los acuicultores conformen grupos clave de toma de decisiones económicas, en donde se prueben mejores prácticas de este tipo que beneficien en mayor medida a los acuicultores y les permitan reducir su consumo de energía y recursos naturales, y por tanto la huella ecológica de su actividad (Mitra, 2018).

Desarrollar paulatinamente prácticas de gobernanza

La FAO (2020) reconoce que aún existe una falta de datos sobre la producción de acuáticos ornamentales, no obstante, también señala que en este tipo de acuicultura se mantienen las mismas políticas que en el resto de esta actividad, las cuales privilegian el incremento de las tasas anuales de producción, así como la expansión de la misma. Afortunadamente, cada vez se denuncia con mayor fuerza que este tipo de políticas predominantes en la acuicultura convencional, son riesgosas debido a sus implicaciones sociales y ecológicas (Krause *et al.*, 2015). Por ello, como alternativa a dichas políticas se habla, cada vez con mayor fuerza, de políticas de bienestar¹¹ acuícola (Campbell *et al.*, 2021), las cuales involucren dimensiones materiales, relacionales y subjetivas (Coulthard *et al.*, 2011), así como el reconocimiento de la importancia de las personas, las comunidades y de la sociedad (Weeratunge *et al.*, 2014). Esta alternativa de bienestar reconoce la especificidad del lugar y da por sentado que cada espacio está influenciado por contextos sociales, culturales y ecológicos que le brinda rasgos particulares, por lo que el bienestar sólo puede definirse en función de los intereses, las capacidades y las singularidades de contextos locales (Campbell *et al.*, 2021). El bienestar acuícola sólo puede irse construyendo en la

¹¹ El término de bienestar originalmente se planteó para contrarrestar el enfoque centrado en el crecimiento económico como medida del desarrollo, afortunadamente, y de forma gradual, el término de bienestar ha ido ganando espacios y ahora se acepta ampliamente como una alternativa que propone un interés integral en oposición al centrado en lo económico (Sterling *et al.*, 2017).

medida en que las instituciones del ramo trabajen con las comunidades locales, a fin de considerar los beneficios multidimensionales que están involucrados en los sistemas humanos y naturales (Morgan *et al.*, 2017). Este marco de bienestar no puede concretarse sin la participación de los productores, de ahí la importancia de fomentar y facilitar su cooperación, lección que se ha aprendido de los estudios sobre colaboración de pequeños productores en otros lugares (Price y Egna, 2014). Más recomendable sería si esta cooperación se produjera en un entorno de gobernanza que la regulara, la adaptase y la integrara (Driessen *et al.*, 2012). Pero la gobernanza implica el empleo simultáneo de capacidades materiales, cognitivas, sociales y normativas involucradas en la construcción de acuerdos (Wyborn, 2015); el problema con los acuicultores estudiados aquí es que carecen o tienen limitaciones de dichas capacidades, es por ello que se piensa que los procesos de aprendizaje tendrían que orientarse también al desarrollo de esas capacidades requeridas por la gobernanza.

Resulta más frecuente estudiar cómo la gobernanza puede llegar a incidir en los procesos de aprendizaje, particularmente en los de tipo social (Ernst, 2019), de hecho se ha llegado a afirmar que los procesos de aprendizaje pueden mejorarse mediante arreglos de gobernanza flexibles e iterativos (Clarvis y Engle, 2015). Con menos frecuencia se menciona la fórmula contraria: ¿cómo los procesos de aprendizaje pueden incidir en el desarrollo de una gobernanza?, aunque sí se ha reconocido que el aprendizaje social puede convertirse en un importante instrumento de gobernanza (De Kraker, 2017). En realidad, todos los procesos de aprendizaje potencialmente pueden abonar a la construcción de una gobernanza, siempre y cuando se aprovechen también para mejorar las capacidades para el liderazgo reflexivo (Schneider *et al.*, 2019) y, en ese sentido, se ha encontrado que tres de las capacidades más relevantes para llegar a ello son: la reguladora, la adaptativa y la integradora (Van der Molen, 2018).

Para el caso de los acuicultores morelenses, el desarrollar su capacidad reguladora tendría que sustentarse en sus capacidades para aprender de la experiencia, pero también tendría que ampliarse su acción comunicativa a través de una intensificación del aprendizaje social, que posibilitara debates sociales más amplios para que los diferentes actores involucrados pudieran deliberar y negociar las normas, reglas y relaciones de poder. Existen experiencias del desarrollo de esta capacidad reguladora, que indican la factibilidad de utilizar los aprendizajes comunitarios para negociar e implementar reglas mutuamente acordadas (Rist *et al.*, 2007), lo cual llega a converger en la co-producción de conocimientos normativos, en donde los productores podrían jugar un papel relevante.

Las oportunidades que ofrece el entorno de los acuicultores morelenses para desarrollar la capacidad adaptativa son limitadas, las más apremiantes son la falta de activos¹² y un aprendizaje restringido y desarticulado de cómo adaptarse a las variaciones de los sistemas naturales y de mercado. Por otro lado, la infraestructura pública que existe en el estado de Morelos no está orientada para hacer intervenciones en este sentido. Desarrollar esta capacidad implica que los productores aprendan a revisar y adaptar decisiones a medida que se dispone de nuevos conocimientos (Cvitanovic *et al.*, 2015). Actualmente, se tiene poca orientación sobre cómo se podría desarrollar esta capacidad, sin embargo, la evidencia reciente sugiere que la capacidad de adaptación requiere imperativamente la voluntad de convertir los conocimientos en acción adaptativa, así como enfoques de dominios específicos (Cinner *et al.*, 2018). Estas evidencias orientan a una estrategia que inicie con una sensibilización para generar la capacidad adaptativa y que concluya con el despertar de una voluntad colectiva. Posteriormente, habría que formular mecanismos para monitorear y comprender los cambios naturales y de mercado con el fin de crear conocimientos que permitan la toma de decisiones en forma adaptativa.

La capacidad integradora hace referencia a la incorporación de una variedad de formas de conocimiento mediante la colaboración entre varios grupos de partes interesadas (Van der Molen, 2018). En el caso estudiado, el grupo activo en el intercambio de conocimientos está compuesto por productores que forman asociaciones cohesivas, de carácter informal y con vidas, a menudo cortas, que se enfocan en objetivos y tareas productivas específicas. Sin embargo, las granjas acuícolas de baja escala, por lo general, se encuentran en contextos intrínsecamente complejos que involucran a múltiples sectores, problemas y partes interesadas, dando como resultado situaciones diversas; en ellas suele predominar una creación y uso heterogéneo de conocimiento y sistemas de distribución altamente complejos (Hasan *et al.*, 2020). Por ello, resulta imperativo una comunicación horizontal y vertical, activa y efectiva, entre las partes interesadas para avanzar hacia una sustentabilidad acuícola que busque el bienestar social y natural (Weeratunge *et al.*, 2014). No obstante, transitar de la estructura horizontal actual, a una de carácter más integral que considere también la dimensión vertical, implica replantear el proceso de formación de aprendizaje social existente

¹² Se ha documentado que las personas están mejor capacitadas para adaptarse cuando tienen activos a los que recurrir en tiempos de cambio (Brooks *et al.*, 2005).

para que científicos, expertos, políticos y actores locales puedan generar, movilizar y utilizar conocimientos científicos y no científicos (Rist *et al.*, 2007). La literatura existente indica que para una finalidad como la expuesta, resulta conveniente atender dos aspectos nodales: en primer lugar, identificar los perfiles de las partes interesadas en colaborar en un intercambio de conocimientos y lograr que expongan las razones e intereses en participar, de tal forma que puedan ser diferenciadas a partir de los intereses y los recursos con los que cuenta. Este paso permite definir un grupo de trabajo y sentar las condiciones básicas que a la postre favorecerá el aprendizaje social (Slater y Robinso, 2020). Un segundo paso, estriba en centrarse en mejorar las capacidades de comunicación de los productores acuícolas, lo cual involucra desde motivarlos a comunicarse de manera efectiva, hasta el desarrollo de habilidades para comprender diferentes puntos de vista.¹³

CONCLUSIONES

Los procesos de aprendizaje se producen en las actividades económicas de forma diferente y son definidos por las particularidades de los actores y de los contextos situacionales. En este caso presentado, el aprendizaje adquirido en la experiencia, a través de la práctica acuícola, resalta por su excepcionalidad y por ser uno de los sustentos que ha permitido el mantenimiento de la actividad en el estado de Morelos. En contraparte, el aprendizaje social es aún embrionario por estar centrado en relaciones familiares y de amistades, pero potencialmente disparador de procesos de gobernanza, si logra aprovechar las virtudes del aprendizaje individual que tiene lugar en esa región y si consigue ampliarse a interacciones más verticales, en donde se dé voz a las distintas partes interesadas en la acuicultura y en donde se puedan compartir responsabilidades, así como realizar toma de decisiones acordadas colectivamente. Una orientación de los aprendizajes de esta forma, podría posibilitar que el conocimiento y el orden social mantuvieran una relación mutuamente constitutiva.

¹³ Mejorar la capacidad de intercambiar conocimientos con otros ha sido mencionado como una alternativa posible que puede compensar las desventajas de inversión y capital que tienen los productores pobres, esto es así porque al ampliar su universo de interacciones adquieren mayores posibilidades de percibir su actividad en forma integral y asumir acciones más estratégicas que abonen para el logro de obtener de ella mayores beneficios. Pero también se sabe que esta alternativa implica afrontar desafíos relacionados con la incertidumbre del conocimiento y la falta de enfoques para integrar conocimientos socioeconómicos, con los ecológicos y los físicos (Weitzman *et al.*, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. *et al.* (2014). “Principales vías de introducción de las especies exóticas”. En: Mendoza, R. y P. Koleff (cords.), *Especies acuáticas invasoras en México* (43-73), México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Arandia, I. *et al.* (2020). “¿Cómo pueden contribuir los estudios feministas y poscoloniales de la ciencia a la coproducción de conocimientos?”, en *Revista Ecosistemas*, 29(1): 19-36.
- Bandiera O. y Rasul I. (2006). “Social Networks and Technology Adoption in Northern Mozambique”, en *The Economic Journal*, 116: 869–902.
- Belton, B. (2013). “Small-scale aquaculture, development and poverty: A reassessment”, en M. G. Bondad-Reantaso, y R. P. Subasinghe (cord.). *Enhancing the contribution of small-scale aquaculture to food security, poverty alleviation and socio-economic development*. Roma, Italia: FAO.
- BenYishay, A. y Mobarak, M. (2019). “Social learning and incentives for experimentation and communication”, en *The Review of Economic Studies*, 86(3): 976-1009.
- Berkes, F. (2009). “Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning”, en *Journal of Environmental Management*, 90(5): 1692-1702.
- Blackmore, C. (2010). “Managing systemic change: future roles for social learning systems and communities of practice?”, en Blackmore, C. *Social learning systems and communities of practice* (201-218). Springer, Londres.
- Bos, J. *et al.* (2013). “A design framework for creating social learning situations”, en *Global Environmental Change*, 23: 398-412.
- Bouncken, R. y M. Aslam. (2019). “Understanding knowledge exchange processes among diverse users of coworking-spaces”, en *Journal of Knowledge Management*, 23: 2067–2085.
- Brooks, N. *et al.* (2005). “The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation”, en *Global Environmental Change*, 15: 151-163.
- Buchecker, M. *et al.* (2013). “How much does participatory flood management contribute to stakeholders’ social capacity building? Empirical findings based on a triangulation of three evaluation approaches”, en *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(6): 1427-1444.
- Campbell, M. *et al.* (2021). “From Blue Economy to Blue Communities: reorienting aquaculture expansion for community wellbeing”, en *Marine Policy*, 124: 104361.

- Canal, E. (2012). "Aquaculture and rural livelihoods in the Bolivian Amazon-Systems of Innovation and pro-poor technology development", Thesis PhD. EUA: University of East Anglia School of International Development.
- CEPAL, U. (2019). "La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales". Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/S1801141_es.pdf
- Cinner, E. *et al.* (2018). "Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities", en *Nature Climate Change*, 8(2): 117-123.
- Clarvis, H. y N. Engle. (2015). "Adaptive capacity of water governance arrangements: a comparative study of barriers and opportunities in swiss and US states", en *Reg. Environ. Change* 15: 517-527.
- Coulthard, S. *et al.* (2011). "Poverty, sustainability and human wellbeing: a social wellbeing approach to the global fisheries crisis", en *Global Environmental Change*, 21(2): 453-463.
- Cuéllar, M. (2018). "Evolución normativa e institucional de la acuicultura en México," en *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(4): 541-564.
- Cvitanovic, C. *et al.* (2015). "Improving knowledge exchange among scientists and decision-makers to facilitate the adaptive governance of marine resources: a review of knowledge and research needs", en *Ocean Coast Management*, 112: 25-35.
- De Bruin, A. y J. E. Ensor. (2018). "Innovating in context: social learning and agricultural innovation". En *13th European IFSA Symposium: Farming systems: facing uncertainties and enhancing opportunities: Theme 1—Learning and knowledge systems, education, extension and advisory services*. International Farming Systems Association.
- De Kraker, J. (2017). "Social learning for resilience in social-ecological systems", en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28: 100-107.
- Dessart, J. *et al.* (2019). "Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: a policy-oriented review", en *European Review of Agricultural Economics*, 46(3): 417-471.
- Diedrich, A. *et al.* (2019). "Socio-economic drivers of adoption of small-scale aquaculture in Indonesia", en *Sustainability*, 11(6): 1543.
- Doubleday, N. (2008). "Adaptive co-management and the learning that leads to social innovation", en *Technology Innovation Management Review*. Retrieved from <http://timreview.ca/article/187>.

- Driessen, P. *et al.* (2012). Towards a Conceptual Framework for The Study of Shifts in Modes of Environmental Governance - Experiences From The Netherlands. *Environmental Policy and Governance*, 22: 143-160, DOI: 10.1002/eet.1580.
- Ernst, A. (2019). "Research techniques and methodologies to assess social learning in participatory environmental governance", en *Learning, Culture and Social Interaction*, 23: 100331.
- Fabricius, C. y G. Cundill. (2014). "Learning in adaptive management: insights from published practice", en *Ecology and Society*, 19(1): 29.
- FAO, State of World Fisheries and Aquaculture (2020). "Sustainability in Action" en Rome, 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>.
- Fernö, A. *et al.* (2011). "Fish behaviour, learning, aquaculture and fisheries", en *Fish cognition and behavior*, 359-404.
- Foster, D. y M. Rosenzweig. (1995). "Learning by Doing and Learning from Others: Human Capital and Technical Change in Agriculture", en *Journal of Political Economy*, 103(6): 1176-1209.
- Gudynas, E. (2011). "Buen vivir: Germinando alternativas al desarrollo", en *América Latina en movimiento*, 462: 1-20.
- Hambrey, J. *et al.* (2008). "An ecosystem approach (EAA) to freshwater aquaculture: a Global Review", en *FAO Expert Workshop Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO Fisheries Proceedings*. Roma, FAO. N. 14: 117-173
- Hasan, R. *et al.* (2020). "Strengthening, empowering and sustaining small-scale aquaculture farmers' associations", en *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (655): 1-181.
- Illeris, K. (2009). "A Comprehensive Understanding of Human Learning" (7-20). En: K. Illeris (Ed.). *Contemporary Theories of Learning: Learning Theorists in Their Own Words*. Londres/New York: Routledge.
- Kaiser, B. *et al.* (2017). "Co-production of knowledge: A conceptual approach for integrative knowledge management in planning", en *Transactions of the Association of European Schools of Planning*, 1(1): 18-32.
- Kendal, L. *et al.* (2018). "Social learning strategies: Bridge-building between fields", en *Trends in cognitive sciences*, 22(7): 651-665.
- Kolb, D. (1984). "Experiential Learning". New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Krause, G. *et al.* (2015). "A revolution without people? Closing the people-policy gap in aquaculture development", en *Aquaculture*, 447: 44-55.

- López, N. *et al.* (2020). "Participación comunitaria en la transferencia tecnológica de un sistema acuícola de peces nativos", en *JAINA, Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 2(1): 31-46.
- Matus, J. (2020). "Construcción de prácticas acuícolas sustentables mediante el conocimiento: cinco casos en la acuicultura morelense", en *Sociedades Rurales Producción y Medio Ambiente*, 40: 117-138.
- Milman, A. *et al.* (2020). "Addressing knowledge gaps for transboundary environmental governance", en *Global Environmental Change*, 64: 102162.
- Mitra, R. (2018). "Natural resource management in the US Arctic: Sustainable organizing through communicative practices", en *Management Communication Quarterly*, 32(3): 398-430.
- Mitra, S. *et al.* (2019). "Credit constraints and aquaculture productivity", en *Aquaculture Economics & Management*, 23(4): 410-427.
- Mitra, S. *et al.* (2020). "Total factor productivity and technical efficiency differences of aquaculture farmers in Bangladesh: Do environmental characteristics matter?", en *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4): 918-930.
- Morgan, M. *et al.* (2017). "Socio-cultural dynamics shaping the potential of aquaculture to deliver development outcomes", en *Reviews in Aquaculture*, 9(4): 317-325.
- Moschitz, H. *et al.* (2015). "Learning and innovation networks for sustainable agriculture: processes of co-evolution, joint reflection and facilitation", en *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 21(1): 1-11.
- Norström, V. *et al.* (2020). "Principles for knowledge co-production in sustainability research", en *Nature Sustainability*, 3(3): 182-190.
- Ostrom, E. (1999). "Coping with tragedies of the commons", en *Annual review of political science*, 2(1): 493-535.
- Price, C. y H. Egna. (2014). "Strategies for reducing feed costs in small-scale aquaculture", en *Global Aquaculture Advocate*, May/June: 24-26.
- Rahman, T. *et al.* (2020). "Impact of management practices and managerial ability on the financial performance of aquaculture farms in Bangladesh", en *Aquaculture Economics & Management*, 24(1): 79-101.
- Rist, S. *et al.* (2007). "Moving from sustainable management to sustainable governance of natural resources: The role of social learning processes in rural India, Bolivia and Mali", en *Journal of rural studies*, 23(1): 23-37.
- Salazar, C. *et al.* (2018). "Innovation in small-scale aquaculture in Chile", en *Aquaculture Economics & Management*, 22(2): 151-167.

- Schneider, F. *et al.* (2019). "Transdisciplinary co-production of knowledge and sustainability transformations: Three generic mechanisms of impact generation", en *Environmental science & policy*, 102: 26-35.
- Schusler, M. *et al.* (2003). "Social learning for collaborative natural resource management", en *Society and Natural Resources*, 15: 309-326.
- Siebenhüner, B. *et al.* (2016). "Social learning research in ecological economics: A survey", en *Environmental Science & Policy*, 55: 116-126.
- Slater, K. y J. Robinson. (2020). "Social Learning and Transdisciplinary Co-Production: A Social Practice Approach", en *Sustainability*, 12(18): 7511.
- Solaja, M. y O. Adetola. (2018). "Prácticas ecológicas situadas en el contexto de la agenda del desarrollo sostenible", en *Equidad y Desarrollo*, 1(30): 195-220.
- Sterling, J. *et al.* (2017). "Biocultural approaches to well-being and sustainability indicators across scales", en *Nature ecology & evolution*, 1(12): 1798-1806.
- Suškevičs, M. *et al.* (2018). "Learning for social-ecological change: A qualitative review of outcomes across empirical literature in natural resource management", en *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(7): 1085-1112.
- Tabara, D. y C. Pahl-Wostl. (2007). "Sustainability learning in natural resource use and management", en *Ecology and Society*, 12(2): 3.
- Tawaih, V. *et al.* (2021). "Determinants of green growth in developed and developing countries", en *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.
- Teves, L. (2005). "Análisis de Redes sociales y actividades económicas en las comunidades de Molinos. *Redes*", en *Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 9(2).
- Turnhout, E. *et al.* (2020). "The politics of co-production: participation, power, and transformation", en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 42: 15-21.
- Van der Molen, F. (2018). "How knowledge enables governance: The coproduction of environmental governance capacity", en *Environmental Science & Policy*, 87: 18-25.
- Weeratunge, N. *et al.* (2014). "Small-scale fisheries through the wellbeing lens", en *Fish and Fisheries*, 15(2): 255-279.
- Weitzman, J. *et al.* (2021). "Development of best practices for more holistic assessments of carrying capacity of aquaculture", en *Journal of Environmental Management*, 287: 112278.
- Wenger, E. *et al.* (2002). *Cultivating Communities of Practice*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- Wyborn, C. (2015). "Connecting knowledge with action through coproductive capacities: adaptive governance and connectivity conservation", en *Ecology and Society*, 20(1).
- Wyborn, C. *et al.* (2016). "Future oriented conservation: knowledge governance, uncertainty and learning", en *Biodiversity and Conservation*, 25(7): 1401-1408.

Cambios en la cobertura del bosque de mangle (2000-2017) en el sistema lagunar costero de Mandinga, Veracruz, México

Laura Lisbeth Buendía Buendía,¹ Javier Aldeco Ramírez²
e Iván Ernesto Roldán Aragón^{3*}

Resumen. El Sistema Lagunar Costero de Mandinga está rodeado por bosque de mangle, que se caracteriza por ofrecer servicios ecosistémicos a escala local y regional; entre ellos, la provisión de especies comerciales para beneficio de los pobladores, además de hábitat para aves residentes y migratorias, entre otros. Sin embargo, ha estado sujeto a distintas presiones antrópicas, como el desarrollo urbano. En este trabajo se evaluaron los cambios de la extensión del bosque de mangle entre los años 2000 y 2017. Para esto se realizaron clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat para obtener mapas de uso del suelo y vegetación, las que fueron validados mediante matrices de error. A partir de la superficie de la cobertura del bosque de mangle y de otras clases, se obtuvieron las tasas y dirección de cambio. Los resultados indican un aumento de la superficie de las coberturas antrópicas y una disminución de las naturales; entre éstas, la pérdida de 107 ha de bosque de mangle, equivalente a una tasa anual de deforestación de -1.02% para el periodo del estudio. Las causas directas de estas dinámicas son el desarrollo urbano y el incremento de áreas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias. Se señalan algunas de las causas y repercusiones de los cambios encontrados en los usos y coberturas de las clases estudiadas.

Palabras clave: Laguna costera, Cobertura de mangle, Imágenes Landsat, Deforestación, Uso de suelo.

¹ Servicio Social. Lab. de Procesos Costeros. Departamento “El Hombre y su Ambiente” (DEHA). Ciencia Biológicas y de la Salud (CBS), Universidad Autónoma Metropolitana,-Xochimilco.

² Profesor-investigador en el DEHA. UAM-X, e-mail: jaldeco@correo.xoc.uam.mx.

* Autor de contacto, e-mail: ieroldan@correo.xoc.uam.mx.

Abstract. *The Mandinga Coastal Lagoon System is surrounded by mangrove forest, which is characterized by offering ecosystem services at a local and regional scale, including the provision of commercial species for the benefit of the inhabitants and the habitat for resident and migratory birds, among others. However, it has been subject to different anthropic pressures such as urban development. In this work, the changes in the extension of the mangrove forest between 2000 and 2017 were evaluated. For this, supervised classifications of Landsat images were carried out to obtain maps of land use and vegetation, which were validated using error matrices. From the area of the mangrove forest cover and other classes, the rates and direction of change were obtained. The results indicate an increase in the area of anthropic cover and a decrease in natural cover, among these the loss of 107 ha of mangrove forest, equivalent to an annual deforestation rate of 1.02% for the study period. The direct causes of these dynamics are urban development and the increase in areas dedicated to agricultural and livestock activities. Some of the causes and repercussions of the changes found in the uses and coverture of the classes studied are pointed out.*

Keywords: *Coastal lagoon, Mangrove coverture, Landsat images, Deforestation, Land use.*

INTRODUCCIÓN

Los bosques de mangle se distribuyen alrededor de lagunas costeras y esteros tropicales. Desde una perspectiva energética, se encuentran entre los ecosistemas más productivos y dinámicos debido la carga de agua que recibe del océano y ríos, por la marea y el flujo de agua que deriva en la exportación de detritus orgánico y nutrientes a otros ecosistemas (Calderón *et al.*, 2009). Entre los servicios ambientales que brinda están los de provisiónamiento, como el hospedaje de recursos pesqueros de importancia comercial (ostión, jaiba, camarón, róbalo, langostino, entre otros), los ecológicos, entre los que se encuentra la captura de carbono atmosférico que aminora los problemas del calentamiento global (Moreno-Casasola *et al.*, 2002; Derouin, 2017), los culturales y económicos a nivel regional; todo lo cual afecta, de manera directa, a la sociedad que hace usufructo de ellos debido a su disminución o su desaparición (Aldeco *et al.*, 2015).

México posee una superficie de bosque de mangle de 775,555 ha, que corresponde a 5.1% de la superficie total mundial (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013). Se estima que desde la década de los años ochenta del siglo pasado, a nivel mundial, de 20 a 35% del bosque de mangle se ha perdido debido a la deforestación generada por la perturbación antropogénica (FAO, 2007). Derouin (2017) señala que desde 1967 al 2017 el mundo perdió 50% del bosque de mangle. México está entre los países con mayor velocidad de

deforestación de bosque de mangle en América (Hirales-Cota *et al.*, 2010), dado que se calcula una pérdida cercana a 0.6% anual (Flóres-Verdugo *et al.*, 2007).

El bosque de mangle que circunda al Sistema Lagunar Costero de Mandinga no es la excepción de las presiones antropogénicas, dado que una de las primeras aproximaciones al área mostró una cobertura de mangle de 1,627.7 ha en 1979, de 1,505.7 ha en 1990 y de 1,303.6 ha en el año 2000; con tasas de deforestación anuales de 0.7% entre 1979 y 1990 y 1.4% entre 1990 y el año 2000 (Cervantes-Candelas, 2005). Para contextualizar estas cantidades, las tasas de deforestación significan una pérdida de 11 y 20.2 ha/año, en cada periodo. Por su parte, Cabrera-Mendoza (2009) estimó, entre los años 1985 y 2005, una tasa anual de deforestación del bosque de mangle en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM) de 2.94%, esto es 4.1 ha/año; además, el mismo autor, en un análisis económico a partir del valor de uso del bosque de mangle, calculó una aportación de alrededor de \$3,548,500 de dólares americanos por año, cantidad que los lugareños dejaron de percibir en servicios ambientales. El ecosistema de mangle en el SLCM representa 0.05% del total de los manglares en México (Lara-Domínguez *et al.*, 2009), y es afectado directamente por la tala, contaminación y sobreexplotación de los recursos debido a la falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como al desarrollo agrícola, ganadero y acuícola (Conabio, 2009a).

Con base en las consideraciones anteriores, el objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de cambio de uso y cobertura de suelo, ocurridos entre los años 2000 y 2017, en el Sistema Lagunar Costero de Mandinga, Veracruz. Se discuten, de manera breve, algunas de las causas y repercusiones que han provocado este proceso de degradación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

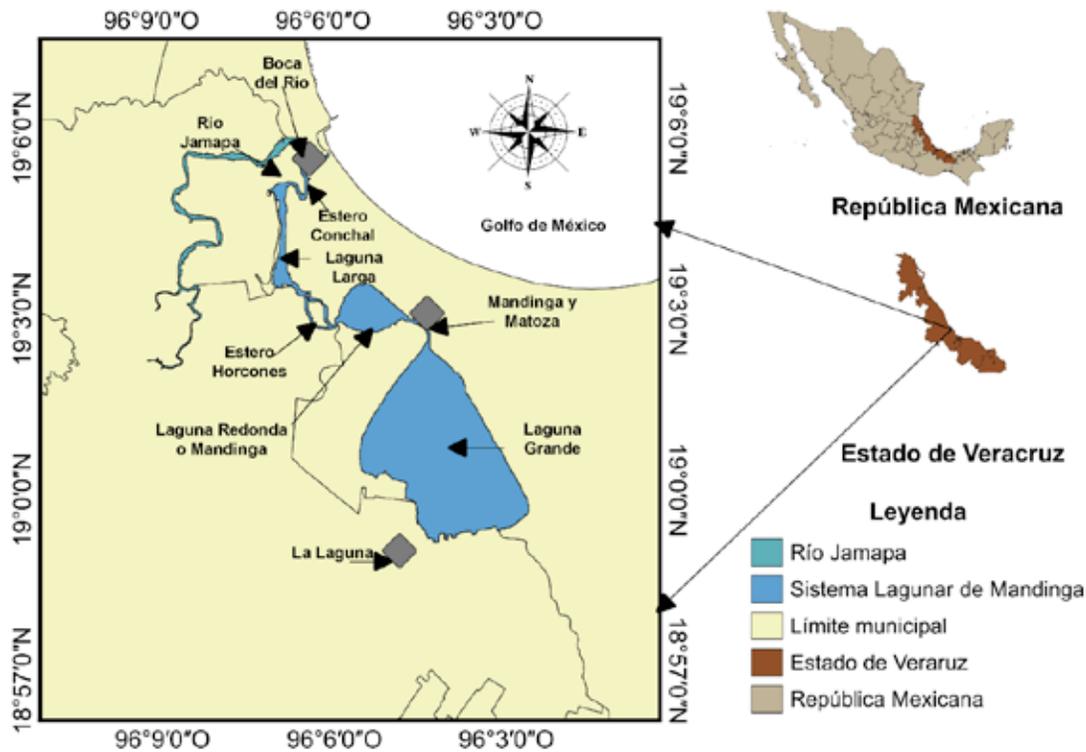
Sitio de estudio

El SLCM (96.087415°W, 19.051140°N) se ubica al norte del municipio de Alvarado, estado de Veracruz, México, a una distancia de 18 km al sur del puerto de Veracruz; tiene una orientación norte-sur y ocupa una superficie aproximada de 3,250 hectáreas (Figura 1). Está conformado por tres lagunas y tres esteros: al norte y cerca del poblado de Boca del Río y la desembocadura del río Jamapa, se localiza el estero el Conchal y la laguna Larga; al centro, la laguna Redonda y el estero de Horcones y, al sur, el estero de Mandinga y la laguna Grande (Contreras-Espinosa, 1993).

El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (2004), es de tipo Aw2 (í'), esto es un clima cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío por arriba de 18°C. La precipitación anual varía entre 1,500 y 2,000 mm y se concentra en los meses de verano. Las épocas climáticas en Veracruz son tres: de secas, de marzo a junio, la de lluvias (producto de la humedad de los alisios y eventos hidrometeorológicos asociados), de julio a septiembre, y de nortes (eventos de viento frío continental polar que se desplaza al sur), de octubre a febrero (GEV, 2000; Ruíz-Barradas *et al.*, 2010). Los principales aportes de agua al SLCM son las corrientes de marea que ingresan agua del mar costero (Golfo de México) y del río Jamapa; existe un aporte menor proveniente de la infiltración de agua a través de los Médanos, pero no se tiene su cuantificación. El agua del sistema es mixohalina, de amplia variación estacional y de salinidad decreciente al aumentar la distancia desde el mar costero hacia adentro del sistema lagunar (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

La vegetación asociada al SLCM es: i) Sabanoide, caracterizada por ser superficies cubiertas por pastizal con elementos arbóreos de los géneros *Byrsonima* (p. ej. nanche) y *Curatella* (chaparro), semejante en su fisonomía a la sabana, pero que se desarrollan sobre laderas de cerros con inclinación variable, a veces bastante pronunciada y con suelos que no tienen indicios de drenaje lento (INEGI, 2014), ii) Selva baja caducifolia, que son comunidades de vegetación dominadas por especies de árboles de 4 a 10 metros que pierden sus hojas en la época seca del año, por lo general en alrededor de seis meses (Challenger y Soberón, 2008), iii) Vegetación de duna costera, que se caracteriza por contener especies de plantas pequeñas y suculentas, que tienen un papel importante como pioneras, fijadoras de arena y que evitan con ello ser arrastradas por el viento y el oleaje (INEGI, 2014), y iv) Bosque de mangle, que es una formación leñosa, arbustiva o arborescente de 2 a 25 m de altura, prácticamente sin plantas herbáceas y sin trepadoras, rara vez con alguna epífita o parásita. Las especies que lo componen son de hoja perenne, algo suculentas y de borde entero. El sistema radical de algunas especies presenta raíces zancas y neumatóforos, que cumplen la función de sostén en el fondo lodoso y de respiración radical, pues generalmente el sustrato es pobre en oxígeno (Rzedowski, 2006). Las especies de mangle presentes son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) (Conabio, 2009b).

Figura 1. Ubicación del Sistema Lagunar Costero de Mandinga (SLCM), Veracruz



Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de imágenes Landsat

Se utilizaron subescenas de imágenes del satélite Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 OLI/TIRS, una del 24 de abril del año 2000 y otra del 25 de noviembre del año 2017, respectivamente, descargadas de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (Earth explorer, 2017; USGS, 2018). Para la selección de imágenes se tomó en cuenta que la cobertura de nubes fuera menor a 20% y que presentaran la calidad adecuada para realizar un análisis visual. Las dos fechas son en época de no lluvia, por lo que la fenología de las especies vegetales es probable que haya sido similar (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

Para mejorar la calidad de las imágenes se efectuó la conversión desde el Número Digital (DN, por sus siglas en inglés) a la reflectancia en la parte superior de la atmósfera

(Top Of Atmosphere reflectance -TOA), y la corrección atmosférica mediante el método de substracción del objeto oscuro (Dark Object Subtraction) (Congedo, 2018). Posteriormente, se aplicó un refinado pancromático (Pansharpening) mediante la combinación de las bandas multiespectrales y la banda pancromática, se obtuvieron así bandas de 15 m de resolución espacial.

Debido a las recomendaciones de escala (1:100,000) para la elaboración de mapas a partir de imágenes Landsat, se estableció un área mínima cartografiable de 4 ha (2 x 2 mm), con el fin de eliminar pixeles aislados (Semarnat, 2001). El área estudiada fue de 212 km² (21,200 ha), esto es un rectángulo de ~13 km en dirección este-oeste por ~17 km en dirección norte-sur.

Para reconocer las distintas clases de Uso del Suelo y Vegetación (USyV) en el área de estudio se generaron combinaciones de color RGB de falso color convencional y color natural (Chuvienco, 2008), además, con soporte en el sistema de clasificación de USyV del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2014), se estableció la leyenda de trabajo para este estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Clases de USyV utilizadas en la elaboración de los mapas del SLCM

ID	CLASE	DESCRIPCIÓN
1	Golfo de México	Mar del Golfo de México
2	Laguna de Mandinga	Agua del Sistema Lagunar
3	Río Jamapa	Agua de río
4	Bosque de mangle	Es una comunidad densa, dominada principalmente por un grupo de especies arbóreas (Mangle Rojo, Mangle Negro y Mangle Blanco)
5	Pastizal cultivado	Pasto introducido para la práctica agrícola y para otras actividades pecuarias.
6	Vegetación de duna costera	Comunidad de vegetación que se establece a lo largo de las costas. Se conforma por montículos de granos de arena.
7	Asentamientos humanos	Sitio específico donde se establecen varias viviendas o construcciones para actividades antrópicas.
8	Suelo descubierto	Suelo desprovisto de vegetación

Fuente: Elaboración propia.

Para producir los mapas de USyV del SLCM se empleó la técnica de clasificación supervisada (Chuvieco, 2008). Para tal fin se utilizó la aplicación de clasificación semi-automática (Semi-Automatic Classification Plugin) del software QGIS (Congedo, 2018).

Una vez realizada la asignación con el algoritmo de máxima verosimilitud, se estimó la fiabilidad de las clasificaciones de cada tiempo mediante matrices de error, en las cuales se consideraron 50 puntos de referencia distribuidos de forma aleatoria en cada clase de USyV, lo que resultó en 400 puntos para cada clasificación (Chuvieco, 2008). Los puntos del año 2000 se obtuvieron de ortofotos escala 1:20,000, de la zona de Veracruz de Ignacio de la Llave del año 1995 y 2001 del INEGI. En cuanto al año 2017 se utilizaron imágenes de Google Earth del 22 de febrero del 2017. La exactitud total de la clasificación se evaluó a través del coeficiente de Kappa (K') (Berlanga-Robles *et al.*, 2010; Mas, 1999).

A partir de las áreas estimadas de las distintas clases de USyV para cada año, se evaluó la tasa de cambio de acuerdo con la Ecuación 1 (Palacio-Prieto *et al.*, 2004). Esta tasa expresa el cambio en el porcentaje de la superficie al inicio de cada año.

$$S = \left(\frac{S2}{S1} \right)^{(1/n)} - 1 \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

S= es la tasa de cambio (multiplicada por 100 para expresar en %)

S1= el área de la superficie en la fecha 1

S2= el área en la fecha 2

n= el número de años entre las dos fechas

La dinámica de cambios entre las clases de USyV se obtuvo a partir de la tabulación cruzada de las clasificaciones del año 2000 y 2017 (Pontius *et al.*, 2004), lo cual permitió conocer la magnitud de las transiciones entre clases, así como las ganancias, pérdidas, cambio neto y persistencia de las mismas durante el periodo de estudio.

RESULTADOS

De cada imagen de satélite se obtuvo un mapa con el USyV; la fiabilidad global para el año 2000 fue de 96.57% con un $K'=0.96$ (Tabla 2), y para el año 2017 fue de 97.50% con un $K'=0.97$ (Tabla 3). Valores de K' cercanos a la unidad 1.0 indican una alta fiabilidad en el análisis (Berlanga-Robles y Ruíz-Luna, 2007).

Tabla 2. Matriz de error del mapa de USyV del SLCM del año 2000

Datos de referencia 2000										
	Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Datos de clasificación	1- Golfo de México	48				2				50
	2- Laguna de Mandinga		50							50
	3- Río Jamapa			46			4			50
	4- Bosque de Mangle		1		45		1		3	50
	5- Vegetación de duna costera					50				50
	6- Pastizal cultivado						50			50
	7- Asentamientos humanos						1	49		50
	8. Suelo descubierto					1		1	48	50
	Total	48	51	46	45	53	56	50	51	386
	Exactitud del productor	1	0.98	1	1	0.94	0.89	0.98	0.94	400
	Error de omisión	0	0.02	0	0	0.06	0.11	0.02	0.06	
Fiabilidad Global =96.57%; $K'=0.96$										

Fuente: Elaboración propia.

Datos de referencia: Ortofotos proporcionadas por el INEGI del año 1995 y 2001. Veracruz de Ignacio de la Llave (E-14) escala 1:20,000.

Tabla 3. Matriz de error del mapa de USyV del SLCM del año 2017

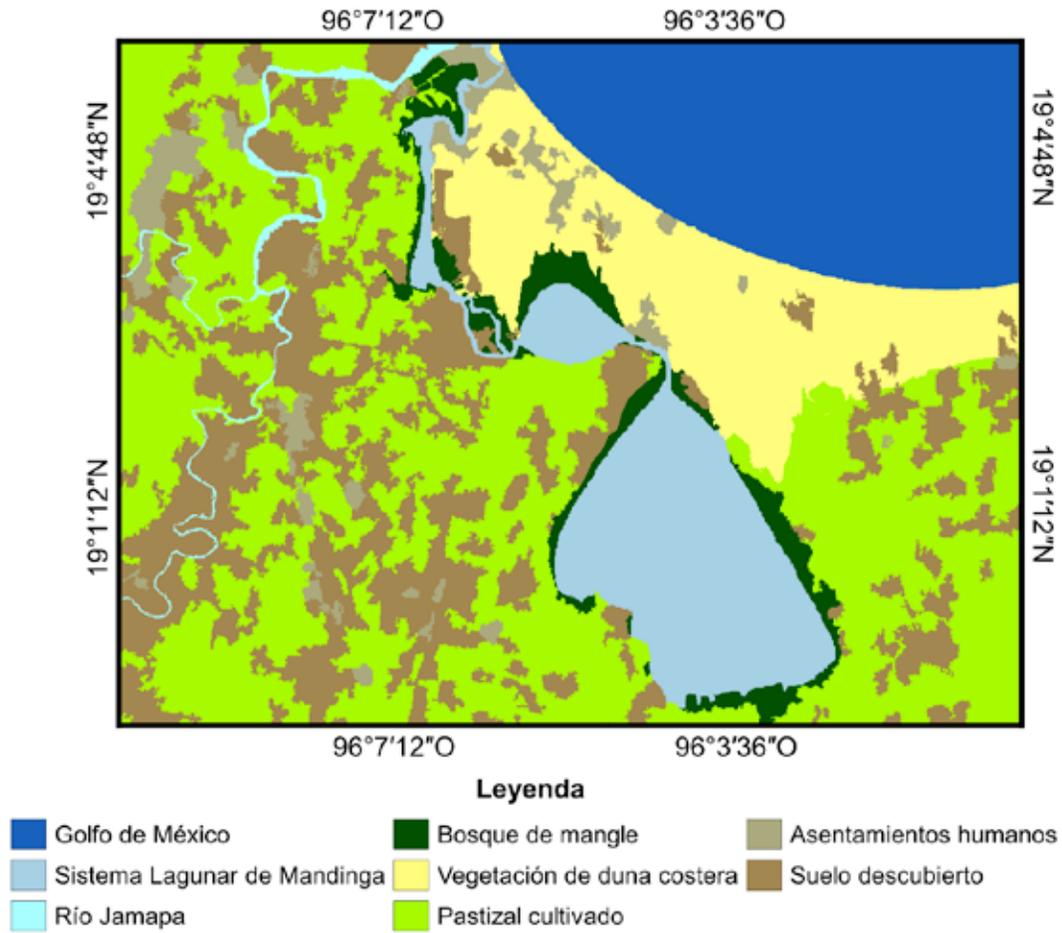
Datos de referencia										
	Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Datos de clasificación	1- Golfo de México	50								50
	2- Laguna de Mandinga		50							50
	3- Río Jamapa			45		5				50
	4- Bosque de Mangle				49				1	50
	5- Pastizal cultivado					50				50
	6- Vegetación de duna costera						50			50
	7- Asentamientos humanos							48	2	50
	8- Suelo descubierto						2		48	50
	Total	50	50	45	49	55	52	48	51	400
	Exactitud del productor	1	1	1	1	0.91	0.96	1	0.94	
	Error de omisión	0	0	0	0	0.09	0.04	0	0.06	
Fiabilidad global=97.50%; K'=0.97										

Fuente: Elaboración propia.

Datos de referencia: imágenes de Google Earth del 22 de febrero del 2017.

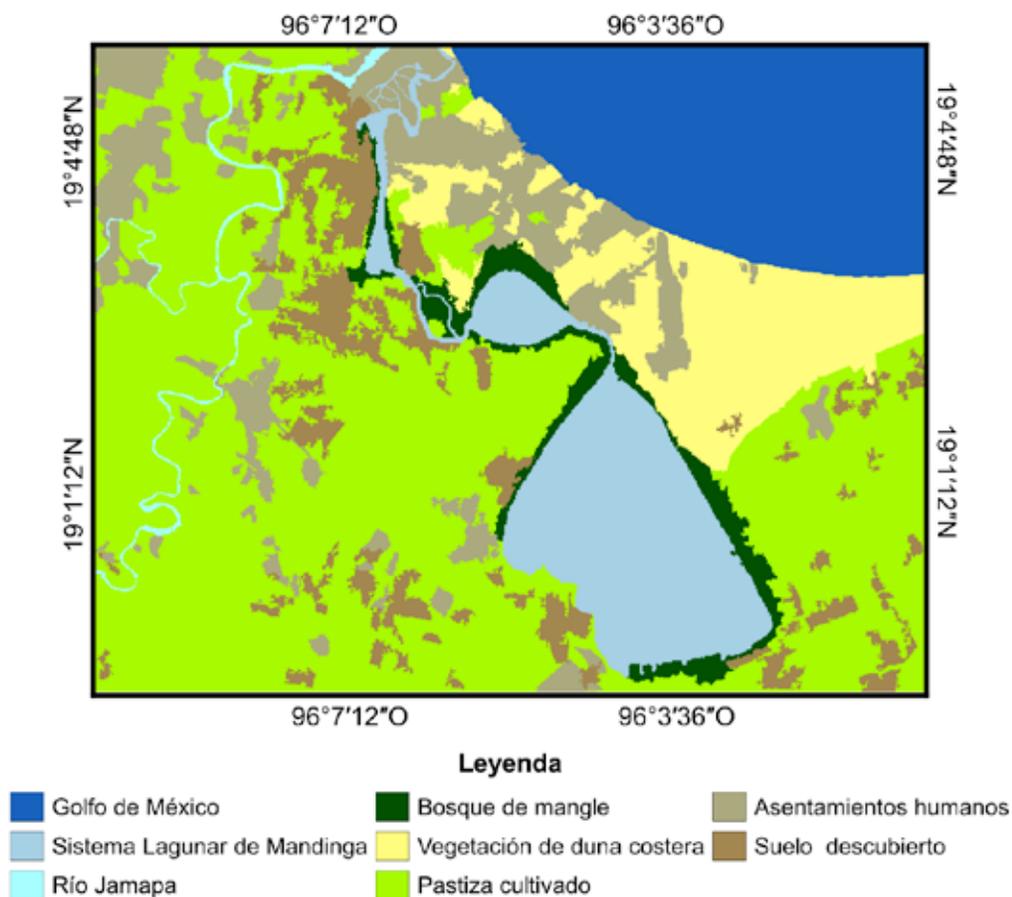
En las Figuras 2 y 3 se presentan los diferentes USyV del SLCM en los años 2000 y 2017, respectivamente. En la Figura 2, resultado del año 2000, se observa en los márgenes del SLCM una presencia definida de la clase Bosque de mangle; también se observan amplias áreas de las clases Pastizal cultivado y Vegetación de duna costera; la presencia de la clase Asentamientos humanos es mínima y se observan al noreste de la laguna Larga y al este de la laguna Redonda. En la Figura 3, resultado del 2017, se observa en la parte norte, noreste y este de la laguna Larga, y al norte y este de la laguna Redonda, una visible mancha de la clase Asentamientos humanos (color gris), en lo que antes era Vegetación de duna costera; el cordón verde de Bosque de mangle se observa reducido en el sector norte de la imagen. La clase Suelo descubierto aparece al oeste del sistema lagunar, en lo que antes era Pastizal cultivado.

Figura 2. Uso del suelo y vegetación (USyV) del SLCM en el año 2000



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+.

Figura 3. USyV del SLCM en el año 2017



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 8 OLI/TIRS.

En la Tabla 4, se muestra la superficie (ha), el cambio neto y la tasa de cambio de las clases de USyV del SLCM entre los años 2000 y 2017.

Tabla 4. Superficie (ha) y tasa de cambio (%) según el USyV de los años 2000 y 2017 en el SLCM

Clase	2000	2017	Cambio neto	Tasa de cambio
	ha	ha	ha	%
1- Golfo de México	336796	3400.58	32.63	0.06
2- Laguna de Mandinga	2119.77	2101.12	-18.65	-0.05
3- Río Jamapa	196.49	174.71	-21.78	-0.69
Coberturas naturales de agua	5684.22	5676.41	-7.81	n.d.
4- Bosque de Mangle	667.80	560.72	-107.08	-1.02
5- Vegetación de duna costera	2399.02	1876.14	-522.88	-1.44
Coberturas naturales terrestres	3066.82	2436.86	-629.96	n.d.
6- Pastizal cultivado	7403.06	9506.21	2103.14	1.48
7- Asentamientos humanos	659.745	2143.1	1483.36	7.18
8- Suelo descubierto	4366.08	1417.34	-2948.74	-6.40
Coberturas antrópicas	12428.89	13066.65	637.76	n.d.
Total	21179.93	21179.93		

Fuente: Elaboración propia.

*n.d. no determinado.

Cuando se agrupan las distintas clases con base en su condición de origen, se obtienen tres grupos: uno de ellos corresponde a Coberturas naturales de agua (Golfo de México, Laguna de Mandinga y Río Jamapa), otro que contiene Coberturas naturales terrestres (Bosque de mangle y Vegetación de duna costera), y un tercero que atañe a las Coberturas antrópicas (Pastizal cultivado, Asentamientos urbanos y Suelo descubierto) (Tabla 4). En el grupo de Coberturas naturales de agua, la clase Golfo de México aumentó 32.63 ha, mientras que la Laguna de Mandinga y el Río Jamapa disminuyeron su superficie en -18.65 y -21.78 ha, respectivamente. En el grupo Coberturas naturales terrestres, la clase Bosque de mangle perdió -107.08 ha, y la de Vegetación de duna costera perdió -522.88 ha. En el grupo de Coberturas antrópicas, la clase Pastizal cultivado ganó una superficie de 2,103.14 ha, en el mismo sentido se observó una ganancia de 1,483.36 ha en la clase Asentamientos humanos, en cambio, en la clase Suelo descubierto se perdieron -2,948.74 ha. El cambio neto para cada uno de los grupos muestra que en el primero de ellos (Coberturas naturales de agua) se observó, entre los años 2000 y 2017, un decremento en su superficie de -7.81 ha. En el grupo de Coberturas naturales terrestres se presentó una fuerte disminución de área, ya que perdió -629.96 ha. Las Coberturas antrópicas incrementaron su superficie en 637.76 ha entre los dos años considerados.

En cuanto a las tasas de cambio, en el grupo de Coberturas naturales terrestres se observa la pérdida de cobertura de la Clase Bosque de mangle de -1.02%, y de la clase Vegetación de duna costera de -1.43%. Resalta en el grupo de Coberturas antrópicas la clase Asentamientos humanos, con una tasa positiva de 7.18% (Tabla 4).

La dinámica de cambios expresada en hectáreas para los 17 años del periodo de estudio se muestra en la Tabla 5. Un primer análisis derivado de la matriz de transición es la persistencia global que fue de 70%, es decir, expresado en términos del cambio significa que 30% de la superficie del área de estudio se transformó en una clase distinta a la del año 2000. Particularmente para la clase Bosque de Mangle, 77.4% (434.03 ha) persistieron para el año 2017, perdió 56.84 ha que pasaron a ser Pastizal cultivado; al mismo tiempo que 92.05 ha se transformaron en Asentamientos humanos y 43.25 ha a Suelo descubierto. En la Figura 4 se muestran, para la clase Bosque de mangle, las áreas de cambio en color rojo, las persistentes en verde fuerte (su color de Leyenda de Clase), y las ganancias en verde claro. Respecto a las ganancias de esta misma clase (Bosque de mangle) recibió 36.14 ha procedentes de la clase Laguna de Mandinga, 7.34 ha de Vegetación de duna costera, 47.16 ha de la clase Pastizal cultivado y 36.07 ha de Suelo descubierto (Figura 5).

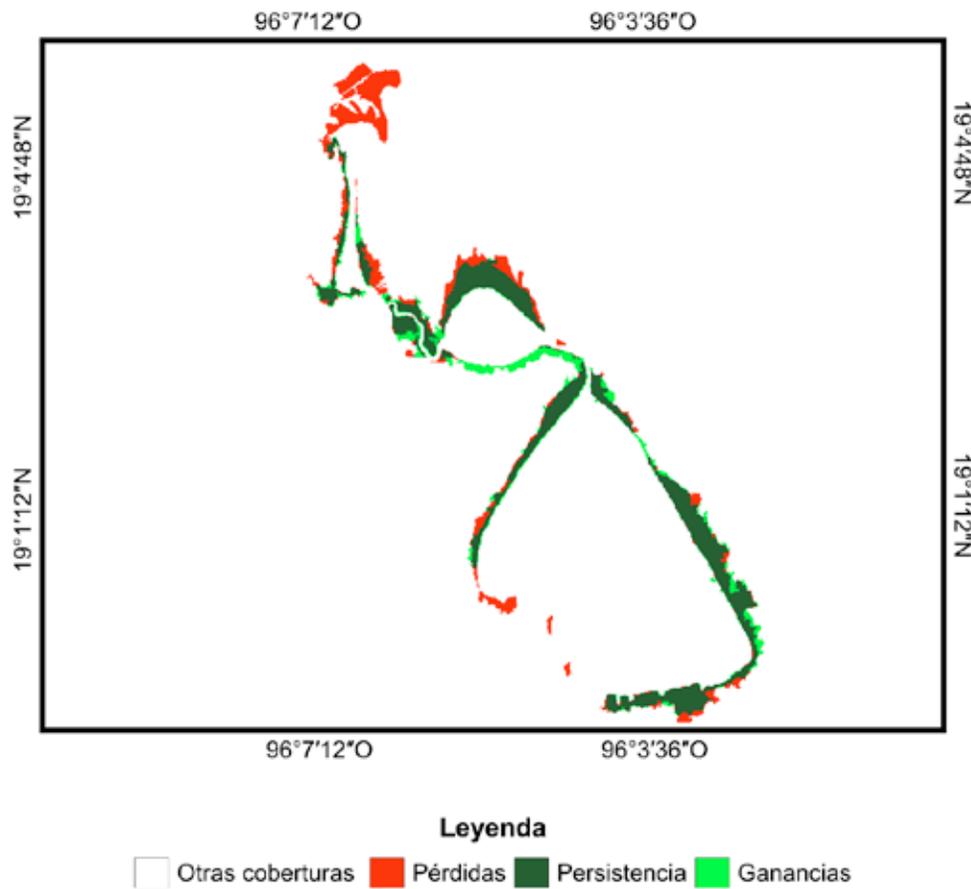
Tabla 5. Matriz de tabulación cruzada (ha) de los resultados de USyV entre los años 2000 y 2017 en el SLCM

		2017									
2000		1	2	3	4	5	6	7	8	Total	
	1	3364.85	0	0	0	35.3	0	0	0	0	3400.58
	2	0	2069.75	0	21.11	1.60	4.25	0	4.41	2101.12	
	3	0	0	133.94	0.07	0	8.80	0	31.91	174.71	
	4	0	36.14	0	434.03	7.34	47.16	0	36.07	560.72	
	5	1.35	0.65	0	20.48	1572.71	172.51	0	108.45	1876.14	
	6	0	3.65	55.31	56.84	160.83	6017.45	0	3212.15	9506.21	
	7	1.76	9.07	6.64	92.05	612.79	407.50	659.75	353.57	2143.10	
	8	0	0.52	0.61	43.25	8.03	745.40	0	619.54	1417.34	
Total	3367.96	2119.77	196.49	667.80	2399.02	7403.06	659.7	4366.08	21179.93		

Nota: Persistencia global 70% $K' = 0.61$ *Clases: 1) Golfo de México, 2) Laguna de Mandinga, 3) Río Jamapa, 4) Bosque de Mangle, 5) Vegetación de duna costera, 6) Pastizal cultivado, 7) Asentamientos humanos, 8) Suelo descubierto. En negritas el área sin cambio de cada clase. Los valores en la diagonal de la matriz indican la persistencia (ha) de la clase de US yV respectiva.

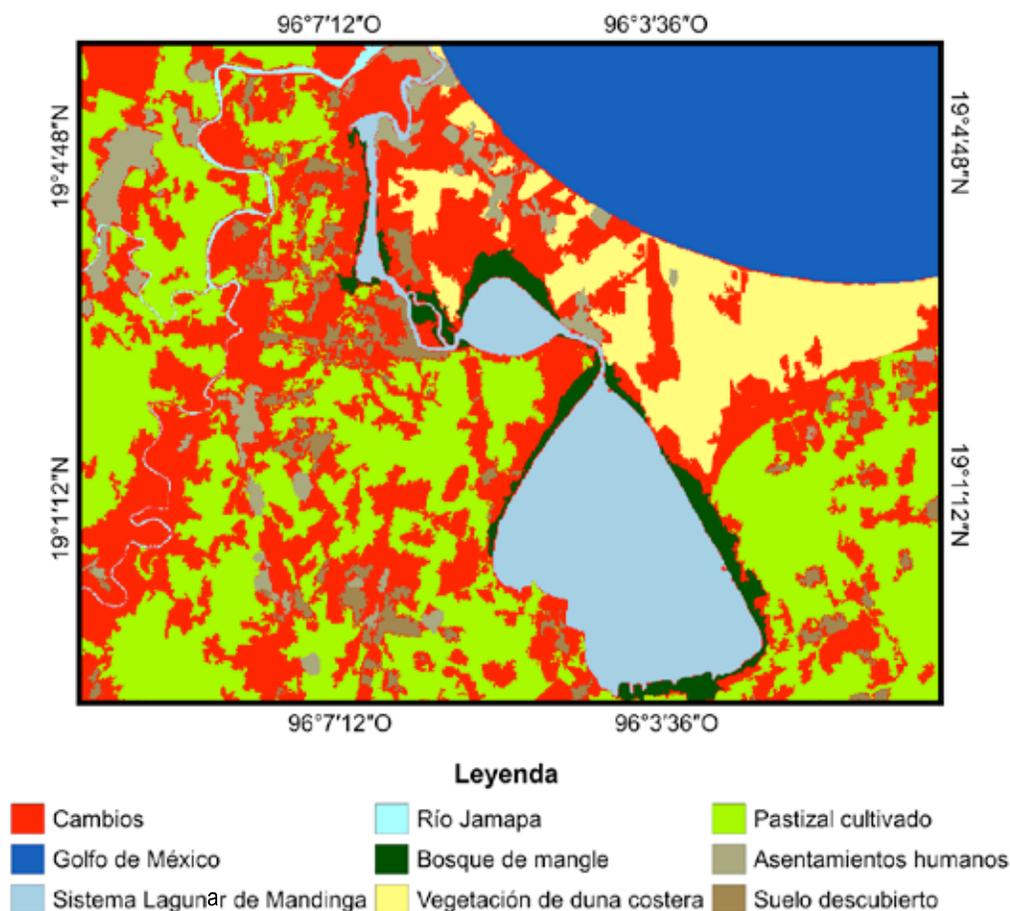
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Pérdida, ganancia y persistencia del bosque de mangle entre los años 2000 y 2017 en el SLCM



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Lansat 8 OLI/TIRS.

Figura 5. Áreas de cambio y persistencia de las clases de USyV entre los años 2000 y 2017 en el SLCM



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS.

En la Tabla 6 se muestran los valores calculados de pérdidas, ganancias y cambio neto de las distintas clases de USyV (el signo negativo se utiliza para remarcar que son pérdidas). Las clases Laguna de Mandinga, Río Jamapa y Bosque de Mangle tuvieron una pérdida neta de -19, -22 y -107 ha, respectivamente. La clase Vegetación de duna costera y la clase Suelo descubierto cedieron -523 y -2,949 ha, respectivamente. En esta tabla destaca el cambio neto positivo de la clase Asentamientos humanos, con un incremento de superficie de 1,483 ha en 17 años.

Tabla 6. Pérdidas, ganancias y cambio neto de las clases de USyV en el SLCM entre los años 2000 y 2017

Clase	Pérdida ha	Ganancia ha	Cambio neto ha
1- Golfo de México	-3	36	33
2- Laguna de Mandinga	-50	31	-19
3- Río Jamapa	-63	41	-22
4- Bosque de Mangle	-234	127	-107
5- Vegetación de dunas costeras	-826	303	-523
6- Pastizal cultivado	-1386	3489	2103
7- Asentamientos humanos	0	1483	1483
8- Suelo descubierto	-3747	798	-2949

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se calcularon las contribuciones, (en hectáreas) al cambio neto por Clase para el periodo 2000-2017. Si la clase otorga área, el valor, es positivo, y si la clase recibe área, el valor es negativo. La clase Golfo de México recibe 34 ha de la clase Vegetación de duna costera y cede 2 ha a la clase Asentamientos humanos. La clase Laguna de Mandinga otorga 15 ha a la clase Bosque de mangle y 9 ha a la clase Asentamientos humanos. La clase Bosque de mangle cede 13 ha a la clase Vegetación de duna costera, 10 ha a Pastizal cultivado, 92 ha a la clase Asentamientos humanos y 7 ha a Suelo descubierto. Entre las contribuciones importantes en el SLCM destacan las ganancias adquiridas por la clase Asentamientos humanos, que son aportadas por Pastizal cultivado (-407 ha), Vegetación de duna costera (-613 ha) y por el Bosque mangle (-92 ha). Otra contribución relevante en la dinámica del sistema es la adquisición que tiene Pastizal cultivado (-2,467 ha), desde la clase Suelo descubierto. En la Figura 6 se muestra la dinámica de cambio entre las clases de USyV de la Tabla 7.

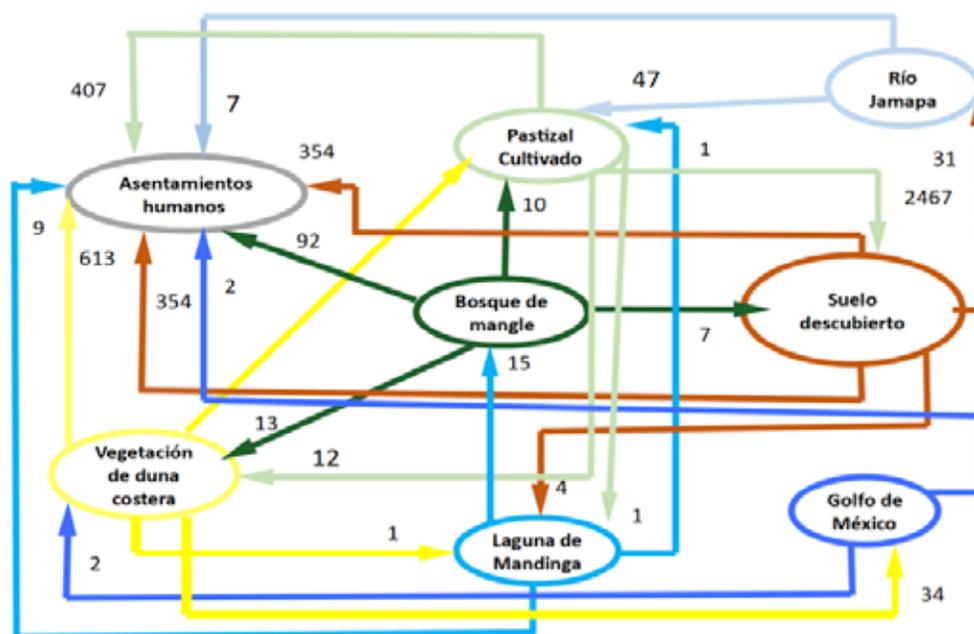
Tabla 7. Contribuciones (ha) al cambio neto por USyV en el SLCM entre los años 2000 y 2017

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
1- Golfo de México	0	0	0	0	-34	0	2	0
2- Laguna de Mandinga		0	0	15	-1	-1	9	-4
3- Río Jamapa			0	0	0	47	7	-31
4- Bosque de Mangle				0	13	10	92	7
5- Vegetación de duna costera					0	-12	613	-100
6- Pastizal cultivado						0	407	-2467
7- Asentamientos humanos							0	-354
8- Suelo descubierto								0

Nota: Signo negativo recibe, positivo aporta.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Dinámica de cambio (ha) entre las clases de USyV en el SLCM entre 2000 y 2017



Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Las imágenes por percepción remota son una herramienta para la cartografía, la que resulta indispensable para el monitoreo de bosques de mangle y un valioso apoyo para la conservación y restauración de ambientes naturales. En la actualidad, distintos investigadores en el mundo utilizan fotografías aéreas e imágenes satelitales para la elaboración de mapas de la dinámica de cambio de las coberturas de uso de suelo y vegetación (USyV) (Nandy y Kushwaha, 2011; Riaño *et al.*, 2007; Rogan *et al.*, 2002).

Los resultados en las Figuras 2 y 3, de los años 2000 y 2017, no sólo sirven para calcular las cantidades de bosque de mangle talado, sino que también dan cuenta de dónde viene la afectación. Es importante notar en el año 2000 la presencia de cobertura de la clase Bosque de mangle al norte de la Laguna Larga y al oeste de la Laguna Grande, mientras al sur de la Laguna Redonda observamos la casi desaparición del cinturón de mangle con prevalencia de Pastizal cultivado. En el año 2017, se observa el crecimiento del área de la clase Asentamientos humanos al norte de la Laguna Larga y al oeste de la Laguna Grande. El mangle va desapareciendo desde el municipio de Boca del Río hacia la Laguna Grande, existe un cambio de rural a urbano; al parecer las áreas de mayor plusvalía ya fueron arrasadas por el desarrollo urbano y continúa de forma más lenta hacia el sur, los resultados observados coinciden con Hiraes-Cota *et al.* (2010), que determinan que una de las causas de deforestación del mangle es causado por el crecimiento de actividades turísticas.

La comparación de las Figuras 2 y 3 muestra también el impresionante crecimiento de la Clase Asentamientos humanos (gris) al norte y este de la Laguna Redonda, dicho crecimiento fue sobre Vegetación de duna costera. Esta situación, la de desarrollar asentamientos humanos sobre duna costera en el estado de Veracruz, es cuestionable y criticable (Martínez *et al.*, 2017). Esto debido a que las dunas son depósitos para el balance natural de las arenas en el sistema costero, y porque la construcción de viviendas sobre dunas ofrece el riesgo de asentamientos diferenciales de las edificaciones por la pérdida de arena (Raffaele y Bruno, 2019). Las dunas costeras representan un importante activo para la estabilidad de las costas, además de que se desconoce a partir de qué fecha dejaron de ser propiedad federal para pasar a propiedad privada, de acuerdo con la legislación mexicana.

En el grupo de Coberturas antrópicas (Tabla 4), el valor de la clase Asentamientos humanos tiene una tasa de cambio de 7.18%, valor elevado que refleja el desarrollo urbano del municipio de Boca del Río, del cual las estadísticas nacionales dan cuenta (<http://www.cuentame.inegi.org.mx/>).

En la Figura 4 se presenta sólo la dinámica de cobertura de la clase Bosque de Mangle; de nuevo es destacable la gran pérdida de bosque de mangle al norte de la

Laguna Larga (en color rojo) y el repoblamiento al sur de la Laguna Redonda; respecto a este último, se señala que la reproducción de bosque de mangle es viable si se le da oportunidad, ya que las condiciones hidrológicas y del sedimento son idóneas (Osorio-Ramírez, 2012).

La pérdida de cobertura de bosque de mangle (107.08 ha en 17 años) fue mayor a lo estimado por Cabrera-Mendoza (2009), quien calculó una pérdida de 86.81 ha en un periodo de 21 años. A nivel del estado de Veracruz, en el periodo de 1970/80 a 2015, se perdieron 6,509 ha y, a nivel país, en el mismo lapso se perdieron 102,412 ha (Troche-Souza *et al.*, 2016), aproximadamente 1,000 veces más que las 107.08 ha del SLCM. En un estudio conjunto México-Estados Unidos se calculó una tasa de pérdida de bosque de mangle de 25,000 ha/año (Yañez-Arancibia *et al.*, 2014).

Los cambios de cobertura de vegetación en el estado de Veracruz repercuten de manera negativa en la riqueza biológica y los servicios ambientales (Semarnat, 2016), y los procesos de cambio para esta clase de cobertura se deben principalmente a la expansión de la mancha urbana (Ávila-Sánchez, 2001). En el periodo de estudio se observó, para el bosque de mangle, una tasa de cambio anual de -1.02%, y Ellis *et al.* (2011), basados también en percepción remota, señalaron que las principales amenazas que existen en el SLCM son la urbanización, la expansión agrícola y de pastizal. Al respecto, coincidimos con López-Feldman (2012) en señalar al crecimiento inmobiliario y las actividades agropecuarias como promotoras del cambio de uso de suelo y vegetación.

Desde una perspectiva sistémica, y como consecuencia de la pérdida de bosque de mangle, se encuentran en peligro otros ecosistemas, como los arrecifes de coral, praderas submarinas y la densidad de peces, entre otros (Dorenbosch *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 2011). Afortunadamente, se han llevado a cabo investigaciones que han demostrado la importancia de conservarlo y regular su uso (Ellis *et al.*, 2011).

Lo fundamental para el mantenimiento del bosque de mangle en el estado de Veracruz, desde una perspectiva ecológica y económica, no es únicamente el cuidado de la tala, sino proteger la calidad del agua, a nivel cuenca hidrológica, para la conservación de este bosque, ya que la actividad pesquera es también dependiente de su buen estado (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Las especies de mangle a nivel nacional se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, por factores que inciden negativamente en su viabilidad, lo que determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación, y a esto se suma la baja capacidad de resiliencia mostrada por estos manglares, expresada en el bajo número, crecimiento y sobrevivencia encontrada en plántulas (Semarnat, 2010). Es importante entonces incrementar

los controles para garantizar la preservación de este esencial ecosistema, así como el implementar sistemas de monitoreo para conocer su desarrollo (Valle *et al.*, 2011).

Se ha señalado que la economía de la pesca local se ha afectado por la deforestación del bosque de mangle, debido al vínculo entre el bosque de mangle y el servicio ambiental del área de crianza, alimentación y crecimiento de especies de peces y mariscos, de valor comercial o sin éste (Moreno-Casasola *et al.*, 2002). Al sur del Golfo de México (Campeche) se señaló una pérdida anual de ingresos por \$278,000 USD/año debido a la tala de 200 ha de bosque de mangle entre 1980 y 1990, esto hace un valor de \$1,390 USD/ha/año (Barbier y Strand, 1998), dinero que el sector pesquero dejó de percibir en aquella época. Evaluaciones recientes del valor de los servicios ecosistémicos del mangle, sin contabilizar los servicios culturales, espirituales y estéticos, es de \$58,862 USD/ha/año (Himes-Cornell *et al.*, 2018).

En foros y congresos se ha reconocido la conveniencia de pasar de una etapa de estudio básico a atender el problema relevante de cómo revertir las tasas de deforestación que están experimentando estos bosques (Society of Wetland Scientists, <https://www.sws.org>). La Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), es un instrumento de política ambiental que tiene como objetivo prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, y es una oportunidad para prevenir la tala de mangle mediante el acuerdo con empresarios, inversionistas, agropecuarios, inmobiliarias, y el sector turístico que deseen llevar a cabo proyectos.

CONCLUSIÓN

En un periodo de 17 años, del 2000 al 2017, el SLCM ha estado inmerso en un proceso de cambio y transformación de las coberturas naturales y antrópicas, consecuencia del crecimiento de las zonas urbanas y de actividades humanas que influyen en la transformación del uso del suelo en el área de estudio.

La tasa de disminución anual de la Clase Bosque de mangle en el SLCM presentó un valor de 1.02%, valor menor al calculado en evaluaciones previas, sin embargo, la tendencia no ha cambiado. En el año 2000 había 667.8 ha contra 560.7 ha del año 2017. Los principales forzantes para estas pérdidas son los Asentamientos humanos (crecimiento anual de 7.18%) y el Pastizal cultivado (1.48%), ambas coberturas antrópicas.

A nivel local, se subraya la importancia del bosque de mangle y se hace énfasis en los servicios ecosistémicos que aporta, también se señalan algunas repercusiones de la tala y el cambio de uso de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldeco, J. *et al.* (2015). "Adaptaciones culturales y económicas a cambios provocados por tala de mangle y deterioro pesquero en Mandinga, Veracruz", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 15(2): 137-158.
- Ávila, H. (2001). "Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos: Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América", en *Investigaciones Geográficas*, 45: 108-127.
- Barbier, B. e I. Strand. (1998). "Valuing Mangrove-Fishery Linkages. A Case Study of Campeche, Mexico", en *Environmental and Resource Economics*, 12: 151-166.
- Berlanga, C. y A. Ruíz. (2007). "Análisis de las tendencias de cambio de bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat", en *Universidad y Ciencia*, 23(1): 29-46.
- Berlanga, C. *et al.* (2010). "Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973–2000)", en *Investigaciones Geográficas*, agosto, 72: 7-22.
- Cabrera, M. (2009). *Evaluación de la pérdida de cobertura del manglar en el Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz (1984-2005), y su repercusión ecológica y económica*. Informe de Servicio Social. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Calderón, C. *et al.* (2009). "El valor de los manglares", en Conabio, *Biodiversitas*, 82: 1-6.
- Cervantes, A. (2005). *Análisis temporal de los cambios en la vegetación aledaña a la laguna de Mandinga, Veracruz. Mediante el análisis de imágenes satélite*. Informe de Servicio Social, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Challenger, A. y J. Soberón. (2008). "Los ecosistemas terrestres", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (Ed.). *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (87-108). México: Conabio.
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*, 3ª ed. Barcelona: Ariel, colección Ciencia.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2009^a). *Manglares de México. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Proyecto: GQ004*. México: Conabio.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2009^b), en Conabio. *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (37-45), México: Conabio.

- Congedo, L. (2018). "Semi-Automatic Classification Plugin Documentation". Free open source plugin for QGIS. Doi: /10.13140/RG.2.2.29474.02242/1 (Consultado: 28/03/2019)
- Contreras, F. (1993). *Ecosistemas costeros mexicanos*. México: UAMI (Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa) -CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Derouin, S. (2017). "Study finds that coastal wetlands excel at storing Carbon", en *Earth and Space News* (4-5), Eos.org, mayo.
- Dorenbosch, M. et al. (2004). "The relationship of reef fish densities to the proximity of mangrove and seagrass nurseries", en *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60(1): 37-48.
- Earthexplorer. (2018). "USGS science for a changing world". EarthExplorer. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Consultado: 09/06/2018).
- Earthexplorer. (2017). Query and order satellite images through the US Geological Survey. <http://earthexplorer.usgs.gov> (Consultado: 17/07/2017).
- Ellis, A. et al. (2011). "Focos Rojos para la Conservación de la Biodiversidad, en La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). *Gobierno del Estado de Veracruz - Universidad Veracruzana - Instituto de Ecología, A.C.* (351-367). México: Conabio.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2007). The world's mangroves 1980-2005. FAO forestry paper No. 153, Rome, 77 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1427e.pdf>. (Consultado: 28/03/2019).
- Flores, F. et al. (2007). "Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México", en Sánchez, O. et al. (Eds.). *Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación* (147-166). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología-U.S. Fish & Wildlife Service-United States for the Conservation, A.C. -Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Libros, No. 6.
- GEV (Gobierno del Estado de Veracruz). (2000). *Actualización del Plan Regional de Desarrollo de Mandinga, Alvarado*. México: Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Xalapa-Enríquez.
- Himes, A. et al., (2018). Mangrove Ecosystem Service Values and Methodological Approaches to Valuation: Where Do We Stand?. *Frontiers in Marine Science*, Vol. 5 (October), Article 376, 15p. Doi: 10.3389/fmars.2018.00376.

- Hirales, M. *et al.* (2010). "Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México", en *Ciencias Marinas*, 36(2): 147-159.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250.000. Serie V. Aguascalientes*: INEGI.
- Lara, A. *et al.* (2009). "Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica", en Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). *Caracterización del sitio de manglar Mandinga* (1-11). Ciudad de México: Conabio.
- López, A. (2012). *Deforestación en México: Un análisis preliminar*. Ciudad de México: CIDE (Centro de Investigación y Docencia Económica), División de Economía, Documento de trabajo No. 527.
- Manzo, L. y J. Meave. (2003). "La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de la percepción remota", en *Revista Ciencia*, julio-septiembre, 18-28.
- Martínez, L. *et al.* (2017). "Human Impact on Coastal Resilience along the Coast of Veracruz, Mexico", en *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 77: 144-153.
- Mas, F. (1999). "Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques", en *International Journal of Remote Sensing*, 20(1): 139-152.
- Moreno, P. *et al.* (2002). "Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática", en *Madera y Bosques*, 8 (Número especial): 61-88.
- Nandy, S. y S. Kushwaha. (2011). "Study on the utility of IRS 1D LISS-III data and the classification techniques for mapping of Sunderban mangroves", en *Journal of Coastal Conservation*, 15(1): 123-137.
- Osorio, C. (2012). Características estructurales del bosque de manglar asociado a un sitio en la Laguna de Mandinga, Veracruz, México. *Informe de Servicio Social*, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Palacio, J. *et al.* (2004). *Indicadores para la Caracterización y el Ordenamiento Territorial*. Ciudad de México: Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), INE (Instituto Nacional de Ecología), IGf (Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México) y Sedesol (Secretaría de Desarrollo Social).
- Pontius Jr. *et al.* (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2-3): 251-268.
- Raffaele, L. y L. Buno. (2019). "Windblown sand action on civil structures: Definition and probabilistic modelling", en *Engineering Structures*, enero, 178: 88-101.
- Riaño, D. *et al.* (2007). "Global spatial patterns and temporal trends of burned areas between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder", en *Global Change Biology*, octubre, 13: 40-50.

- Rodríguez, M. *et al.* (2013). *Manglares de México / Extensión, distribución y monitoreo*. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Rogan, J. *et al.* (2002). "A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation changes using Thematic Mapper imagery", en *Remote Sensing of Environment*, abril, 80: 143-156.
- Ruíz, A. *et al.* (2010). "Climatología". Pp. 65-84., en *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural* (Florescano, E. y Ortiz Escamilla, J. Coords). Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad Veracruzana, Xalapa. Vol. 1. ISBN 9786079513160.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*, 1ra ed., digital. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-023-RECNAT-2001. Que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México; Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde* (Ed. 2015), Ciudad de México: Semarnat.
- Troche, C. *et al.* (2016). *Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980-2015)*. Ciudad de México: Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).
- USGS (United States Geological Survey). (2018). Landsat 7 (17). Data users handbook, version 1.0. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Sioux Falls.
- Valle, G. *et al.* "Estructura y Regeneración del bosque de manglar de la Ciénega de Cholón, Isla Barún, Parque Nacional Corales del Rosario y San Bernardo, Caribe colombiano". *Boletín de Investigación Marinas y Costeras*, 40(1): 115-130.
- Yáñez, A. *et al.* (2014). "Manglares; ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México", en *Madera y Bosques*, 20(3): 39-75.

Adición de alfalfa deshidratada como suplemento nutricional de los sustratos paja de avena y rastrojo de maíz en la producción de *Pleurotus ostreatus*

Norma Daniela García Calderón,¹ Miguel Ángel Ramos López,² Israel Rubalcava Alejo,¹ Iván Levi Caratachea Aguirre¹ y Antonio Flores Macías^{1*}

Resumen. El consumo de proteína a partir de hongos es una alternativa para reemplazar parcialmente las fuentes de proteína de origen animal. Con la finalidad de incrementar la productividad del hongo *Pleurotus ostreatus*, se evaluó el efecto de adicionar alfalfa deshidratada (*Medicago sativa* L.) como suplemento nutritivo a los sustratos vegetales: paja de avena y rastrojo de maíz. En un arreglo experimental de bloques al azar, se evaluaron las variables tiempo promedio en la aparición de los primeros cuerpos fructíferos, número de esporomas, biomasa fresca, biomasa seca y eficiencia biológica (EB), durante un periodo promedio de 120 días. Los resultados muestran que cuando el sustrato fue únicamente alfalfa deshidratada, no se produjeron cuerpos fructíferos. Con respecto a la variable número de días de aparición de cuerpos fructíferos, no hubo diferencia estadística. Los sustratos adicionados con el suplemento presentaron un mayor número de esporomas y los valores más altos de biomasa fresca. La adición del suplemento ocasionó una disminución de la EB en el sustrato de rastrojo de maíz y paja de avena. Los resultados obtenidos indican que la alfalfa deshidratada, utilizada como sustrato único, no favorece el crecimiento de *P. ostreatus*, y que su adición como suplemento para los sustratos estudiados incrementa la producción de biomasa fresca, pero afecta negativamente la EB.

Palabras clave: Biomasa fresca, Biomasa seca, Eficiencia biológica, Esporoma.

Abstract. Protein from mushrooms is an alternative to partially replace protein sources of animal origin. In order to increase the productivity of *Pleurotus ostreatus* fungus, it was evaluated the

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

² Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Mexico.

* Autor de contacto: afloresm@correo.xoc.uam.mx.

effect of adding dehydrated alfalfa (*Medicago sativa* L.) as a nutritional supplement to the substrates oat straw and corn stubble. In an experimental arrangement of random blocks, the variables average time in the appearance of the first fruiting bodies, number of sporomes, fresh biomass, dry biomass and biological efficiency (BE) were evaluated, during an average period of 120 days. The results show that when the substrate was dehydrated alfalfa, no fruiting bodies were produced. There was no statistical difference regarding the variable number of days of appearance of fruiting bodies. The supplemented substrates presented a greater number of sporomes and the highest values of fresh biomass. The addition of the supplement caused a decrease in EB in the corn stubble and oat straw substrate. The results obtained indicate that dehydrated alfalfa, used as the sole substrate, does not favor the growth of *P.ostreatus* and that its addition as a supplement to the studied substrates increases the production of fresh biomass, but negatively affects EB.

Keywords: Fresh biomass, Dry biomass, Biological efficiency, Sporome.

INTRODUCCIÓN

El consumo de hongos representa una fuente alimenticia con un alto contenido de proteína digerible, aminoácidos esenciales, fuente de fibra, vitaminas y minerales (Stephan *et al.*, 2018; Buglione *et al.*, 2019). La producción de hongos comestibles ha aumentado más de 30 veces desde 1978, alcanzando una producción mundial de 34 millones de toneladas, con un valor cercano a los 63,000 millones de dólares estadounidenses (Royse y Sánchez, 2017). China es el principal productor y consumidor de hongos comestibles a nivel mundial; produjo 87 % de esa producción (Grimm y Wösten, 2018). De entre las diferentes especies de hongos, *Lentinula edodes* (shiitake) es ahora el más ampliamente cultivado, con 22 % de la producción mundial en 2013. Le siguen muy de cerca *Pleurotus* spp. y *Auricularia* spp., que cuentan con 19 % y 18 %, respectivamente (Royse *et al.*, 2017). México es el primer productor de champiñón y *Pleurotus* spp. en América Latina, generando alrededor de 80.8 % de la producción total, con 62,374 toneladas, seguido por Brasil con 7.7 % y Colombia con 5.2 %, a nivel mundial ocupa el 13o puesto (Martínez-Carrera y Ramírez, 2016; Romero *et al.*, 2018).

La siembra del hongo *Pleurotus* spp., comunmente llamado seta, permite la utilización y reciclaje acelerado de millones de toneladas de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales utilizados como sustrato de este cultivo, de aquí la importancia ecológica de esta actividad.

Los sustratos para la producción de *Pleurotus* spp. deben ser ricos en celulosa, lignina y hemicelulosa, de los que el hongo toma los nutrientes necesarios para crecer y desarrollarse. Entre estos se encuentran la paja de avena, trigo, cascarilla de arroz, rastrojo de maíz y algunos pastos, cuyo contenido de nitrógeno suele ser inferior a 1% (Chang y Miles, 2004; Melo de Carvalho *et al.*, 2010). Estos sustratos se consideran completos cuando se les añaden materiales o suplementos que tienen la finalidad de proporcionar una mejor nutrición al hongo, aumentando la eficiencia biológica (g de hongo fresco/100 g de sustrato seco), la productividad y la tasa de biodegradación de la cepa (Romero-Arenas *et al.*, 2010). Uno de los principales nutrientes que requiere un sustrato ideal para la producción de *P. ostreatus* es el nitrógeno (Ogundele *et al.*, 2014), el cual debe estar presente en concentraciones de 0.6 a 1.2% (Muez y Pardo, 2002; Pardo, 2008). La alfalfa deshidratada es un suplemento nutricional de los sustratos, que puede aportar cerca de 2.69% de nitrógeno, además contiene 90.9% de materia seca, 11.8% de hemicelulosa, 24.7% de celulosa y 8.5% de lignina (López, 2000; Sánchez y Royse, 2001).

Con la finalidad de estudiar la posibilidad de incrementar la producción de *P. ostreatus*, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los indicadores de crecimiento y rendimiento de ese hongo cultivado sobre dos sustratos (paja de avena y rastrojo de maíz), con alfalfa deshidratada como suplemento nutricional.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en el área de producción de hongos del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC), de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México.

La zona de trabajo fue desinfectada previo a la siembra, aplicando, mediante aspersión, hipoclorito de sodio al 10%. Durante el periodo de incubación del hongo se mantuvo una temperatura promedio de 19.5 ± 2 °C, una humedad relativa del 85-90% y en ausencia de luz. En el periodo de desarrollo del hongo, las condiciones de temperatura y humedad fueron iguales a la anteriormente indicadas, la luminosidad fue de 200 luxes, pero con una ventilación natural que permitió que no se presentarían síntomas de exceso de CO₂ (Kab-Yeul *et al.*, 2003). Para mantener la humedad relativa se realizaron dos riegos diarios (300 mL) mediante micronebulizadores.

Se evaluaron cinco tratamientos (Cuadro 1), que fueron distribuidos en un arreglo experimental de bloques al azar. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones.

Cuadro 1. Sustratos utilizados en cada tratamiento

Tratamiento	Sustratos (g)
Pa	600 paja de avena
Rm	600 rastrojo de maíz
A	600 alfalfa
Pa+A	600 paja de avena + 300 g alfalfa
Rm+A	600 rastrojo de maíz + 300 g alfalfa

Preparación de sustratos y siembra

Los sustratos fueron adquiridos de proveedores de forrajes de la Alcaldía de Xochimilco, Ciudad de México. Estos sustratos deshidratados a temperatura ambiente fueron triturados en un molino de tracción mecánica de la marca Caravagio®, a una longitud de entre 3 y 5 cm. Los materiales, por separado, fueron colocados en arpillas plásticas para ser hidratados durante 24 h en un volumen de agua (pH 6.8) de 200 L, al que previamente se le habían adicionado 400 g de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El sustrato se dejó escurrir por 30 min, hasta alcanzar una humedad promedio de 80% v/v (Flores *et al.*, 2013).

El material hidratado fue colocado en canastillas metálicas, que se introdujeron en tambores metálicos de acero inoxidable con capacidad de 200 L, a los que se les agregaron 10 L de agua, que se calentaron como parte del tratamiento térmico. El tambor fue cubierto mediante un plástico y se le aplicó calor mediante fuego, hasta alcanzar una temperatura de 80°C dentro del contenedor. Después de una hora bajo esta condición, el material se dejó escurrir durante 30 min (Romero-Arenas *et al.*, 2010), hasta alcanzar una humedad promedio de 75%; posteriormente se colocó sobre una superficie y se le dejó enfriar hasta una temperatura de 22°C.

La siembra se realizó colocando el sustrato en capas de cinco centímetros, dentro de bolsas de plástico transparentes de 40 x 60 cm, calibre 250 (0.0025"). Entre cada capa, se depositaron 400 g de inóculo de *P.s ostreatus*. El peso total por bolsa fue de 1000 g en los tratamientos Rm y Pa; mientras que para los tratamientos Rm + A y Pa + A fue de 1300 g. El inóculo utilizado fue de la cepa CP-50 "seta blanca", con el código BPR-246 obtenido de la distribuidora Prodiset (www.prodiset.mx).

Las bolsas selladas fueron colocadas en el área de incubación. El promedio de peso final registrado por bolsa sembrada fue de 1000 g de peso húmedo para los sustratos sin suplemento y de 1300 g de peso húmedo para las bolsas con suplemento de alfalfa (incluidos los 400 g de semilla). A los cuatro días de incubación, se hicieron 35 cortes verticales de 1 cm sobre las paredes de las bolsas para favorecer el intercambio de gases.

Cosecha y medición de variables

Los cuerpos fructíferos se cosecharon cuando alcanzaron su desarrollo máximo, mostrando el himenio y las láminas visibles. Se cuantificó el número de cuerpos fructíferos, además de la biomasa fresca y biomasa seca. Esta última se determinó mediante deshidratación de las muestras durante 72 h a 60°C en una estufa de secado modelo Hirose HSCF-62.

Finalmente, se calculó la eficiencia biológica mediante la siguiente ecuación (Royse *et al.*, 2004):

$$EB = (\text{Peso fresco de los hongos cosechados} / \text{Peso seco del sustrato}) \times 100$$

Análisis estadístico

Se determinó la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk W test) y su homocedasticidad (Levene). En caso de no cumplirse esta premisa, se utilizó el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis y la comparación de medias (Steel-Dwass). Los datos fueron analizados a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) de medidas repetidas (MR-ANOVA) y la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para determinar posibles diferencias entre tratamientos. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico JMP® versión 11 (SAS, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aparición de los cuerpos fructíferos en los tratamientos inició a los 23 días después de la siembra, y tuvo una duración promedio de 25.5 ± 1.3 días. Este tiempo es inferior a los 38 días reportado por Romero-Arenas *et al.* (2018) en una investigación con *P. ostreatus*

con la misma cepa (CP-50), cultivada en paja de trigo, paja de avena, rastrojo de maíz y pajilla de frijol, todos ellos adicionados con alfalfa deshidratada. En esa investigación, la temperatura ambiente promedio fue 26 ± 2 °C, superior a los 19.5 ± 2 °C, en las que se desarrolló el presente experimento. Sin embargo, la humedad relativa fue inferior en 5%. Al parecer, la combinación de una menor temperatura y una mayor humedad aceleraron la aparición de los primeros cuerpos fructíferos, aunque variables como la concentración de CO₂ y los diferentes sustratos utilizados limitan el hacer una comparación directa.

De los tratamientos evaluados, se observó que la alfalfa como sustrato único, no produjo esporomas. En el trabajo de Romero-Arenas *et al.* (2018), el tratamiento con alfalfa sí presentó cuerpos fructíferos, pero su productividad fue la menor de entre los sustratos estudiados (3.68 kg), mientras el sustrato de paja de avena alcanzó la máxima producción (12.68 kg). La ausencia de crecimiento en el sustrato de alfalfa pudo estar asociada a su bajo contenido de compuestos lignocelulósicos. Al no tener suficiente materia prima lignocelulósica, el hongo *P. ostreatus* no se desarrolló. López (2000) reporta que la alfalfa contiene porcentajes bajos de celulosa (11.8%) y lignina (8.5%), menores a los contenidos en el Rm, que presenta un contenido de celulosa de 37.69% y de lignina 18.59%, y a los que reporta Ortiz (2013) para la Pa, de 35.8% de celulosa y 16.85% de lignina.

El análisis comparativo entre los tratamientos muestra que no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en el de tiempo de aparición de los cuerpos fructíferos (Cuadro 2), por lo que se puede suponer que la adición de alfalfa en los diferentes sustratos no tuvo ningún efecto sobre esta variable. Sin embargo, se observó que los tratamientos con rastrojo de maíz presentaron la aparición de cuerpos fructíferos en tiempos ligeramente más cortos.

Cuadro 2. Promedio de días de aparición de cuerpos fructíferos dede la siembra

Tratamiento	Días \pm DS
Pa	26.5 \pm 0.53 a
Pa+A	26.8 \pm 2.28 a
A	ND
Rm	24.1 \pm 1.24 a
Rm+A	24.5 \pm 3.38 a

Pa paja de avena; Pa + A paja de avena + alfalfa deshidratada;

Rm rastrojo de maíz, Rm + A rastrojo de maíz + alfalfa deshidratda.

Valores promedio \pm D.S. con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$ Tukey).

La cantidad promedio de esporomas emergidos fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) en los tratamientos en los que se adicionó alfalfa (39.1 y 31.0) con respecto a los mismos sustratos en los que no se adicionó (17.6 y 19.3).

Para la variable biomasa fresca, los tratamientos adicionados con alfalfa presentaron valores superiores (349.7 y 332.7 g) con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 3), lo que hace suponer que la alfalfa como suplemento incrementó el redimiento de *P. oatreatus*. Sin embargo, esto pudiera no estar relacionado con la aportación de nitrógeno, ya que Mleczek *et al.* (2021) no encontraron un incremento en la productividad de este hongo cuando adicionaron fuentes fertilizantes ricas en amonio y nitratos.

Los valores de la variable biomasa seca mostraron una respuesta diferente, en donde los tratamientos suplementados con alfalfa no se diferenciaron estadísticamente de los no suplementados. Sólo se observó una diferencia estadística entre el tratamiento Pa y el tratamiento Rm + A, siendo este último el que mayor valor de biomasa seca produjo.

Cuadro 3. Valores promedio del número de esporomas, biomasa fresca y seca

Tratamiento	Esporomas \pm D.S	Biomasa fresca \pm D.S (g)	Biomasa seca \pm D.S (g)	EB %
Pa	17.6 \pm 1.2 c	258.1 \pm 11.5 b	14.2 \pm 5.3 b	129.1 \pm 36.4 a
Pa + A	39.1 \pm 2.4 a	332.7 \pm 15.7 a	21.1 \pm 0.72 ab	110.9 \pm 24.0 b
A	ND	ND	ND	ND
Rm	19.3 \pm 1.4 bc	238.9 \pm 12.5 b	19.4 \pm 1.09 ab	119.5 \pm 26.4 a
Rm + A	31.0 \pm 1.7 ab	349.7 \pm 21.1 a	24.3 \pm 1.08 a	116.6 \pm 29.6 b

Pa paja de avena; Pa + A paja de avena + alfalfa deshidratada; Rm rastrojo de maíz, Rm + A rastrojo de maíz + alfalfa deshidratada. Valores promedio \pm D.S. con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$ Tukey).

Con respecto a la EB, los tratamientos Pa y Rm presentaron un valor estadísticamente superior a los obtenidos en los tratamientos restantes (Cuadro 3). Estos sustratos al ser suplementados con alfalfa deshidratada redujeron su EB (18.2% y 2.9%, respectivamente). Lo anterior, no coincide con lo reportado por Romero-Arenas *et al.* (2018), quienes utilizaron rastrojo de maíz adicionado con alfalfa, con un incremento de casi 27% de EB, por efecto del suplemento. Sin embargo, Zireva *et al.* (2010) encontraron que la adición de

salvado de maíz, que tiene un contenido de nitrógeno similar al de la alfalfa (2.0%), al rastrojo de maíz, redujo la EB en 72%. Sumado a lo anterior, Rózsa *et al.* (2016) obtuvieron resultados negativos al adicionar harina de soya como fuente de nitrógeno al sustrato de *P. ostreatus*, ya que encontraron una reducción en el crecimiento del micelio y un retraso en la producción del hongo. Los resultados del presente experimento y lo reportado por Zireva *et al.* (2010) y por Rózsa *et al.* (2016) hace suponer que la adición de suplementos con niveles altos de nitrógeno, al menos en el sustrato de maíz, tiene un efecto adverso sobre la EB. Se ha observado que un contenido elevado de nitrógeno favorece el crecimiento de hongos mitospóricos y de *Coprinus*, e incrementa el riesgo de contaminación, anaerobiosis y posterior reducción de la producción (Oei, 2003; Sanchez y Royse, 2017).

Los datos de EB en Rm + A fueron superiores a los obtenidos (91.85%) en la misma investigación de Romero-Arenas *et al.* (2018), con el mismo sustrato y con la misma cepa. Sin embargo, la temperatura fue superior en 5 °C y la humedad relativa fue inferior en 5%, con respecto a las condiciones del presente experimento. Al parecer, esta combinación de una menor temperatura y una mayor humedad promovió un incremento en la producción de biomasa fresca.

La EB para el tratamiento Pa sin suplementar con alfalfa deshidratada fue de 86.04%, que es un valor inferior al 112% reportado por Gaitán-Hernández *et al.* (2016), mientras que Mata *et al.* (2019) obtuvieron valores menores (22.6 a 46.4%), aunque al experimentar con cepas diferentes, existen limitaciones en realizar comparaciones directas. Lo anterior, permite suponer que la especie de *P. ostreatus*, en sus variantes de cepas y sometidas a distintas condiciones de temperatura y humedad, muestran valores de rendimiento y EB muy distintas. A diferencia del sustrato de Rm, la adición de alfalfa deshidratada a la paja de avena no tuvo un efecto negativo sobre la EB, ya que su valor fue mayor.

CONCLUSIONES

La adición de alfalfa deshidratada como suplemento de paja de avena y rastrojo de maíz no modifica el tiempo de aparición de los cuerpos fructíferos. Sin embargo, sí incrementa el número de esporomas y la biomasa fresca producida por *P. ostreatus*, por lo que es una práctica que, al realizarse, puede incrementar la productividad del cultivo. La adición de este suplemento mejora la EB cuando es añadido al sustrato de paja de avena, pero ésta disminuye cuando se adiciona al rastrojo de maíz, lo que indica que su aplicación sólo debe realizarse cuando la experimentación ha mostrado su efecto positivo sobre esta variable.

BIBLIOGRAFÍA

- Buglione, B. *et al.* (2019). Valor nutricional de las gírgolas de *Pleurotus ostreatus* cultivado en orujo de manzana. XVII Congreso argentino de ciencia y tecnología de alimentos. Argentina.
- Chang, S. y G. Miles. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*, 2ª ed., Florida (USA): CRC Press.
- Flores, A. *et al.* (2013). *Producción de setas del género Pleurotus*. Manual 37. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- Gaitán, R. y H. Silvia. (2016). "Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México", en *Revista Mexicana de Micología*, 43: 43-47.
- Grimm D. & H. Wösten. (2018). "Mushroom cultivation in the circular economy", en *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(4). <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>
- Kab, J. *et al.* (2003). "Characterization of fruitbody morphology on various environmental conditions in *Pleurotus ostreatus*", en *Mycobiology*, 31: 3, 145-150, DOI: 10.4489/MYCO.2003.31.3.145
- López, V. (2000). *Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (Lama glama). I.- Heno de alfalfa (Medicago sativa) y paja de trigo (Triticum aestivum) en diferentes proporciones*. Chile: Universidad de Chile. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2000000200007
- Martínez, D. y J. Ramírez (eds.) (2016). *Ciencia, tecnología e innovación en el sistema agroalimentario de México*. Texcoco, México: Editorial del Colegio de Posgraduados, AMC-CONACYT, UPAEP- IMANAP.
- Mata, J. *et al.* (2019). "Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en viruta de pino: obtención de cepas y evaluación de su productividad", en *Madera y Bosques*. 25 (2): 1-13 <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521715>
- Melo de Carvalho, S. *et al.* (2010). "Mushrooms of the *Pleurotus* genus: A review of cultivation techniques", en *Interciencia*, 35(3): 177-182.
- Mleczek, M. *et al.* (2021). "Changes in mineral composition of six strains of *Pleurotus* after substrate modifications with different share of nitrogen forms", en *European Food Research & Technology*, 247(1): 245-257. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03622-9>
- Muez, A. y J. Pardo. (2002). "La preparación del sustrato", en Sánchez, E y D. Royse (Eds.). *La Biología y el Cultivo de Pleurotus spp.* Ecosur (157-186). México: Limusa.
- Oei, P. (2003). *Mushroom Cultivation-Appropriate Technology for Mushroom Growers*. Third Edition. The Netherlands: Backhuys Publishers, Leiden.

- Ogundele, F. *et al.* (2014). "Effect of pure and mixed substrate on oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation", en *Journal of Experimental Biology and Agricultural Science*, 2(2S): 215-219.
- Ortiz, B. (2013). *Cultivo de Pleurotus ostreatus sobre paja de cereales*. España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Pardo, A. (2008). "Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados", en *ITEA Producción Vegetal*, 104: 360-368.
- Romero, O. *et al.* (2018). "Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas", en *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(2): 145-160. <https://doi.org/10.22231/asyd.v15i2.788>
- Romero, O. *et al.* (2010). "Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas", en *Agronomía Costarricense* 34(1): 53-63. <https://doi.org/10.15517/rac.v34i1.6699>
- Royse, J., *et al.* (2004). "Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates", en *Bioresource Technology*, 91(1): 85-91.
- Royse, D. y J. Sánchez. (2017). *Producción mundial de setas Pleurotus spp. con énfasis en países iberoamericanos*. Chiapas, México: Ecosur, Colegio de la Frontera Sur.
- Rózsa, S. *et al.* (2016). "The influence of pH and the source of nitrogen on the mycelial growth of the *Pleurotus ostreatus* mushrooms", en *Agronomy Series of Scientific Research / Lucrari Stiintifice Seria Agronomie*, 59(2): 243-246.
- Sánchez, J. y D. Royse. (2001). *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas Pleurotus spp.* México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Stephan, A. *et al.* (2018). "Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages", en *European Food Research and Technology*, 244(5): 913-924.
- Zireva, T. (2010). "Evaluation of various substrates and supplements for biological efficiency of *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus ostreatus*", en *African Journal of Biotechnology*, 19: 2756-2761 <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3458.3461>

Persistencia de microorganismos patógenos en biosólidos porcinos provenientes de reactores anaerobios

María Teresa Medrano Ramírez,¹ Francisco Rivera Benítez,² Jesús A. Guevara Guevara,¹ Román Espinosa Cervantes¹ y Adelfa del Carmen García Contreras^{1*}

Resumen. La digestión anaerobia es un proceso de biorreacción que permite convertir residuos orgánicos, generados en unidades de producción porcina (UPP's), en energía (biogas), biosólidos y biofertilizantes gracias a la acción de microorganismos que actúan durante la ausencia de oxígeno. Sin embargo, se han realizado investigaciones en donde se da a conocer la presencia de microorganismos patógenos (bacterias, virus, levaduras y hongos) que resisten a dichos procesos de fermentación y que pueden ser diseminados en suelos agrícolas y en el agua, ya que no cuentan con especificación sanitaria o incumplen la normatividad vigente, por lo que se podría generar un impacto en los suelos, así como el agua y el aire, y con ello poner en riesgo a los seres vivos.

La presente revisión de la literatura muestra la presencia y persistencia de ciertos microorganismos patógenos (bacterias y virus) en subproductos, generados a partir de la biodigestión anaeróbica, aun cuando se sugiere su uso para transformar los residuos orgánicos generados en las UPP, también se observan deficiencias en las políticas públicas con relación a la gestión medioambiental y la gestión de residuos orgánicos.

Palabras clave: Biosólidos, Excretas porcinas, Microbiología, Fermentación anaerobia.

Abstract. Anaerobic digestion is a bioreaction process that converts organic waste generated in swine production units (UPPs) into energy (biogas), biosolids and biofertilizers thanks to the action of microorganisms in the absence of oxygen. However, several works have shown the presence of pathogenic microorganisms (bacteria, viruses, yeasts and fungi), which resist these fermenta-

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CDMX.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CDMX.

* Autora de contacto, e-mail: adelfa@correo.xoc.uam.mx.

tion processes and can be disseminated in agricultural soils, water. Apart from non-compliance of current regulations, they can put human and animal health at risk due to their presence in water and air, which would.

The present literature review shows that even under anaerobic fermentation processes, pathogenic microorganisms persist and can be considered a biological hazard for animal, plant and human health depending on the concentration of particles.

Key words: Biosolids, Swine faeces, Anaerobic fermentation.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la porcicultura ha ocasionado un aumento en la producción de excretas, las cuales no son tratadas adecuadamente y se vierten sobre los suelos sin considerar que pueden contener exceso de nutrientes, como fósforo, nitratos, nitritos, ortofostatos y amoníaco, los cuales, por lixiviación y eutrofización, se filtran a los mantos freáticos. Adicional, al impacto ambiental negativo debido a la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, entre otros) (De Alba, 2019).

La gestión de los residuos orgánicos de origen ganadero se ha convertido en un grave problema debido, básicamente, a la separación progresiva de la explotación ganadera y la agrícola, ya que la mayoría de las Unidades de Producción Porcina (UPP) no poseen una base territorial suficiente para gestionar y, en el mejor de los casos, reutilizar los residuos ganaderos (Bragachini *et al.*, 2016). Esto, aunado a la disminución y lejanía de la superficie agrícola útil y el aumento de la densidad animal en las UPP's, hace que el sector ganadero sea una de las industrias con mayor problemática de gestión de residuos (Negrin y Jiménez, 2012; De Alba, 2019).

Los residuos ganaderos contienen diversos patógenos que pueden dañar la salud humana, vegetal y animal, los más importantes son las bacterias, virus, hongos y levaduras, metales pesados y disruptores hormonales, que han resultado ser de difícil eliminación y control en las UPP's mediante el desarrollo de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP), por lo que el uso de biotecnologías amigables con el ambiente son una excelente opción para mitigar el daño ocasionado, principalmente en el agua (Senasica, 2016).

De acuerdo con un estudio realizado por Manser *et al.* (2015), el uso de reactores anaeróbicos ha logrado una disminución significativa de patógenos, como *Salmonella* y *E. coli*, en una etapa mesofílica. Sin embargo, para el virus de la diarrea epidémica

porcina, la temperatura es el factor más importante para lograr su inactivación, por lo que puede variar desde los 20°C hasta los 71°C, dependiendo el tiempo de exposición (Thomas *et al.*, 2015).

Residuos orgánicos de la producción porcina

La contaminación ambiental, a causa de un mal manejo de los residuos orgánicos, ha ido en aumento, tal como se detalla en el informe sobre la caracterización y gestión de los residuos en América del Norte (2017). En este informe, se argumenta que México tiene una producción de residuos orgánicos de 35.8 millones de t/año, y sólo 2.5 de estos residuos orgánicos son reutilizados para algún fin. Sin embargo, en el mismo informe se destaca que son datos estimados, debido a la falta de información de sectores como el agropecuario. También se abordan los diversos tratamientos (digestión anaerobia, composta y lagunas) eficaces para la reutilización de los residuos en los tres países de América del Norte (Canadá, Estados Unidos y México), cada uno de los cuales juegan un papel importante en el desarrollo de políticas internacionales que sean efectivas y descriptivas para el adecuado manejo de los residuos orgánicos en la zona (CCA, 2017).

Dentro de la normatividad mexicana, se encuentra la Norma Oficial Mexicana, Protección Ambiental. Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final al respecto del manejo y uso de los residuos (NOM-004-SEMARNAT-2002), la que tiene como objetivo regular los residuos provenientes del alcantarillado urbano o municipal que reciben aguas residuales. Es de esta norma de donde se obtiene la definición de los términos de “lodos” y “biosólido”, estos últimos considerados como residuos que pueden ser procesados para su estabilización y control (digestión aerobia, digestión anaerobia o estabilización alcalina), evitando con ello una posible contaminación, y posibilitando su uso como mejoradores o acondicionadores de suelos dado su contenido de materiales orgánicos y nutrientes. Por otra parte, el método convencional de disposición final de los lodos es el relleno sanitario, lo cual provoca riesgos ambientales, debido a procesos de eutrofización por el exceso de nutrientes, como nitratos, metales pesados y compuestos orgánicos, los cuales pueden llegar a los mantos acuíferos (Potisek-Talavera *et al.*, 2010).

Los biosólidos, que son utilizados como mejoradores de suelos con fines agrícolas y forestales, se encuentran en el nivel C (Cuadro 1) de la clasificación realizada en la NOM-004-SEMARNAT-2002, en donde se establecen los límites máximos que no deben excederse de contenido mineral, microbiológico y parasitario, con la finalidad de prote-

ger el medio ambiente y la salud agrícola, humana y pecuaria, sin embargo, en la norma no se hace referencia a los residuos orgánicos generados por las actividades pecuarias y los límites máximos permisibles que deben cumplir.

Cuadro 1. Clasificación de biosólidos y límites máximos permisibles de contaminantes

Clasificación de biosólidos*					
Clase A: Para usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación					
Clase B: Para usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación					
Clase C: Aprovechamiento como mejoradores de suelos, fines agrícolas y/o forestales					
Límites máximos de contaminantes en los biosólidos Clase C					
Metales pesados (mg/kg base seca)		Coliformes fecales (NMP/g base seca)	<i>Salmonella</i> spp. (NMP/g base seca)	Huevos de helminto/g en base seca	
Arsénico	41-75	Menor a 2, 000, 000	Menor de 300	Menor de 35	
Cadmio	39-85				
Cromo	1200-3000				
Cobre	1500-4300				
Plomo	300-840				
Mercurio	17-57				
Níquel	420				
Zinc	2800-7500				

NMP=Número Más Probable.

*Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

En el año 2019, en el estado de Jalisco se produjeron 3,719,870 cerdos, de acuerdo al último informe del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019), por lo que la cantidad de los residuos orgánicos producidos en las UPP's (excretas, purines, lodos, aguas residuales, placenta, ombligos, orines y restos de alimento), lo que obligó a productores y autoridades a desarrollar y publicar una Norma Estatal, la cual detalló el tipo de tratamiento que debía emplearse para el manejo de los residuos orgánicos porcinos, asumiendo que la densidad animal es un factor fundamental, así como la disposición final de los subproductos generados de estos procesos (NAE-SEMADES-003/2004). También existe una norma estatal (NAE-SEMADES-004/2004), en la que se establece el proceso por el cual se debe realizar la inhumación de los cadáveres porcinos, cuya muerte no haya sido causada por enfermedades infectocontagiosas y/o parasitarias.

Por su parte, en la normativa nacional concerniente a las aguas residuales (NOM-001-ECOL-1996), se detallan no sólo los sistemas para reutilizarlas, sino también los límites máximos permisibles de contaminantes para evitar que, al verterla a los cuerpos de agua y bienes nacionales, no se produzca daño ecológico, reduciendo con ello la diseminación de microorganismos patógenos que ponen en riesgo a los individuos que tienen contacto con ellas además del suelo, agua y productos alimenticios contaminados.

En el Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Granjas Porcinas (MBPP) (Senasica, 2016) se denominan como desechos a los animales muertos, sacrificados, fetos, placentas, excretas, purines, entre otros, lo cual debería ser sustituido por el término de residuo, el cual está contemplado en la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos. Esto no es un asunto menor, ya que el término desecho no implica un sistema de reciclamiento que, según sea el caso, puede llegar a ser la base de un sistema de composteo, evitando así que los cadáveres sean potencialmente contaminantes ambientales y reservorios de enfermedades.

Los productos generados en las granjas porcinas corresponden a residuos que deben recibir un manejo especial (Figura 1), ya que incluyen excretas, orina, agua de bebida, alimento, tejidos, aguas de consumo y de primer contacto, entre otros residuos de tipo orgánico (Guevara *et al.*, 2012). Todos estos residuos orgánicos, en algunas granjas, son conducidos a sistemas de almacenamiento o contención (lagunas, fosas sépticas o reactores anaeróbicos) (Senasica, 2016), aunque esto no es obligatorio, por lo que sólo se pone atención en el manejo de las aguas residuales (MBPP).

La Encuesta Nacional Agropecuaria (Inegi, 2019) arrojó que, para el año 2017, sólo 1.59% de los biosólidos (excretas y purines) se transformaron, siendo el compostaje uno de los mecanismos más utilizados, con el objetivo de proteger el medio ambiente. Además, en la encuesta se reportan otras acciones importantes de apoyo a la gestión ambiental por parte de las UPP's, como el cuidado y uso eficiente del agua, el tratamiento de las excretas por reactores para la producción de biofertilizantes, así como el cuidado y restauración de suelos (Cuadro 2).

Figura 1. Clasificación de los residuos, según su origen y tipo

Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final

Residuos de Manejo Especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos

Residuos Incompatibles: Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos

Residuos Peligrosos: Aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se

Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques

Adaptado: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003.

Cuadro 2. Acciones para protección al medio ambiente a través del reúso de los residuos orgánicos, según la Unidad de Producción Pecuaria (UPP)

Acciones	Promedio nacional (%)
Disminución del consumo de agua	20.69
Tratamiento de excretas y aguas residuales	1.59
Producción de composta con residuos orgánicos	6.71
Aplicación de obras de conservación y restauración de suelos	8.11

Fuente: INEGI, 2019.

Producción de excretas porcinas

El alojamiento de animales con alta densidad, en pequeñas áreas de tierra, ha dado lugar a la generación, acumulación y eliminación de grandes cantidades de residuos (Ejarque *et al.*, 2019). Dentro de la UPP's, la producción de excretas ocupa la proporción más alta de residuos y que son causantes de enfermedades infecciosas, provenientes de los animales enfermos, aunque clínicamente se observen sanos. Además, las excretas producen malos olores debido a la emisión de gases, así como contaminación por antimicrobianos, nutrientes, material orgánico e inorgánico.

La producción de excretas en una UPP depende de diversos factores, como la edad y género: en hembras el requerimiento nutricional es variable dependiendo de la etapa fisiológica en la que se encuentren (lactancia, gestación o hembras de reemplazo), cantidad y tipo de alimento (seco o húmedo) que se les otorga, así como la calidad del mismo (digestibilidad) (Antezana, 2016), cantidad de agua ingerida, clima (tropical, seco, templado, polar), estado de salud, número de animales, entre otros (Campos, 2001; Senasica, 2016). Por ello, la producción calculada de residuos orgánicos en UPP varía. Vera-Romero *et al.* (2014) clasificaron, por edad y talla de los cerdos, los residuos producidos (excretas) en cantidad y calidad por día.

Considerando que la cantidad de excretas producida por animal depende del tipo de dieta y la digestibilidad de la misma, la Universidad Estatal de Oklahoma (OSU, 2015) dio a conocer la producción de excretas porcinas por etapa fisiológica y peso vivo

del animal (P.V), utilizando una dieta a base de maíz (Cuadro 3), asimismo, se observa la producción de sólidos volátiles y la relación de C:N.

Cuadro 3. Producción diaria de excretas porcinas utilizando una dieta a base de maíz.

Componente	Recria	Crecimiento (22.5 – 55.5 kg de P.V)	Finalización (56.5 – 80 kg de P.V)	Finalización (81 – 115 kg de P.V)	Hembras de reemplazo	Machos (verracos)	Hembras gestantes	Hembra + camada
Cantidad de excretas								
Peso (gr)	1.67	2.71	3.62	4.25	3.71	3.71	3.71	11.77
Volumen (m³)	.0015	.0026	0.0036	.0042	0.0036	0.0036	0.0036	.011
Sólidos totales (gr)	.167	.27	.362	.425	.371	.344	.339	1.177
Materia orgánica								
Sólidos volátiles (gr)	.140	.244	.326	.385	.330	.308	.294	1.041
DQO (gr)	.154	.27	.371	.434	.353	.249	.326	1.132
Relación C:N	8	7	7	7	7	6	6	7

DQO: Demanda Química de Oxígeno; Relación C:N: Relación Carbono: Nitrógeno; P.V.= Peso vivo
Adaptado: OSU, 2015.

Manejo y gestión de residuos orgánicos de UPP

El principal problema para la gestión de los residuos de las UPP's, no es tanto la cantidad total, sino la excesiva concentración en determinadas áreas, lo que supera la capacidad de aceptación del medio (Campos, 2001).

En el Art. 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF 02-05-2015) se describe lo que es considerado como un residuo (Figura 1). Se incluyen a los orgánicos generados en la producción ganadera, en la clasificación de los "Residuos de Manejo Especial" (RME). INECC y Semarnat (2013) realizaron un estudio en México, en donde se calculó la producción de RME, entre los cuales están

las excretas, señalando que en seis años (2006-2012) se produjo una media de 66,708.27 t año⁻¹, de las cuales 18,547.36 ton año⁻¹ corresponden a los porcinos. Adicional, y derivado de la clasificación de los residuos (Fig.1), se caracterizó el lugar de generación de los mismos dentro de una UPP, por tanto, los RME se generan en casetas de producción, proceso de limpieza de jaulas, fosa de almacenamiento de excretas y aguas residuales, reactores anaeróbicos y/o plantas de tratamiento de aguas residuales. Los RP (Residuos peligrosos) son producto de las casetas de alojamiento, área de enfermería o sanidad preventiva, mantenimiento de equipos mecánicos y elementos utilizados para control de fauna nociva y taller mecánico para el servicio de equipos, y por último, los RSU (Residuo Sólido Urbano) son elementos generados por el personal que labora dentro de granjas, oficinas, baños y comedor comunitario (De Alba, 2019).

Inocuidad de los biosólidos producidos en la UPP

Se estima que en México se genera una producción de 480 mil toneladas al año en base seca del subproducto denominado biosólido (Mejía, 2009), y se tiene un cálculo en el incremento de los biosólidos para el año 2030, a niveles de 880 mil toneladas por año (Rojas y Mendoza, 2012), de origen urbano. No existe información certera sobre la producción de biosólidos producidos por la industria pecuaria.

Los biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrientes, que al ser aplicados al suelo se espera favorezcan la fertilidad edáfica, ya que los biosólidos recuperan la capacidad productiva de los suelos, logrando con ello una reducción en el uso de fertilizantes químicos (Alvarado *et al.*, 2017). Según su procedencia, pueden tener una composición diferente, pero en casi todos se encuentran metales pesados, bacterias y otros microorganismos patógenos e incluso gases, como producto de su descomposición con un consecuente mal olor, aunado a que también son considerados como generadores de altos índices de emisiones de metano (Rojas y Mendoza, 2012). Los biosólidos producidos en cualquier sistema de producción pecuario contienen microorganismos, elementos tóxicos, minerales y nutrientes, los cuales son potencialmente peligrosos para la salud de las personas y de la población asociada con los patógenos microbianos (Alfaro *et al.*, 2015). Por ello, Morales (2014) señala que cualquier desecho relacionado con excretas y efluentes que no hayan recibido tratamiento, presentan microorganismos que pueden ser potencialmente patógenos y ponen en riesgo la salud de los individuos involucrados (Hutchison *et al.*, 2005), ya sea por contacto directo, o a través de vectores como las ratas, perros o insectos (Mantilla *et al.*, 2017).

Por otra parte, el hecho de que aun cuando las UPP's cuenten con sistemas de tratamiento de residuos, no siempre son eficientes, ya que depende del microorganismo y su patogenicidad, así como de aspectos ambientales que pueden ayudar a difundirlos, o a los sistemas de deposición y uso de los residuos (Cuadro 4) (Salazar y Salgado, 2015).

El uso de biosólidos en cultivos de alimentos que se encuentran contaminados por bacterias, virus, hongos, levaduras y/o parásitos, debe ser cuidadoso, por lo que la aplicación de los biosólidos debe hacerse bajo las condiciones más estrictas de inocuidad, y en los momentos apropiados para que no exista posibilidad de que se consuman productos agrícolas contaminados (Polit, 2005). En la fertilización de suelos agrícolas, que son utilizados para la producción intensiva de alimentos para animales y humanos, es común utilizar excretas, efluentes y purines, por lo que, esta actividad ha aumentado en las tres décadas previas, ya que la producción pecuaria y agrícola orgánica se basa en el uso de biosólidos (Alfaro y Salazar, 2015).

Cuadro 4. Supervivencia esperada de diferentes patógenos según el medio en el que se encuentran

Tipo o Fuente	Microorganismos involucrados			
	<i>Salmonella sp</i>	<i>E. coli</i>	<i>M. avium spp. paratuberculosis</i>	Virus
Purín	120 días	60-90 días	1 año	1 año
Excretas	120 días	35 días	1 año	1 año
Suelo	+150 días	+200 días	+ 1 año	1 año
Agua	16-120 días	16-35 días	9-13 meses	1 año
Plantas	+35 días	180 días	+180 días	1 año

Fuente: Salazar y Salgado (2015).

Los biosólidos son un hábitat óptimo para que insectos, como las pulgas (*Siphonaptera*) y mosca doméstica (*Musca domestica*), se conviertan en vectores de enfermedades, las cuales pueden infectar a animales y a humanos (zoonosis) a través de la contaminación de los productos cultivados, pero también por medio del contacto directo con ellos (DGFPSC, 2006). En los depósitos o almacenamientos de estiércol, el dióxido de carbono, (CO₂) pro-

ducido por la actividad microbiana, es el responsable de que baje el nivel de oxígeno. Al tratarse de un gas más denso que el aire, se acumula en las áreas deprimidas, como en el fondo de los depósitos y balsas, desplazando al oxígeno y provocando el desvanecimiento e incluso la muerte del trabajador que allí se encuentre (Ribeiro, 2017).

La comunidad europea (RD 664/1997) tiene una clasificación en cuatro grupos de los riesgos por agentes biológicos cuando se utilizan biosólidos, la cual está asociada al potencial que tienen los microorganismos de los biosólidos de producir, contagiar y propagar infección, dicha clasificación sirve para identificar las posibilidades de prevenir y tratar estos riesgos (Cuadro 5), dicho decreto sigue vigente en el año 2021.

Cuadro 5. Riesgos ocasionados por la aplicación de biosólidos

Grupo	Riesgo
1	Agentes biológicos que resulte poco probable que causen enfermedad en el hombre.
2	Agentes biológicos que pueden causar una enfermedad en el hombre, y suponen un riesgo laboral; pero es poco probable que se propaguen a la colectividad y se cuenta con profilaxis o tratamiento.
3	Agentes biológicos que causan enfermedades graves en el hombre y un serio peligro laboral; con riesgo de propagación y transmisión. Existen generalmente profilaxis y tratamiento eficaz.
4	Agentes biológicos que causan una enfermedad grave en el hombre y un serio peligro para los trabajadores. Con alta probabilidad de propagación a la colectividad, y no existen profilaxis y/o tratamiento eficaz.

Fuente: RD 664/1997.

Dada la naturaleza de deyecciones, el riesgo biológico asociado al manejo de purín o estiércol es extremo debido a la carga microbiológica, de hasta un tercio de la masa total. Las especies patógenas que son posibles encontrar en las deyecciones animales, y que se pueden transmitir al hombre por inhalación, ingestión, contacto o corte, se muestran en el Cuadro 6 (Ribeiro, 2017).

Cuadro 6. Patógenos que se pueden encontrar en las deyecciones de los animales

Bacterias	Protozoos	Helmintos
<i>Escherichia coli</i> O157: H7, <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Clostridium tetani</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Balantidium sp.</i> , <i>Giardia lamblia</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Entamoeba polecki</i> .	<i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Fasciola hepática</i> , <i>Taenia saginata</i> , <i>Taenia solium</i> , <i>Equinococcus granulosus</i> , <i>Equinococcus multilocularis</i> .

Fuente: Ribeiro, 2017.

En México, no hay normatividad para coliformes totales en lodos, pero este grupo de microorganismos funcionan como alerta de contaminación, aunque identificar su origen es casi imposible, tienen poca utilidad como indicadores de contaminación fecal, sin embargo, los coliformes totales ayudan a evaluar la eficiencia en las plantas de tratamientos de aguas residuales. Por su parte, Alvarado *et al.* (2017) señalan que los coliformes fecales son indicadores de contaminación fecal en aguas residuales, debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras.

De forma general, se puede señalar que los biosólidos no pueden ser clasificados en ninguna de las clases indicadas en la NOM-004-SEMARNAT-2002, debido a que no cumplen con la totalidad de parámetros establecidos (Alvarado *et al.*, 2017).

Agentes patógenos

El parámetro de inocuidad en biofertilizantes se refiere a eliminar la posibilidad de que cause daños a la salud humana, animal o vegetal, para ello se deben eliminar los agentes patógenos (OPS, s/f; Cancino-Mendez *et al.*, 2018). Entre los patógenos de interés epidemiológico presentes en purines de cerdos en México, destacan las bacterias asociadas a problemas respiratorios y sistémicos (*Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Mycobacteriaceae*, *Pasteurella*, *Bordetella*, *Glaeserella parasuis*, *Erysipelothrix rhusiopathiae*), las asociadas a problemas diarreicos (*Lawsonia intracellularis*, *Brachyspira hyodysenteriae*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella spp.*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes* y *Campylobacter*

spp.) y las causantes de problemas reproductivos (*Brucella spp* y *Leptospira spp.*) (Roberts *et al.*, 2016). Los coliformes fecales (*Escherichia*, *Klebsiella*) se definen, según la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, como bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos y, por tanto, se presentan en los purines y en los biosólidos. Son Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termo tolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44°C-45°C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C (Cancino-Méndez *et al.*, 2018). Sin embargo, existe una gran cantidad de virus que están presentes en las excretas, efluentes y purines y que son potencialmente peligrosos (Rubulavirus porcino, Coronavirus, PRRS, influenza, alfavirus, circovirus, rotavirus). También, hay que considerar a los parásitos (*Ascaris suum*, *Trichuris suis*, *Taenia solium* y *Toxocara spp.*) que afectan a los cerdos y que son difíciles de eliminar, dada su larga sobrevivencia en purines, excretas y efluentes (Graczyk *et al.*, 2008).

Los principales factores que afectan la supervivencia de los agentes patógenos en el medio ambiente son: exposición a rayos solares ultravioleta, deshidratación, aumento de la temperatura, pH extremos y elevada concentración de amoníaco (NH₃) (Cuadro 7). La importancia sanitaria que adquiere esta problemática es la transferencia de agentes patógenos altamente infectocontagiosos para los animales y potencialmente zoonóticos para el humano, dadas las malas prácticas ganaderas como el contacto directo con heces y la contaminación de alimentos o agua de consumo con purines (Salazar y Salgado, 2015).

Cuadro 7. Supervivencia de patógenos en el medio ambiente

Parámetros	Impacto en el patógeno
Temperatura	La mayoría de microorganismos sobrevive bien a temperaturas de 50-40°C. En procesos de compostaje se necesitan temperaturas alrededor de los 65-55°C para eliminar patógenos (excepto esporas bacterianas y microorganismos termorresistentes) en pocas horas. Se recomienda mantener estas temperaturas por al menos una semana.
pH	Las condiciones altamente ácidas o alcalinas tendrán un efecto inactivador. La adición de cal a estiércol, heces secas o lodos residuales incrementará el pH e inactivará a los patógenos. La velocidad de inactivación incrementará con un pH alcalino

Amoníaco	La adición de químicos generadores de amoníaco facilitará la inactivación de patógenos en la excreta o lodos residuales.
Humedad	La humedad está relacionada con la supervivencia del organismo en el suelo y en las excretas; mientras que un proceso de secado reducirá el número de patógenos.
Radiación Solar / Rayos UV	La radiación ultravioleta reducirá el número de patógenos. Esta tecnología es usada como un proceso para el tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales.
Presencia de otros microorganismos	Los microorganismos pueden afectarse unos a otros por depredación, liberación de sustancias antagónicas o competencia.
Nutrientes	La bacteria entérica adaptada para desarrollarse en el tracto gastrointestinal no es siempre capaz de competir con los organismos nativos por los escasos nutrientes, limitando su habilidad de reproducirse y de sobrevivir en el ambiente.
Oxígeno	La actividad microbiana depende de la disponibilidad de oxígeno. En suelos compactados, así como en ambientes húmedos o en aguas residuales, la baja disponibilidad de oxígeno puede afectar la supervivencia de patógenos aeróbicos.

Fuente: Salazar *et al.* (2015).

Reactores anaerobios

Son parte de los tratamientos utilizados en la industria porcina para reutilizar los residuos orgánicos (excretas, purines, aguas residuales). En México, el uso de los reactores anaerobios tienen relativamente poco tiempo, ya que no fue sino hasta finales de la primera década del siglo XXI que los reactores anaeróbicos se difundieron en las UPP's, llegando a tener del año 2008-2011 un total de 386 reactores anaerobios distribuidos en toda la República Mexicana, siendo el estado de Yucatán con la mayor distribución (86), sin embargo, sólo 8% de las UPP's dentro del país cuentan con un sistema de digestión anaerobia (INECC y Semarnat, 2013).

En la agricultura familiar o de traspatio el uso de reactores anaeróbicos ha sido de gran beneficio para los pobladores, ya que se ha constituido como una fuente de energía y fertilizantes orgánicos. Dos Santos *et al.* (2017) demostraron la viabilidad y funcionalidad de reactores anaeróbicos usando como sustrato las excretas porcinas y purines sin tener que realizar una inversión monetaria alta, utilizando los recursos de la región para poder construir y adoptar dicha tecnología.

En un estudio realizado por Li *et al.* (2015) se evaluaron las características fisicoquímicas y la cinética química que presentaban diferentes excretas animales, provenientes de vacas lecheras, aves, conejos y porcinos a diferentes concentraciones (8, 16, 32 y 64 g de sólidos volátiles L⁻¹) de materia orgánica y su transformación por un proceso anaeróbico; determinaron que las excretas porcinas fueron las que obtuvieron mayor porcentaje de biodegradabilidad (95%) de los nutrientes, así como una mejor producción de metano, en comparación con las excretas de bovinos (61%), las cuales contenían un mayor porcentaje de fibra.

Blanco *et al.* (2015) examinaron la transformación de los compuestos biológicos en dos UPP's con diversas densidades poblacionales de animales (20,000 y 1,300 respectivamente); la UPP con menor cantidad de animales fue la que mayor Demanda Química de Oxígeno (DQO) (15,928 mg L⁻¹), presentó, sin embargo, los porcentajes de remoción de materia orgánica más altos (90%) cuando existen 20,000 cabezas.

Digestión anaeróbica

La degradación de la materia orgánica por vía anaerobia se realiza en tres etapas: hidrólisis, fermentación (conocida como acidogénesis) y metanogénesis. En la hidrólisis, la materia particulada (proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos) se convierte a compuestos solubles que se hidrolizan a simples monómeros (monosacáridos, aminoácidos, purinas, pirimidinas y ácidos grasos). Es un proceso de biorreacción que permite convertir los purines de cerdo en energía (biogas), así como materiales útiles para suelos agrícolas (biofertilizantes y posibles sustratos en procesos agropecuarios y agroindustriales) (Rivas *et al.*, 2010). Existen ciertos factores que podrían afectar o beneficiar la fermentación, entre los que destacan: la disponibilidad y calidad de nutrientes, tiempo de retención hidráulica (TRH), temperatura, pH, así como el tiempo de permanencia de los purines dentro del biodigestor (Apples *et al.*, 2008).

La carga de materia orgánica, amoníaco libre y ácidos grasos volátiles (AGV) que ingresan al reactor son factores importantes para establecer el tiempo de retención hidráulica (TRH). Solé-Bundó *et al.* (2018) señalaron que la materia orgánica debe estar dentro del reactor al menos 20 días, ya que es importante que el amoníaco libre sea controlado, y por tanto el pH y la temperatura sean estables (Campos, 2001), incluida la DQO y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV). Si todos estos elementos son estables, la eficiencia en la digestión en el RA será satisfactoria y la actividad bacteriana estará controlada (Wijekoon *et al.*, 2011; Sarabia *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2018). En reactores

de flujo continuo, la eliminación de bacterias como *L. intracellularis*, *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella* spp, mesófilos aerobios, Clostridium sulfito reductores, coliformes totales y coccidias, es prácticamente imposible, lo que hace que represente un riesgo sanitario el uso de sus efluentes como *biol* o fertilizante (Galindo-Barboza *et al.*, 2020). En el caso de que el amoníaco libre disminuya, el pH puede bajar debido a la acumulación de AGV (principales intermediarios del proceso), lo cual pone en riesgo el proceso anaeróbico (Campos, 2001).

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes, ya que contribuye al crecimiento o inhibición de microorganismos (Reyes, 2017). Auffret *et al.* (2019) determinaron el impacto de la temperatura estacional (4° a 25°C) en reactores anaeróbicos en una etapa mesofílica, y los cambios en las características físico-químicas de los subproductos obtenidos de la digestión anaerobia en excretas porcinas y bovinas, no obstante, no se observaron cambios en los minerales (Cu y Zn) ocasionados por las variaciones de temperatura. Se debe proveer una temperatura homogénea en los reactores anaeróbicos, por tanto, existen tres rangos de temperatura ideales en los que deben funcionar, y en los que los microorganismos anaeróbicos realizarán la fermentación: temperatura psicrófila, por debajo de 25°C; mesofílica, entre 25 y 45°C, y termofílica entre 45 y 65°C (FAO, 2011).

Aun con las ventajas de un digestor termofílico para conseguir una mayor velocidad del proceso y, a la vez, un aumento en la eliminación de organismos patógenos, éste suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta, además, mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga. En el Cuadro 8 se muestran los rangos de temperatura a la que operan los distintos tipos de reactores (Mantilla *et al.*, 2017).

Cuadro 8. Temperatura en los reactores y tiempo de fermentación anaeróbica

Tipo de reactor	Rasgos de temperatura (°C)			Tiempo de fermentación anaeróbica (días)
	Mínimo	Óptimo	Máximo	
Psicofílico	4-10	15-18	20-25	<100
Mesofílico	15-20	25-35	35-45	30-60
Termofílico	25-45	50-60	75.80	10-15

Fuente: Mantilla *et al.*, 2017.

Actividad viral en los procesos de biodigestión anaerobia

Con respecto a los virus, resulta complejo especificar si el origen de los mismos, y que han sido encontrados en los residuos biológicos, son provenientes de animales o humanos, ya que en muchas ocasiones el purín animal se mezcla con aguas residuales producidas por humanos (Yates y Yates, 2007; Ziemer *et al.*, 2010). Sin embargo, es importante señalar que los virus, por su naturaleza, muestran diferente comportamiento por su asociación con sólidos en suspensión, temperatura ambiente, pH, metabolitos volátiles y disueltos, la presencia de diversos microbios y por la presencia de detergentes y desinfectantes disueltos en las excretas (Pesaro *et al.*, 1995).

Fongaro *et al.* (2014) estudiaron el comportamiento de virus gastroentéricos –Virus de la enteritis porcina; Norovirus porcino (PoNoVs), Sapovirus porcino (PoSaVs), Rotavirus (RV-A, RV-B, y RV-C– presentes en excretas frescas y tratadas, debido a su alta patogenicidad y prolongada infectividad, a su estabilidad en el ambiente, resistencia a desinfectantes, y sin dejar de lado su actividad zoonótica, observando que los virus tienen diferente comportamiento, ya que los tratamientos aplicados a las excretas pueden afectar la presencia del material genético viral y la detección de partículas virales infecciosas. La presencia de virus en las excretas y en los purines también está asociada al origen por etapa productiva de los cerdos, lo cual debe considerarse al momento de establecer el proceso de biodigestión en reactores anaeróbicos (Pesaro *et al.*, 1995; Fongaro *et al.*, 2014), ya que en cada etapa productiva la carga viral y la especie viral puede ser diferente.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el reactor y la temperatura inicial a la que son sometidos los residuos orgánicos impactan en la eliminación de los virus. Lund *et al.* (1996) señalaron que para eliminar el parvovirus porcino se requiere una temperatura de 55°C durante las primeras 12 horas de permanencia en el reactor, y mantenerse a esa temperatura durante al menos 4 horas. Sin embargo, en reactores de flujo continuo las temperaturas pueden variar y eso podría afectar la eliminación de los virus.

La temperatura para poder inactivar un virus puede ser desde los 20°C, durante al menos siete días, a través del calor generado en las áreas donde alojaron experimentalmente a los cerdos; mientras que a 71°C, durante 10 min, en remolques metálicos motorizados (tráileres) y/o superficies metálicas se podrá inactivar el virus de la Diarrea Epidémica Porcina (Thomas *et al.*, 2015). El circovirus y adenovirus porcino han mostrado ser resistentes a cambios de temperatura en el ambiente, así como a procedimientos de desinfección (Viancelli, 2013; Fongaro *et al.*, 2016), y esto muestra un aspecto negativo del proceso de biodigestión, ya que para su eliminación debe existir una temperatura por

arriba de los 50°C. No obstante, en el caso del virus del Síndrome Respiratorio y Reproductivo Porcino (PRRS), la utilización de ozono, luz ultravioleta y una mezcla de desinfectantes ha logrado disminuir la carga viral a los 10 min de su aplicación (Yong-Dae y Won-Il, 2013), mientras que el *Rubulavirus porcino*, agente etiológico de la enfermedad de Ojo Azul, puede ser inactivado a una temperatura de 70°C durante 20 min, según lo reportado por Borraz-Argüello *et al.* (2008).

Por otra parte, existen datos en donde se señala la persistencia del *Rubulavirus porcino* en el semen de machos, que puede prolongarse durante 60 días post-infección (Rivera-Benítez *et al.*, 2013), por lo que los residuos de los eyaculados y agua residual, producto de la limpieza del material en contacto, puede contaminar los purines y, por tanto, infectar los biosólidos que ingresan al biorreactor.

Con relación a enterovirus bovino, en un estudio realizado por Ligocka *et al.* (2016) se determinó la efectividad que tienen dos tipos de tecnologías en la inactivación de este virus: composta y digestión anaerobia, esta última, al ser un proceso que al menos tiene un TRH de más de 10 días, es eficaz para la inactivación de enterovirus bovino proveniente de desechos cárnicos bajo condiciones termofílicas de 55°C, mientras que en condiciones mesofílicas (37°C), a los 28 días, no se detectaron partículas víricas viables.

Bacterias persistentes a procesos de biodigestión anaerobia

Varios géneros de bacterias patógenas han sido identificados en membranas de filtración de biorreactores, tales como *Acinetobacter*, *Pseudomonas* y *Stenotrophomonas*, mismas que tienen la capacidad de nitrificar el medio en el que se desarrollan, sin embargo, el uso de membranas en los reactores anaerobios puede ser útil en un proceso previo a la fermentación anaerobia, ya que su aplicación permite la retención de partículas víricas o bacterianas debido al poro que tiene la membrana (Harb y Hong, 2017). Asimismo, existe la codigestión anaerobia de excretas ovinas, excretas porcinas y agua destilada, no obstante, se puede observar la presencia de microorganismos patógenos como *Staphylococcus* y *Salmonella spp.*, coliformes totales y coliformes fecales en un biofertilizante líquido (Medina *et al.*, 2015).

El análisis de aguas residuales provenientes de granjas porcinas señala la necesidad de aplicar diferentes tratamientos para la eliminación de coliformes totales, tal es el caso de la digestión aerobia y anaerobia, en la que se puede observar una reducción de 2.4×10^8 a 1.7×10^3 NMP 100 ml⁻¹, en una UPP con una población animal de 20,000, mientras que, en una UPP con menor densidad animal (1,300 animales), se observa una

disminución de 4.2×10^7 a 2.7×10^3 NMP 100 ml⁻¹. Por los resultados antes señalados, se puede establecer que el hecho de tener una densidad animal menor, no necesariamente reduce la producción de coliformes totales (Blanco *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

La normatividad nacional vigente no está relacionada con la gestión de los residuos orgánicos de granja porcina, y el uso de reactores anaeróbicos en México es limitado, aun con el efecto benéfico de su uso en el medio ambiente, adicional a la obtención de subproductos que tienen un valor agregado y pueden beneficiar la economía de las UPPs. Aunque es necesario considerar que el proceso de fermentación anaerobia ha resultado ser ineficiente, ya que se ha demostrado que en los biosólidos persisten microorganismos patógenos (bacterias y virus), así como la persistencia que poseen ante condiciones físicas, químicas y/o ambientales, representando un peligro para el medio ambiente y los seres vivos por su distribución indiscriminada en suelos agrícolas. Es por esto, que se debe enfatizar la vigilancia y observancia continua de los reactores anaerobios para obtener un producto inocuo y para proteger el ambiente, la salud humana y animal.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el patrocinio económico brindado para la realización de este proyecto, así como de los proyectos institucionales financiados dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana, asimismo al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en especial al Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias Microbiología y al grupo de colaboradores por su constante aporte científico para la culminación de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. *et al.* (2015). "Tratamientos para reducir la carga de patógenos en purines", en Salazar, F. y V. Alfaro, *Buenas prácticas ganaderas para reducir la carga de patógenos en purines* (27-42). México: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Alvarado, J. *et al.* (2017). "Contaminación potencial por biosólidos depositados en un campo deportivo. Biotecnia", en *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XIX(2): 13-18.
- Antezana, W. (2016). *Análisis de los factores que influyen en las emisiones de amoníaco y metano de purines porcinos: composición del purín y factores nutricionales*. Tesis de doctorado. España: Universitat Politècnica de Valencia.
- Apples, L. (2008). "Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge", en *Prog Energy Combust Sci.* 34(6): 755-781.
- Auffret, D. *et al.* (2019). "Impact of seasonal temperature transition, alkalinity, and other abiotic factors on the persistence of viruses in swine and dairy manures", en *Science of the Total Environment*, 659: 640-648.
- Blanco, D. *et al.* (2015). "Eficiencia del tratamiento de aguas residuales porcinos en digestores de laguna tapada", en *Pastos y forrajes*, 38(4): 441-47.
- Borraz, M. *et al.* (2008). "Caracterización biológica de tres aislamientos naturales de *Rubulavirus porcino* (México)", en *Revista de Biología Tropical*, 56(2): 487-99.
- Bragachini, A. *et al.* (2016). *Residuos pecuarios: una problemática que puede transformarse en oportunidad*. INTA.
- Campos, A. (2001). *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria*. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. España.
- Cancino, G. *et al.* (2018). "La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica", en *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, Instituto Tecnológico de Mérida, 33(72): 121-125.
- CCA. Comisión para la Cooperación Ambiental. (2017). *Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte*, informe sintético. Montreal. Disponible en: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11772-characterization-and-management-food-loss-and-waste-in-north-america-es.pdf> (Consultado: 16/09/2020).
- Costantini, P. *et al.* (2007). "Effects of different animal waste treatment technologies on detection and viability of porcine enteric viruses", en *Applied and environmental microbiology*. 73. (16): 5284-5291.

- De Alba, H. (2019). Caracterización de los residuos de la industria porcícola y su marco regulatorio. Disponible en: <https://www.porcicultura.com/destacado/Caracterizacion-de-los-residuos-de-la-industria-porcicola-y-su-marco-regulatorio> (Consultado: 05 /08/2020).
- DGFPCS. (2006). Agentes biológicos en las tareas agrícolas. Dirección General de la Función Pública y Calidad de los Servicios. Escuela Administración Pública. Región de Murcia. Consejería de Economía y Hacienda.
- Dos Santos, S. *et al.* (2017). “Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar. PUBVET”, en *Medicina Veterinaria e zootecnia*. 11(3): 290-297.
- Ejarque, M. *et al.* (2019). “Prácticas y usos de los residuos pecuarios de productores familiares en un valle de la Patagonia argentina”, en *Ambiente y Desarrollo* 23(44).
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2011). *Manual de biogás. Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables*. Santiago de Chile: FAO.
- Fongaro, G. *et al.* (2014). “Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes”, en *Science of The Total Environmental*, 479-480: 277-283.
- Fongaro, G. *et al.* (2016). “Settling and survival profile of enteric pathogens in the swine effluent for water reuse purpose”, en *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(9): 883-889.
- Galindo, A. *et al.* (2020). “Mitigación y adaptación al cambio climático mediante la implementación de modelos integrados para el manejo y aprovechamiento de los residuos pecuarios. Revisión”, en *Rev. Mexicana de Ciencias Pecuarías*, 11 Supl. 2: 107-125.
- Graczyk, K. *et al.* (2008). “Ocurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in seswage sludge and solid waste landfill leachate and quantitative comparative analysis of sanitization treatments on pathogen inactivation” en *Environmental Research*. Vol. 106. pp. 27-33.
- Guevara, J. *et al.* (2012). “Gestión ambiental”, en Castillo Pérez, Susana Verónica del, Ruíz, Álvaro, Hernández, Jesús y Josep Gasa (Eds.). *Manual de Buenas Prácticas de Producción Porcina. Lineamientos generales para el pequeño y mediano productor de cerdos* (78-96). Red Porcina Iberoamericana.
- Harb, M. y Hong, Y. (2017). “Molecular based detection of potentially pathogenic bacteria in membrane bioreactor (MBR) systems treating municipal wastewater: a case study”, en *Environmental Science Pollution Research*, 24(6): 5370-80.
- Hutchison, L. *et al.* (2005). “Fate of pathogens present in livestock wastes spread onto fescue plots”, en *Applied and Environmental Microbiology*, 71(2): 691-696.

- INECC, Semarnat. (2013). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. México.
- Inegi (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. México: Inegi.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación, publicado el 08 de octubre del 2003. Última reforma publicada el 19 de enero del 2018.
- Li, K. *et al.* (2015). "Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentrations", en *Bioresource Technology*, 198: 113-140.
- Ligocka, A. *et al.* (2016). "Composting and anaerobic digestion technologies as methods for reduction of virus transmission in the environment", en *Environmental Protection Engineering*, 42(2): 137-144.
- Lund, B. *et al.* (1996). "Inactivation of virus during anaerobic digestion of manure in laboratory scale biogas reactors", en *Antonie van Leeuwenhoek*, 69: 25-31.
- Manser, N. *et al.* (2015). "Semi-continuous mesophilic anaerobic digester performance under variations in solids retention time and feeding frequency", en *Bioresource Technology*, 190: 359-366.
- Mantilla, G. *et al.* (2017). *Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales*. México: Asociación Mexicana de Empresas de Agua y Saneamiento de México Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Medina, A. *et al.* (2015). "Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores", en *Anales científicos*, Perú, 76 (1): 116-124.
- Mejía, E. (2009). Academia de Ingeniería México. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20tecnicos%20y%20legales%20del%20manejo%20de%20lodos%20en%20Mexico.pdf>.
- Meng, X. *et al.* (2018). "Endogenous pH buffer system with ammonia-carbonates-VFAs in high solid anaerobic digestion of swine manure. An alternative for alleviating ammonia inhibition?", en *Process Biochemistry*, 69: 144-52.
- Morales, D. (2014). *Identificación de microorganismos patógenos e indicadores de contaminación en un biodigestor alimentado con heces de rumiantes*. Tesis Profesional. UNISON.
- NAE-SEMADES-003/2004. Norma Ambiental Estatal que establece los criterios y especificaciones técnico ambientales para la prevención de la contaminación ambiental, producida por el manejo inadecuado de los residuos orgánicos pecuarios, denominados cerdaza, generados en aprovechamientos porcícolas en el Estado de Jalisco. Fecha de publicación: 7 de febrero 2006.

- NAE-SEMADES-004/2004. Norma Ambiental Estatal que establece los criterios técnico ambientales para la prevención de la contaminación ambiental, producida por el manejo inadecuado de cadáveres porcinos, generados en aprovechamientos porcícolas en el Estado de Jalisco. Fecha de publicación: 8 de Diciembre 2005.
- Negrin, A. y Jiménez, Y. (2012). "Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L*)", en *Cultivos tropicales*, 3(2).
- NOM-001-ECOL-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF: 30 de octubre de 1996.
- OSU. (2015). Production and characteristics of swine manure. Oklahoma State University. Extension facts. Disponible en: <https://pingpdf.com/pdf-f-1735-production-and-characteristics-of-swine-manure.html> (Consultado: 09/09/2020).
- OPS. Organización Panamericana de la Salud. s/f. Educación en inocuidad de los alimentos: Glosario de términos. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10433:educacion-inocuidad-alimentos-glosario-terminos-inocuidad-de-alimentos&Itemid=41278&lang=es (Consultado: 03/12/ 2020).
- NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. DOF: 15 de agosto 2002.
- Pesaro, F. *et al.* (1995). "In situ inactivation of animal viruses and a Coliphage in nonaerated liquid and semiliquid animal wastes", en *Applied and Environmental Microbiology*, 61(1): 92-97.
- Polit, E. (2005). Inocuidad de los alimentos: Más que buenas prácticas agrícolas. Oficina de estudios y políticas agrarias. Chile. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/inocuidad-de-los-alimentos-mas-que-buenas-practicas-agricolas-2> (Consultado: 10/09/2020).
- Potisek, M. *et al.* (2010). "Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrimentos", en *Terra Latinoamericana*, (28)4: 327-333.
- RD 664/1997. Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición de agentes biológicos durante el trabajo. Real Decreto. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Reyes, A. (2017). "Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos", en *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 24: 60-81.

- Ribeiro, P. (2017). *Análisis y prevención de riesgos en el uso de fertilizantes en agricultura*. Máster en Prevención de Riesgos Laborales y Riesgos Comunes. España: Universidad Da Coruña.
- Rivas, O. *et al.* (2010). "Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad", en *Technol*, 23(1): 39-46.
- Rivera, J. *et al.* (2013). "Persistence of porcine rubulavirus in experimentally infected boars", en *Veterinary*, 162(2-4): 491-498.
- Roberts, N. (2016). "Decay rates of zoonotic pathogens and viral surrogates in soils amended with biosolids and manures and comparison of qPCR and culture derived rates", en *Science of the total environment*, 573: 671-679.
- Rojas, R. y E. Mendoza. (2012). "Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México", en *Producción + Limpia*, 7(2): 74-94.
- Salazar, F. y A. Salgado. (2015). "Manejo de purines y sus patógenos en predios lecheros", en Salazar, F. y V. Alfaro. *Buenas prácticas ganaderas para reducir la carga de patógenos en purines* (7-11). México: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sarabi, A. *et al.* (2017). "Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales", en *Rev. Int. Contam. Ambie.* 33(1): 109-116.
- Senasica. (2016). *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Granjas Porcícolas*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Sanidad Agroalimentaria. 2^{da} edición. México: Senasica.
- SIAP. (2019). *Población ganadera. Inventario 2019*. México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Solé, M. *et al.* (2018). "Strategies to optimize microalgae conversion to biogás: Co-digestion, pretreatment and hydraulic retention time. *Molecules*", 23(2096): 1-16.
- Thomas, R. *et al.* (2015). "Evaluation of time and temperature sufficient to inactivate porcine epidemic diarrhea virus in swine feces on metal surfaces", en *J. Swine Health Prod.* Vol. 23 No. 2. pp. 84-90.
- Vera, I. *et al.* (2014). "Potencial de generación de biogás y energía eléctrica parte I: excretas de ganado bovino y porcino", en *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15(3): 429-436.
- Viancelli, A. *et al.* (2013). "Performance of two swine manure treatment systems on chemical composition and on the reduction of pathogens", en *Chemosphere*, 90(4): 1539-44.
- Vicari, P. (2012). Efluentes en producción porcina en Argentina: generación, impacto ambiental y posibles tratamientos. Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Pontificia Universidad Católica Argentina.

- Wijekoon, C. *et al.* (2011). "Effect of organic loading rate on VFA production, organic matter removal and microbial activity of a two-stage thermophilic anaerobic membrane bioreactor", en *Bioresouce Technology*, 102: 5353-60.
- Yates, V y S. Yates. (2007). *Assessing the Fate of Emerging Pathogens in Biosolids*. Water Environment Research Foundation.
- Yong, Y. y K. Won-Il. (2013). "Effects of ozone, ultraviolet and an organic acid-based disinfectant against porcine reproductive and respiratory syndrome virus", en *Korean Journal of Veterinary Service*, 36(3): 157-62.
- Ziemer, J. *et al.* (2010). "Fate and transport of zoonotic, bacterial, viral, and parasitic pathogens during swine manure treatment, storage and land application", en *J. Anim. Sci.*, 88(13): 84-94.

Los aceites esenciales herbales como anestésicos en peces cebra (*Danio rerio*)

Román Espinosa Cervantes¹ y Adolfo Rosado García²

Resumen. En los últimos años la anestesiología en peces se ha venido estudiando como un modelo animal alternativo. Actualmente, en el mercado existen una gran diversidad de productos químicos y sintéticos que se usan en la anestesiología animal como el metanosulfonato de tricaina, sin embargo, algunos de ellos presentan efectos secundarios como alteraciones bioquímicas, problemas cardiacos y respiratorios. Recientemente los investigadores se han interesado por el uso de los productos herbales (aceites esenciales) como anestésicos en la acuicultura, por lo que se recopilaron algunos estudios disponibles en la literatura internacional sobre el uso de aceites esenciales y sustancias activas para la sedación y anestesia en peces cebra. Como resultado de este análisis, se detectó que los aceites esenciales usados en la anestesiología acuícola son ecológicos, rentables, además no son aversivos, no causan efectos secundarios y son promotores de la salud (antioxidante, antimicrobiano y antiparasitarios). No obstante, también encontramos que aún hay falta de información acerca de algunos mecanismos de acción y el efecto en la salud de estos anestésicos herbales. En este artículo se presentan los principales aceites esenciales utilizados como sedantes y anestésicos en peces cebra durante los procedimientos de manejo en confinamiento.

Palabras clave: Peces cebra, Anestésicos, Aceites esenciales, *Danio rerio*, Mecanismo de acción.

Abstract. In recent years, anesthesiology in fish has been studied as an alternative animal model. Currently on the market there are a wide variety of chemical and synthetic products that are used in animal anesthesiology such as tricaine methanesulfonate. However, some of them have side effects such as biochemical alterations, heart, and respiratory problems. Researchers have recently become interested in the use of herbal products (essential oils) as anesthetics in aquaculture. The-

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Departamento de Producción Agrícola y Animal, e-mail: espinosa@correo.xoc.uam.mx

² Investigador Nacional Nivel 3.

refore, some studies available in the international literature on the use of essential oils and active substances for sedation and anesthesia in zebrafish were compiled. The results of this analysis are that the essential oils used in aquaculture anesthesiology are ecological, profitable, non-aversive, do not cause side effects and are health promoters (antioxidant, antimicrobial and antiparasitic). However, we also found that there is still a lack of information about some mechanisms of action and the effect on health of these herbal anesthetics. This article presents the main essential oils used as sedatives and anesthetics in zebrafish during confinement handling procedures.

Keywords: Zebrafish, Anesthetics, Essential oils, *Danio rerio*, Mechanism of action.

INTRODUCCIÓN

La lucha característica de los peces durante los procedimientos de manejo, como la biometría, colección de sangre, desove artificial, biopsias, cirugía y el transporte, afectan su comportamiento fisiológico (Aydın y Barbas, 2020). Actualmente, los anestésicos son utilizados para inmovilizar a los peces bajo diferentes formas; desde una sedación ligera para reducir el estrés durante el manejo, en procedimientos no invasivos, hasta la anestesia general para evitar infligir dolor durante los procedimientos quirúrgicos (Priborsky y Velisek, 2018; Vargas, 2018).

Los principales anestésicos utilizados en los peces son sintéticos y naturales (aceites esenciales y metabolitos secundarios de plantas) (Aydın y Barbas, 2020). Generalmente los anestésicos producen una neurodepresión generalizada en el sistema nervioso central (SNC), producida por una acción sobre los axones nerviosos para favorecer la neurotransmisión inhibitoria y reducir la neurotransmisión excitadora. Además, el estado anestésico general comprende múltiples componentes (amnesia, inconsciencia, analgesia e inmovilidad), cada uno de los cuales está mediado por diferentes receptores y vías neuronales (Son, 2010; Andropoulos, 2018). Sin embargo, algunos anestésicos sintéticos utilizados inducen efectos secundarios significativos en los peces: alteraciones bioquímicas, endocrinas, depresión de la función cardiovascular, respiratoria y efectos inmunosupresores (Silva *et al.*, 2013). En este contexto, los aceites esenciales (AE) y sus componentes ofrecen una alternativa como sedante, anestésico, antioxidante y antimicrobiano para los animales acuáticos, y su uso se ha extendido en los últimos años. Además, la forma nano encapsulada de los AE puede potenciar sus efectos y, generalmente, los AE presentan menos efectos secundarios que los compuestos sintéticos en los peces (Souza *et al.*, 2019).

Un modelo animal usado para estos estudios es el pez cebra (*Danio rerio*), de la familia de los ciprínidos, que se ha convertido en una especie muy popular para modelar estudios en investigación biomédica, biología del desarrollo, toxicología y técnicas transgénicas. Especialmente debido a sus características genéticas, de desarrollo y su similitud con los mamíferos. Por consecuencia, es un animal ideal para evaluar nuevos compuestos que pueden representar anestésicos alternativos para los procedimientos en acuicultura (Grush *et al.*, 2004; Félix *et al.*, 2019). Este artículo presenta los principales aceites esenciales utilizados como sedantes y anestésicos en peces cebra durante los procedimientos de manejo en confinamiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Para desarrollar el presente estudio, se recopilaron artículos científicos disponibles en las bases de datos: Medline, ScienceDirect, Scopus, el buscador Google académico y la biblioteca digital de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (BidiUAM). La información seleccionada es de reciente publicación, y preferentemente con factor de impacto. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de información fueron: pez cebra, aceites esenciales, anestesia y mecanismo de acción. Cada uno de los conceptos se combinó con operadores booleanos como “and”, “or” o “not” para la recuperación de la información. La revisión de literatura está basada en artículos de revisión y artículos originales relacionados con el uso de los aceites esenciales, los peces cebra y anestesia.

Mecanismo de acción de la anestesia

Es un estado transitorio, reversible de depresión sobre regiones específicas del sistema nervioso central (SNC), provocando los diferentes componentes de la anestesia general (inconsciencia, inmovilidad y amnesia); en este estado hay analgesia, amnesia, inhibición de los reflejos sensoriales y autónomos, relajación del músculo estriado y pérdida de la conciencia (Tabla 1), (Small, 2003; Bauquier *et al.*, 2011; Diao *et al.*, 2014). La anestesia general produce depresión generalizada en el SNC al aumentar la inhibición de la neurotransmisión y reducir la neurotransmisión excitatoria. Los neurotransmisores excitadores, como el glutamato y la acetilcolina, causan despolarización, mientras que los neurotransmisores inhibitorios como GABA y glicina reducen la actividad postsináptica. Estos neurotransmisores son mensajeros químicos que transmiten señales a través de

una sinapsis química. Los neurotransmisores libres se unen con receptores de canales iónicos para controlar el flujo de iones. El control de la actividad eléctrica celular por los canales iónicos está estrechamente relacionado con la acción fisiológica de los anestésicos y los diversos patrones de respuesta conductual a ellos. Entre los canales iónicos, los receptores como el ácido γ -Aminobutírico tipo A ($GABA_A$), glicina, 5-hidroxitriptamina tipo 3a, acetilcolina nicotínica y N-metil-D-aspartato (NMDA) muestran sensibilidad a los anestésicos generales, incluidos los barbitúricos, el propofol, las benzodiazepinas y los agentes de inhalación halogenados (Preckel *et al.*, 2006; Diao *et al.*, 2014).

Tabla 1. Etapas anestésicas de los peces

Etapa	Nivel de conciencia	
Etapa 0	Normal	Equilibrio, respiración normal del opérculo y respuesta a los estímulos visuales y táctiles.
Etapa I	Sedación	Equilibrio de normal a reducido, movimiento del opérculo reducido, pérdida de la reacción a estímulos visuales y táctiles.
Etapa II	Anestesia ligera	Pérdida del equilibrio, natación lateral irregular, movimiento del opérculo de reducido a lento, pérdida de reacción a estímulos visuales y respuesta lenta a débil en los estímulos táctiles.
Etapa III	Anestesia profunda	Pérdida del equilibrio, movimiento lento del opérculo, descoordinación al nadar, disminución de la reacción a estímulos visuales y táctiles.
Etapa IV	Anestesia quirúrgica	Reducción del latido opercular, ausencia de movimiento natatorio.
Etapa V	Colapso medular	Ausencia de latido opercular, insuficiencia respiratoria y muerte.

(Small, 2003; Bauquier *et al.*, 2011; Pedrazzani y Ostrensky, 2016).

Algunos de los anestésicos volátiles también actúan sobre los canales de potasio y los canales dependientes de voltaje (sodio, calcio). Típicamente, los anestésicos generales potencian la activación de los canales postsinápticos inhibidores o inhiben la activación de los canales sinápticos excitadores (Son, 2010).

Los principales puntos a considerar en la anestesia general en los peces son: obtener un efecto satisfactorio, inducción rápida, tiempo de recuperación y los márgenes de seguridad, los cuales son propiedades importantes. Los principales anestésicos sintéticos usados en la acuicultura son: metanosulfonato de triclaína (MS-222), quinaldina, metomidato (Tabla 3), 2-fenoxietanol, mentol y benzocaína. Sin embargo, algunos de estos anestésicos causan efectos secundarios no deseados, como pérdida de moco, irritación de las branquias y daño corneal (Bernardes *et al.*, 2013).

Otros estudios también se han enfocado en analizar las variaciones en la respuesta de los anestésicos entre especies, dichas variaciones pueden ser resultado de las diferencias farmacocinéticas, descritas como lo que el cuerpo le hace al fármaco, y por diferencias farmacodinámicas, descritas como lo que el fármaco le hace al cuerpo. Tanto las diferencias farmacocinéticas como farmacodinámicas en los peces pueden estar influenciadas por factores biológicos y ambientales (Tabla 2), (Ross y Ross, 2009; Zahl *et al.*, 2011).

Tabla 2. Factores que afectan la eficacia de los anestésicos en los peces

Grupo	Factor	Mecanismos probables
Biológico	Especie	▪Diferencias corporales y hábitos
	Cepa o variante genética	▪Proporción del área branquial y peso corporal
	Tamaño y / o peso	▪Variabilidad fisiológica
	Sexo y madurez sexual	▪Diferencias en enzimas
	Contenido de lípidos	▪Cambio en la tasa metabólica
	Condición corporal	▪Contenido de lípidos corporales (gónadas)
	Estado de la enfermedad	▪Uso de drogas lipofílicas
	Estrés	▪Peces grasos o especímenes viejos ▪Animales agotados, post-desove
Ambientales	Temperatura	▪Q10 como en todos los ectotermos (poiquilotermos) ▪Efectos del pKa y ionización de moléculas
	pH	▪Efectos amortiguadores ▪Antagonismo de calcio
	Salinidad	▪Contenido mineral del agua ▪Nivel de oxígeno

Ross y Ross, 2009.

En los últimos años, se han incrementado los estudios que investigan la actividad potencial de los productos a base de géneros herbales (aceites esenciales), para sustituir a los anestésicos sintéticos para la sedación y la anestesia en los peces (Aydın y Barbas, 2020). Uno de los principales argumentos es que los peces poseen un sistema neuronal básico, esencial para la nocicepción, es decir, percepción de estímulos de dolor. Por lo tanto, para asegurar el bienestar de los peces sometidos a procedimientos donde se infringe dolor, es necesario que los agentes anestésicos cuenten con la capacidad de bloquear las vías nociceptivas (Zahl *et al.*, 2011).

Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) son sustancias orgánicas naturales, sintetizadas por plantas aromáticas durante el metabolismo secundario. Son lípidos (líquidos raramente coloreados), solubles en lípidos y disolventes orgánicos (insolubles en agua). Los AE generalmente contienen más de 20 componentes diferentes de bajo peso molecular en concentraciones variables. Su composición química y concentración puede variar según la parte de la planta, la etapa fenológica, la temporada del año, las condiciones de producción (suelo y clima). Además, los métodos de procesamiento y extracción también pueden afectar su composición (Sutili *et al.*, 2017; Tavares-Dias, 2018).

Los compuestos principales de los AE son los terpenoides que son hidrocarburos naturales producidos por una amplia variedad de plantas. Los terpenos son agrupados en diferentes tipos según su estructura y función; se clasifican con base en cinco unidades de carbono (isopreno). Los principales terpenos son monoterpenos (C10) y sesquiterpenos (C15) y fenilpropanoides que pueden contener diferentes grupos funcionales (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos). Aunque los hemiterpenos (C5), los diterpenos (C20), los triterpenos (C30) y los tetraterpenos (C40) también son importantes y representan alrededor de 90% de los aceites esenciales (Chávez-González *et al.*, 2016).

Hoy día existe una creciente demanda por el uso de anestésicos de bajo costo, seguros y sin efectos secundarios, capaces de reducir el estrés en la acuicultura durante los procedimientos de captura y manejo. Actualmente, es conocido que los anestésicos sintéticos (AS) causan efectos secundarios en los individuos. Debido a estos efectos adversos, los investigadores han propuesto el uso de productos naturales, como aceites esenciales (AE) y extractos de plantas como alternativa sedante y anestésica en animales acuáticos para reemplazar a los AS (Gottlieb *et al.*, 2019).

En los últimos años, se han probado nuevos medicamentos anestésicos para reducir los efectos secundarios que provocan los AS. Los AE y sus componentes son principalmente sedantes y medicamentos anestésicos que se han usado en peces como una alternativa natural (Tabla 3). Estos incluyen a *Aloysia gratissima*, *Aloysia triphylla*, *Lippia alba*, *Menta arvensis* (mentol) y *Condalia buxifolia metanólica* (Martins *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2019).

Además, los AE tienen efectos positivos demostrados en los procedimientos de acuicultura como alternativas a los AS, ayudando a reducir respuestas al estrés y el daño físico. También, los AE logran una disminución en el consumo de oxígeno, lo que probablemente se asocia con una reducción de la producción aeróbica del ATP (Zago *et al.*, 2018). Otros autores afirman que los AE disminuyen las concentraciones de cortisol, así como la excreción de amoníaco, además mejora el estado oxidativo y la regulación iónica (Junior *et al.*, 2018).

Algunas de las principales características que tienen los AE para su funcionamiento como sedante y anestésico son: propiedades lipofílicas y liposolubilidad, contribuyendo a una rápida dispersión a través de membranas biológicas, incluida la barrera hematoencefálica en el sistema nervioso central (SNC), modulando la función cerebral. Se sabe que algunos AE ejercen sus efectos anestésicos regulando el complejo receptor de ácido gamma-aminobutírico (GABA), el principal neurotransmisor inhibitorio en el SNC. Otros AE actúan en el sitio de las benzodiazepinas del receptor GABA_A, pero otros no (Heldwein *et al.*, 2012). Además, el AE de *Cymbopogon nardus* induce anestesia profunda, promoviendo una depresión en la contracción muscular, potenciada con la pérdida del tono muscular y depresión transitoria cardio respiratorio (Souza *et al.*, 2019).

Tabla 3. Efecto de los diferentes anestésicos en los peces

Anestésicos	Mecanismos de acción	Efecto
Tricaina o MS-222	Es un relajante muscular que bloquea los canales de Na ⁺ y, en menor grado, los de K ⁺ en las membranas nerviosas.	Dosis de Tricaina 100-200 mg/L, inmersión. Bloquean la mayoría de las neuronas, glándulas y células musculares (tanto estriadas, cardíacas y lisas). Además, pueden causar nocicepción, parálisis y depresión respiratoria. Causan aversión, lesiones epidérmicas y corneales, hipoxemia, disminución de la frecuencia cardíaca y muerte (Matthews y Zoltán, 2012; Attili y Hughes, 2014).
Metomidato	Activa los receptores GABA _A	Dosis 2-4 mg/L, inmersión. Es un sedante-hipnótico no barbitúrico que actúa sobre el SNC. No bloquea la nocicepción. Causa depresión respiratoria, cardíaca e inhibe la producción de cortisol y glucosa (Collymore <i>et al.</i> , 2014).
Isoeugenol (<i>Syzygium aromaticum</i> o <i>Eugenia aromatica</i>)	Inhibe los canales de Na ⁺ , K ⁺ y Ca ₂ . Potencia los receptores GABA _A , e inhibe los receptores NMDA.	Dosis 55mg/L, inmersión. Produce analgesia y sedación. Los efectos adversos en los peces incluyen: aversión, disminuye la ventilación, frecuencia cardíaca, presión arterial y tono vascular (Martins <i>et al.</i> , 2016).
Enfriamiento gradual	Aún no es claro. Sin embargo, se propone que está relacionado con la actividad del GABA y la modulación de la señal de calcio en el SNC, que permite aumentar un posible efecto GABAérgico.	El enfriamiento gradual provoca un plano quirúrgico de anestesia. Los peces pierden el equilibrio a los 11.9 °C (10.9-12.5°C). Los movimientos operculares se desaceleran y la respuesta a estímulos de la aleta caudal, se pierde a los 10.3°C (Wallace <i>et al.</i> , 2018).

<i>Aloysia triphylla</i>	Aún no es claro el mecanismo de acción de <i>A. triphylla</i> en peces (Zep-penfeld, <i>et al.</i> , 2104).	Dosis 200 $\mu\text{l L}^{-1}$ Ansiolítico, induce estrés porque no evita el aumento de cortisol, no induce aversión. Reduce el consumo de oxígeno y la actividad exploratoria. No afecta los niveles en plasma de glucosa, Na^+ y CL^- (Junior <i>et al.</i> , 2018).
<i>Lippia alba</i>	Existe la participación del sistema GABAérgico en el efecto anestésico.	Dosis 300 $\mu\text{l L}^{-1}$ Ansiolítico, atenúa el estrés evitando el aumento de cortisol después del estrés agudo, no induce aversión (Junior <i>et al.</i> , 2018).
<i>Lavendula angustifolia</i>	El mecanismo de acción de la lavanda es post-sináptico y no es similar a la atropina, y el efecto espasmolítico probablemente esté mediado por AMPc, no a través de GMPc.	Dosis 1.8 cc L^{-1} . Induce anestesia en peces cíclidos, similar al extracto de clavo sin efectos secundario y con una buena recuperación (Lis-Balchin y Hart, 1999; Abbas Raisi <i>et al.</i> , 2019).
<i>Menta arvensis</i>	El mentol puede desempeñar un papel en la inducción de la anestesia quirúrgica en peces, mediante la activación de los receptores GABA_A y al movimiento rápido a través de los nociceptores de frío.	Los sitios de acción del mentol, localmente 10 mM de di-mentol en un lado de una branquia (50 μl), cavidad oral (50 μl), y a un costado de la superficie del cuerpo (100 μl) (Kasai <i>et al.</i> , 2014). Otros autores reportan concentraciones de entre 60 a 80 mg de mentol L^{-1} (Medeiros-Junior <i>et al.</i> , 2018). Otro estudio en peces cebra reporta que 47-78 mg/L de mentol inducen anestesia dentro de 350-300 segundos, con un periodo de recuperación de 200-650 segundos (Hoseini <i>et al.</i> , 2018).

Eugenol

Eugenol (4-allyl-2-metoxifenol) es el ingrediente activo del aceite de clavo y constituye aproximadamente entre 70-95% del extracto. El aceite se destila de las flores, tallos y hojas del árbol de clavo (*Eugenia aromatica*). Es utilizado en la odontología como anestésico tópico, sin efectos secundarios y con propiedades anticancerígenas, antivirales, antimi-

crobianas y antifúngicas. Recientemente ha sido estudiado el uso del eugenol en los peces cebras por sus características anestésicas y considerado no mutagénico ni cancerígeno (Grush *et al.*, 2004). El eugenol induce anestesia más rápida a bajas concentraciones, en comparación con los anestésicos sintéticos, y el período de recuperación es amplio y puede producir fallas ventilatorias rápidamente cuando se usan altas concentraciones. Sin embargo, es uno de los anestésicos principales en la acuicultura (Sánchez-Vázquez *et al.*, 2011; Bernardes *et al.*, 2013).

Aloysia triphylla

La planta *Aloysia triphylla* pertenece a las *Verbenaceas*, es un arbusto sudamericano que fue introducido a Europa a finales del siglo XVII y se utiliza en la preparación de té, como condimento y con fines medicinales. En nuestro país a esta planta se le conoce como té de cedrón. El AE es una mezcla de α -citral (geranial) y β -citral (neral) como componentes principales. El AE de *Aloysia* se emplea como sedante, digestivo y contra el resfriado. En los peces como el bagre (*Rhamdia quelen*) y el camarón (*Litopenaeus vannamei*), el AE tiene efectos anestésicos y sedantes (Zago *et al.*, 2018). El AE también proporciona actividad antibacteriana moderada contra cepas de *Aeromonas spp*, estimula la actividad antioxidante, previniendo la peroxidación de lípidos y supresión de la liberación de cortisol (dos Santos *et al.*, 2017; Junior *et al.*, 2018). En peces cebras, la suplementación con *A. triphylla* en el alimento proporciona bienestar (comportamiento ansiolítico) y no altera la concentración de cortisol durante la biometría (Zago *et al.*, 2018).

***Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown**

Es un arbusto aromático ampliamente distribuido en Centro y Sudamérica. De esta planta se han identificado algunos quimiotipos con actividad farmacológica (citral, carvona y linalol), con propiedades sedantes en roedores. Actualmente, el efecto anestésico del AE de la *Lippia* ha sido demostrado en el bagre plateado (*Rhamdia quelen*) y en el pez cebras adulto (*Danio rerio*), en el que atenúa la respuesta del cortisol al estrés y no es estresante. Además, el AE de la *Lippia* es un antioxidante y antimicrobiano natural (Junior *et al.*, 2018), por lo que es considerado un nuevo sedante natural y anestésico que puede ser usado en la acuicultura por sus efectos en reducir el estrés en los peces (Heldwein *et al.*, 2012).

En otro estudio, Bandeira *et al.* (2017) llevaron a cabo experimentos con dos AE, *A. triphylla* y *L. Alba*, en el pez cebra, y fueron ellos los primeros en reportar que los AE no inducen un comportamiento aversivo y muestran un efecto ansiolítico. Sin embargo, la exposición de *A. triphylla* indujo estrés, mientras que *L. alba* atenuó la respuesta en el pez cebra.

Lavendula angustifolia

El género lavándula comprende unas 20 especies de arbustos mediterráneos de hoja perenne con follaje y flores aromáticas. Los principales compuestos químicos que posee el AE de lavándula son el linalol, alcanfor, terpineno-4-ol, acetato de linalilo, β -ocymeno y 1,8-cineole. Son recomendados en la medicina tradicional para aliviar las convulsiones, la ansiedad, el insomnio y en el tratamiento de varios trastornos neurológicos. El AE de la lavándula tiene diferentes actividades biológicas y la mayoría de los estudios han investigado los efectos de su componente principal, el linalol, en la actividad cerebral (Caputo *et al.*, 2016). La inhalación de linalol causa efectos relajantes, y la combinación de linalol y el óxido de linalol puede ser un medio útil para contrarrestar la ansiedad (Yamada *et al.*, 1994). Para probar el efecto de la lavanda en el comportamiento ansioso en el pez cebra, se les administró diferentes dosis del AE, se examinó la respuesta endocrina y se probaron los niveles de cortisol en cada condición. La conclusión es que la lavanda disminuye el comportamiento de nado en los peces, en comparación con los no tratados (Smith y Kasper, 2020).

Menta arvensis

Esta planta es nativa de América del Norte, es rica en mentol y mentón. El AE es extraído de la planta *M. arvensis*, ampliamente utilizado en alimentos, cigarrillos y en la industria farmacéutica, con propiedades antiinflamatorias. Se ha clasificado al mentol como analgésico tópico y la exposición sistémica induce efecto anestésico leve en la ostra plana *Ostrea edulis* y efecto anestésico quirúrgico en los langostinos *Macrobrachium rosenbergii*. Está documentado que el mentol induce sensaciones de frío y dolor en los individuos. La aplicación de una dosis determinada de mentol o icilina está asociada a la percepción de enfriamiento o el alivio del dolor, mientras que el tratamiento con dosis altas de mentol provoca ardor (Kasai *et al.*, 2014; Medeiros-Junior *et al.*, 2018). En los peces cebra la con-

centración de mentol >0.4 mM produce una respuesta a la anestesia de 80%, y el tiempo de recuperación fue de 10 minutos (Kasai *et al.*, 2014).

Mentha spicata var. crispa lamiaceae

El AE salicilato de carvona-metilo (R - (+) carvona) en una cetona monoterpénica actúa como anestésico, disminuyendo la actividad motora y reduce significativamente la transducción nerviosa en ratones. Se ha demostrado que la carvona probablemente inhibe reversiblemente los canales de Na^+ a nivel nervioso, suprimiendo la transducción. Hasta el momento no se conoce el impacto fisiológico de la carvona en los peces, sin embargo, se han realizado estudios usando concentraciones de 95.09 mg/L de carvona en peces cebras y no suprime la respuesta inmune (Wulff, 2011). Un estudio más reporta que concentraciones de 10, 20 y 30 mg/L de aceite de carvona pueden ser usados con seguridad en peces cebras como anestésico. No obstante, no es recomendable como sedante durante la manipulación debido a sus efectos adversos sobre el comportamiento (Seyidoglu y Yagcilar, 2020). Es importante mencionar que aún se desconoce el impacto fisiológico de la carvona en la acuicultura, por lo que es importante desarrollar más estudios para determinar su uso.

Cuminum cyminum

El desarrollo de la planta del comino es anual, alcanza una altura de aproximadamente 30 cm y produce pequeñas flores blancas, rosas o lilas. Ha sido una especie utilizada como condimento y medicamento por los babilonios y los egipcios. Actualmente, también se usa como antimicrobiano y anestésico en peces (De M. *et al.*, 2003). Para corroborar esto, se llevó a cabo un estudio con *Cuminum cyminum* como agente anestésico en peces cebras, en donde se determinó que la concentración mínima fue de 0,24 ml/L, la cual induce anestesia a los 180 segundos, con un tiempo de recuperación en 300 segundos. Este estudio muestra el alto potencial del comino como anestésico en peces, los rangos reportados en este estudio (0.24-0.40 ml/L) parecen ser adecuados (Khosravanizadeh, 2020). Aún faltan estudios sobre su mecanismo de acción en peces cebras, así como determinar concentraciones para usarse en la eutanasia y determinar su toxicidad.

***Thymus vulgaris* L**

El tomillo (*Thymus vulgaris* L.) es una especie de la familia *Lamiaceae*, que se comercializa en fresco o seco, principalmente para la extracción de su aceite esencial, que se encuentra en mayor cantidad en las hojas (Guerrero-Lagunes *et al.*, 2011). El llamado aceite de tomillo (*Thymus vulgaris*) se ha utilizado como un vendaje medicinal para humanos a través de la ciencia médica moderna. Tiene un papel protector sobre la inmunidad después de la anestesia. Seyidoglu y Yagcilar (2020) anestesiaron peces cebras a concentraciones de 1, 5 y 10 mg/L, con tiempos anestesia de 34 a 37 segundos y un tiempo de recuperación para la concentración de 5 mg/L de 200 segundos, y sólo 17 segundos, para la concentración de 1 mg/L. Es recomendable seguir realizando estudios para determinar las concentraciones y los tiempos de recuperación debido a que existe mucha variabilidad.

Pimpinella anisum

Conocido como anís, anís verde o matalahúva, es una planta aromática de la familia *Apiaceae* originaria del Asia sudoccidental. Las semillas se usan como condimento, antipirético, antiparasitario, antifúngico. También el anís es un sedante, antiespasmódico y últimamente ha sido considerado un AE. Los extractos alcohólicos y los aceites de anís pueden relajar los músculos por acción antagonista contra la contracción en diferentes órganos. Aún no se han reportado efectos anestésicos, sólo se han determinado efectos sedantes a concentraciones de 1, 5, 10, 20 y 30 mg/L en peces cebras (Seyidoglu y Yagcilar, 2020). Es necesario más estudios para descartar efectos tóxicos o fisiológicos.

Efectos no anestésicos de los AE en los procesos de manejo, transporte y estrés oxidativo en la acuicultura

Los AE tienen otras funciones, como participar en los cambios de algunos parámetros fisiológicos (incremento de los niveles de glucosa y lactato), provocados por la natación exhaustiva durante los intentos de escapar durante la manipulación en laboratorio, provocando hipoxia y estrés que desencadenaran una cascada hormonal a lo largo del eje hipotálamo-pituitario-interrenal e hipotálamo-simpático-cromafín (HSC), para evocar diversas reacciones fisiológicas para mantener la homeostasis corporal (Souza *et al.*, 2019).

También, los AE tiene algunas otras propiedades benéficas para la acuicultura, como moduladores de las respuestas inmunológicas y fisiológicas, así como las terapias antiestrés, antiinflamatoria, antioxidantes y como promotores de la salud del tracto gastrointestinal (propiedades antiparasitarias, bactericidas, bacteriostáticas, viricidas, fungicidas e insecticidas), con el fin de mejorar la resistencia a enfermedades. Así como, para mejorar el crecimiento y desarrollo de los peces, el bienestar animal y la eficiencia alimenticia, sin embargo, aun con todo lo mencionado anteriormente, estos compuestos son a menudo inestables y volátiles, lo que hace que las características químicas y físicas de los AE sean aspectos que habría que considerar en la investigación acuícola (Sutili *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

Los AE tienen ventajas sobre los compuestos sintéticos, cuando son usados como sedantes/anestésicos, además son ecológicos, rentables, no son aversivos, no causan efectos secundarios y son promotores de la salud (antimicrobiano y antiparasitarios), disminuyen las concentraciones de cortisol, la excreción de amoníaco, además mejoran el estado oxidativo y la regulación iónica. Sin embargo, es importante mencionar que es necesario determinar las concentraciones apropiadas, debido a que los AE son compuestos volátiles. Además, los efectos de los AE pueden variar debido al cultivo de la planta (quimiotipo, método de extracción, etapa fenológica, clima y parte anatómica donde se extrae el AE). Otro punto a considerar cuando se usan los AE, es que debe de ir acompañado de evaluaciones, como parámetros bioquímicos, hematológicos, alteraciones histológicas en los tejidos y en los órganos diana. Tomando en cuenta todos los puntos mencionados, la literatura internacional reporta que uno de los mejores AE utilizado como anestésico en la acuicultura es el eugenol (aceite de clavo).

Por último, el futuro de la anestesia con AE en los peces es utilizar la nanotecnología, como un elemento clave para perfeccionar las sustancias activas. La nano encapsulación disminuye la volatilidad, mejorando la estabilidad, solubilidad del agua y manteniendo la eficacia terapéutica. Todas estas investigaciones son de gran utilidad para la acuicultura y en los laboratorios de investigación, ya que los aceites esenciales, utilizados apropiadamente como anestésicos naturales, serían inocuos y amigables con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, A. *et al.* (2019). "Evaluation of the Anesthetic and Tranquilizing Effects of Clove Powder (*Syzygium aromaticum*) and Lavender Oil (*Lavandula officinalis*) in Convict Cichlid Fish (*Cichlasoma nigrofasciata*)", en *Iranian Journal of Veterinary Surgery*, 15(1): 1-7.
- Andropoulos, B. (2018). "Effect of anesthesia on the developing brain: infant and fetus", en *Fetal Diagn Ther*, 43: 1-11.
- Attili, S. y S. Hughes. (2014). "Anaesthetic tricaine acts preferentially on neural voltage-gated sodium channels and fails to block directly evoked muscle contraction", en *PloS One*, 9(8): 1-6.
- Aydın, B. y L. Barbas. (2020). "Sedative and anesthetic properties of essential oils and their active compounds in fish: A review", en *Aquaculture*, 520: 1-9.
- Bandeira, Jr. *et al.* (2017). "Lippia alba and Aloysia triphylla essential oils are anxiolytic without inducing aversiveness in fish", en *Aquaculture*, 482: 49-56.
- Bauquier, H. *et al.* (2011). "Evaluation of the sedative and anaesthetic effects of five different concentrations of alfaxalone in goldfish, *Carassius auratus*", en *Aquaculture*, 396(399): 119-123.
- Bernardes, J. *et al.* (2013). "Eugenol as an anesthetic for juvenile common snook", en *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8): 1140-1144.
- Collymore, C. *et al.* (2014). "Efficacy and safety of 5 anesthetics in adult zebrafish (*Danio rerio*)", en *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAA-LAS*, 53(2): 198-203.
- Caputo, L. *et al.* (2016). "Coriandrum sativum and Lavandula angustifolia Essential Oils: Chemical Composition and Activity on Central Nervous System", en *International Journal of Molecular Sciences*, 17(1999): 1-12.
- Chávez, M. *et al.* (2016). "Essential oils: A natural alternative to combat antibiotics resistance, *Essential Oils*", en *Antibiotic Resistance*, 227-237.
- Collymore, Ch. *et al.* (2014). "Efficacy and Safety of 5 Anesthetics in Adult Zebrafish (*Danio rerio*)", en *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 53(2): 198-203.
- De M. *et al.* (2003). "Actividad Antimicrobiana de Cuminum cyminum L", en *Ars Pharmaceutica*, 44(3): 257-269.
- Diao, S. *et al.* (2014). "Mechanisms of action of general anesthetics", en *Frontiers in Bioscience*, 19: 747-757.

- Dos Santos, C. *et al.* (2017). "Anesthesia and anesthetic action mechanism of essential oils of *Aloysia triphylla* and *Cymbopogon flexuosus* in silver catfish (*Rhamdia quelen*)", en *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 44: 106-113.
- Félix, L. *et al.* (2019), "Review on the use of zebrafish embryos to study the effects of anesthetics during early development", en *Crit Rev Toxicol.*, 49(4): 357-370.
- Guerrero, L. *et al.* (2011), "Efecto del cultivo hidropónico de tomillo (*Thymus vulgaris* L.) en la calidad y rendimiento del aceite esencial", en *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2): 141-149.
- Gottlieb, P. *et al.* (2019), "Stress-reducing and anesthetic effects of the essential oils of *Aloysia triphylla* and *Lippia alba* on *Serrasalmus eigenmanni* (Characiformes: Serrasalmidae)", en *Neotropical Ichthyology*, 17(2): 1-8.
- Grush, J. *et al.* (2004). "The Efficacy of Clove Oil as An Anesthetic for the Zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton)", en *Zebrafish*, 1(1): 46-53.
- Heldwein, G. *et al.* (2012). "Participation of the GABAergic system in the anesthetic effect of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown essential oil", en *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 45(5): 436-443.
- Hoseini, M. *et al.* (2018). "Application of herbal anaesthetics in aquaculture", en *Reviews in Aquaculture*, 0: 1-15.
- Junior, B. *et al.* (2018). "*Lippia alba* and *Aloysia triphylla* essential oils are anxiolytic without inducing aversiveness in fish", en *Aquaculture*, 482: 49-56.
- Kasai, M. *et al.* (2014). "Menthol Induces Surgical Anesthesia and Rapid Movement in Fishes", en *The Open Neuroscience Journal*, 8: 1-8.
- Khosravanizadeh, A. *et al.* (2020), "Anesthetic effects of *Cuminum cyminum* essential oil and 2-phenoxyethanol on zebrafish (*Danio rerio*)", en *Journal of Ornamental Aquatics*, 7(1): 17-25.
- Lis, M. y S. Hart. (1999). "Studies on the mode of action of the essential oil of Lavender *Lavandula angustifolia* P. Miller", en *Phytotherapy Research: International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 13(6): 540-542.
- Martins, T. *et al.* (2016). "Anaesthesia and analgesia in laboratory adult zebrafish: a question of refinement", en *Laboratory Animals*, 50(6): 476-488.
- Martins, T. *et al.* (2018). "Evaluation of anaesthetic protocols for laboratory adult zebrafish (*Danio rerio*)", en *PLoS ONE*, 13(5): 1-12.
- Martins, T. *et al.* (2019). "Anaesthetics and analgesics used in adult fish for research: A review", en *Laboratory Animals*, 53(4): 325-341.

- Matthews, M. y M. Zoltán. (2012). "Anesthesia and Euthanasia in Zebrafish", en *Institute for Laboratory Animal Research Journal*, 53(2): 192-204.
- Medeiros, E. et al. (2018). "Menthol and eugenol as natural anesthetics for early juveniles of curimba", en *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47: 1-5.
- Pedrazzani, S. y A. Ostrensky. (2016). "The anaesthetic effect of camphor (*Cinnamomum camphora*), clove (*Syzygium aromaticum*) and mint (*Mentha arvensis*) essential oils on clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris* (Cuvier 1830)", en *Aquaculture Research*, 47: 769-776.
- Preckel, B. et al. (2006). "Molecular Mechanisms Transducing the Anesthetic, Analgesic, and Organ-protective Actions of Xenon", en *Anesthesiology*, 105: 187-97.
- Priborsky, J. y J. Velisek. (2018). "A Review of Three Commonly Used Fish Anesthetics", en *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(4): 417-442.
- Ross, G. y B. Ross. (2009). "Factors Affecting the Response of Aquatic Ectotherms to Anaesthesia", en *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals* –(65-68), 3rd ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Sánchez, F. J. et al. (2011). "Daily Rhythms of Toxicity and Effectiveness of Anesthetics (MS222 and Eugenol) in Zebrafish (*Danio Rerio*)", en *Chronobiology International*, 28(2): 109-117.
- Seyidoglu, N. y Yagcilar. (2020). "The Anesthetic Role of Some Herbal Oils for Zebrafish", en *Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University*, 17(3): 209-214.
- Silva, L. et al. (2013). "Sedative and anesthetic activities of the essential oils of *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq. and their isolated components in silver catfish (*Rhamdia quelen*)", en *Brazilian journal of medical and biological research*, 46(9): 771-779.
- Small, C. (2003). "Anesthetic efficacy of metomidate and comparison of plasma cortisol responses to tricaine methanesulfonate, quinaldine and clove oil anesthetized channel catfish *Ictalurus punctatus*", en *Aquaculture*, 218(1/4): 177-185.
- Smith, A. y S. Kasper. (2020). "The Effects of Lavender Essential Oil on Anxious Behavior and Cortisol Levels in Zebrafish", en *The FASEB Journal*, 34: 1-1.
- Son, Y. (2010). "Molecular mechanisms of general anesthesia", en *Korean Journal of Anesthesiology*, 59(1): 3-8.
- Souza, F. et al. (2019). "Essential Oils as Stress-Reducing Agents for Fish Aquaculture: A Review", en *Frontiers in physiology*, 10(785): 1-17.
- Sutili, F. et al. (2017). "Plant essential oils as fish diet additives: Benefits on fish health and stability in feed", en *Reviews in Aquaculture*, 10(3): 716-726.
- Tavares, M. (2018). "Current knowledge on use of essential oils as alternative treatment against fish parasites", en *Aquat. Living Resour*, 31(13): 1-11.

- Vargas, R. *et al.* (2017). "Pez cebra (*Danio rerio*) y anestesia. Un modelo animal alternativo para realizar investigación biomédica básica", en *Anestesia en México*, 29(1): 86-96.
- Vargas, A. (2018). "Anesthesiology, Anesthetics and Zebrafish (*Danio Rerio*). An Animal Model to Perform Basic Biomedical Research", en *EC Anaesthesia* 4.6: 202-213.
- Wallace, K. *et al.* (2018). "Effectiveness of Rapid Cooling as a Method of Euthanasia for Young Zebrafish (*Danio rerio*)", en *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS*, 57(1): 58-63.
- Wulff, R. (2011). "The impact of tricaine methanesulfonate, 2-phenoxyethanol, and carvone-methyl salicylate on the innate immune response of zebrafish (*Danio rerio*)", en *Honors Theses*, 621: 1-20.
- Yamada, K. *et al.* (1994). "Anticonvulsive effects of inhaling lavender oil vapour", en *Biol. Pharm*, 17: 359-360.
- Zago, C. *et al.* (2018). "*Aloysia triphylla* in the zebrafish food: effects on physiology, behavior, and growth performance", en *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(2): 465-474.
- Zahl, I. *et al.* (2011). "Anaesthesia of farmed fish: Implications for welfare", en *Fish Physiology and Biochemistry*, 38: 201-18.
- Zeppenfeld, C. *et al.* (2004). "Physiological and biochemical responses of silver catfish, *Rhamdia quelen*, after transport in water with essential oil of *Aloysia triphylla* (L'Herit) Britton", en *Aquaculture*, 418-419: 101-107.

El estado del arte de los búfalos de agua en Latinoamérica

Adolfo Álvarez Macías¹

Recientemente tuvimos el privilegio de reseñar la segunda edición del libro: *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales*, que se presentó como un texto innovador y de gran valor para docentes, estudiantes, investigadores, extensionistas y productores, dada la abundancia de temas tratados y la capacidad para analizar datos e información producida a escala global sobre una especie alternativa como los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*). Apenas estábamos procesando la valía de este libro cuando nos alcanza la tercera edición que nos ha dejado gratamente sorprendidos, dado que los Coordinadores han logrado conformar el texto, intitulado: *El búfalo de agua en Latinoamérica. Hallazgos recientes*.² Se trata de un texto electrónico de libre acceso,³ con 1,492 páginas y 33 capítulos, en los que se estudian diversas facetas de los búfalos de agua en nuestro subcontinente, pero con un claro trasfondo global.

Participan más de 100 colaboradores entre revisores, autores y correctores de estilo de 22 países, para que, bajo una visión inter y transdisciplinaria, se reuniera y organizara información sobre esta especie animal, desde sus características físicas, fisiológicas, su proceso productivo, sus estándares de bienestar, hasta la eficacia en los métodos de aturdimiento y el efecto en la calidad de la carne. También se examina sobre su contexto productivo, a partir del ambiental y el de comercialización y transformación de sus productos (carne, leche y como animales de trabajo), destacando en todo momento las

¹ Profesor investigador titular del Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: aalvarez@correo.xoc.uam.mx.

² Napolitano, F. et al. (Eds) (2020). *El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes*. 3a. edición. BM Editores, © derechos reservados.

³ <https://www.lifescienceglobal.com/journals/journal-of-buffalo-science/97-abstract/jbs/4550-el-bufalo-de-agua-en-latinoamerica-hallazgos-recientes>.

estrategias principales para que los búfalos de agua se desarrollen en medios propicios para una óptima productividad, con apego a estándares internacionales de bienestar animal y bajo modelos sustentables.

Antes de explorar el contenido nuclear se destacan otros aspectos sobresalientes del texto. En primer lugar resalta el Prefacio de la Dra. Rossella Di Palo PhD, quien advierte: “El búfalo de agua es, de hecho, una apuesta segura para los productores de muchos países. Sin embargo, la producción de esta especie no siempre es sencilla debido a que varios aspectos no han sido completamente entendidos, principalmente los relacionados con fisiología, genética y producción”. También se destaca la inclusión de la Galería de Arte del Búfalo de Agua, del pintor rumano Alex Cuibus, que presenta ocho pinturas al óleo, juntas y también estampadas en cada una de las portadas de las cinco secciones del libro. De igual forma se pondera la conjunción de un Comité Editorial formado por 15 investigadores de siete países, como garantes de la calidad de los distintos trabajos compilados. Finalmente, se aprecian las 120 figuras incorporadas, entre fotografías, diagramas, gráficas y mapas, que enriquecen e ilustran los distintos capítulos.

Dada la magnitud de la obra, a continuación se propone un sobrevuelo sobre su vasto contenido. La primera sección, *Desempeño productivo y opciones de desarrollo: bienestar: carne, leche y labores rurales*, comprende nueve capítulos. En el primero se explora la posibilidad de producir búfalos de doble propósito (carne y leche) en las regiones tropicales de América Latina, caracterizando, por un lado, estas regiones con enorme potencial forrajero y con climas exigentes por sus altos niveles de temperatura y humedad. Por otro lado, se valoran las características de los búfalos, como su rusticidad y su necesidad de disponer de charcas y/o sombras para regular su temperatura corporal. En esta simbiosis, los búfalos han mostrado amplia capacidad de adaptación e incluso han registrado valores sobresalientes en cuanto a ganancia de peso, tasas de fertilidad y de producción y calidad de leche y carne, entre otras. En la misma tónica, en el segundo capítulo se examina la producción bufalina bajo una concepción agroecológica, focalizando las interacciones suelo-planta-animal, y los principios de los sistemas de pastoreo intensivo, como la rotación de las células de pastoreo y las altas cargas animales. También se explora la viabilidad de los sistemas agrosilvopastoriles y silvopastoriles, gracias a la biodiversidad de los trópicos.

En el tercer capítulo se aborda el bienestar de la búfala lechera, que figura como un tema trascendente para la salud y la productividad animal, así como para la calidad e inocuidad de leche y carne. Se estudian los factores del bienestar (macro y microclimáticos) como topografía, altitud, alimento y relaciones sociales dentro del hato, entre otros.

Se concluye que, sea en regímenes extensivos o intensivos, un ambiente apropiado es aquel que permite a los animales satisfacer plenamente sus necesidades. En el capítulo cuatro se estudia: “La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades”, en el que se discuten las características del búfalo, destacando su rusticidad, es decir, cuando posee características heredables que le permiten superar las variaciones aleatorias y adversas del medio ambiente, sin disminuir en demasía su capacidad productiva, por lo mismo detenta alta capacidad de adaptabilidad, longevidad, con ciclos de vida que suelen superar los 20 años. La carne se conforma principalmente con grasa de cobertura, pero con porcentaje de grasa intramuscular más bajo, es decir, la carne de búfalos es prácticamente magra. Por ello, este tipo de carne es cada vez más demandada en los mercados internacionales y, en esa medida, es una opción relevante tanto para productores como para consumidores.

En el capítulo 5 también se revisan las características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento, así como del desempeño productivo y reproductivo del búfalo de agua, ponderando las posibilidades de desarrollo de esta especie en las regiones tropicales de Latinoamérica. En el siguiente capítulo se compara a los búfalos versus los vacunos convencionales desde los puntos de vista tanto zootécnico como morfofisiológico, en aras de favorecer un manejo adecuado de los primeros. Se destacan múltiples aspectos, como su frecuente conducta altruista que permiten el aloamamantamiento; complejo mamario con pezones mayormente vascularizados, esfínteres con mayor fortaleza y canal más reducido y queratinizado que le confiere elevada resistencia a la mastitis; finalmente, sus grandes pezuñas y extremidades más gruesas que facilitan su movilidad en terrenos pantanosos y le permiten sumergirse en cuerpos de agua sin algún tipo de afección podal. También se contrastan los aparatos digestivo y reproductor, así como el sistema inmune y su resistencia a enfermedades.

El capítulo 7 versa sobre la “Producción de leche bajo una visión internacional”, documentando que la leche de búfalo se ha incrementado más rápidamente que la de bovino en el mundo durante los últimos años. También se compara el rendimiento y la calidad de la leche entre razas bufalinas, resaltando su alto contenido proteico y, en especial, el de grasa. Se incluye un apartado sobre las actualidades del queso Mozzarella. En el siguiente capítulo se expone un análisis de la “Producción de carne bajo una óptica internacional”, exponiendo el origen taxonómico de las razas de búfalo, así como una serie de indicadores productivos. Se cierra con un trascendente capítulo sobre los animales de tiro, como actores importantes en el medio rural de los países en desarrollo, que figuran tanto por el trabajo agrícola como por el transporte de productos a los mercados, trabajando en la industria de la construcción e, incluso, coadyuvando

en actividades turísticas. Se ponderan las cualidades de cada tipo de animal, desde los equinos hasta los búfalos de agua, así como los medios en los que mejor se desempeñan cada uno. Se valora que la interacción humano-animal positiva es fundamental para el bienestar animal y aunque los animales de trabajo han perdido centralidad al ser sustituidos progresivamente por equipos mecánicos, siguen representando una opción para los productores pobres y en pequeña escala, pero también para producciones ecológicas con bajos impactos ambientales.

La segunda sección se dedica a *Aspectos Reproductivos: Perinatología, ginecología, impronta, destete y ordeño*. En el capítulo 10 se abordan los “Factores intrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de los búfalos de agua”, subrayándose que el periodo de gestación en búfalas es casi un mes más amplio que en el caso de los vacunos, con un rango de 299 a 310 días y que lograr un intervalo entre partos (IEP), de alrededor de 400 días o menor, marcaría un óptimo económico. Para ello, se revisaron diferentes factores que inciden en este valor, determinándose que el genotipo tiene un efecto importante sobre la expresión de características reproductivas de las búfalas, contribuyendo con 77.61% en la variación total del IEP, con variaciones significativas entre razas. Otros factores son la edad al primer parto, número de partos, producción de leche y el consecuente balance energético y comportamiento estral, entre otros. Se concluye que los factores intrínsecos, muchas veces poco estudiados o atendidos por los productores, tienen un impacto determinante, pueden actuar de forma concomitante y exacerbar el efecto negativo de otros factores. En el siguiente capítulo, se examinan los factores extrínsecos, destacando la época de parto dado que los búfalos de agua son una especie de días cortos e impacta en su desempeño reproductivo. También incide el sexo de la cría y amamantamiento, dado que existen evidencias de que los descendientes machos inducen IEP más largos. La dieta fue otro factor analizado bajo el precepto de que cuando es adecuada, permitirá disminuir la incidencia de anestro y mejorar la fertilidad, y se concluye que una buena gerencia debe garantizar, en primer lugar, el establecimiento de metas como un intervalo parto-concepción máximo de 90 días y una tasa de preñez de 90% al finalizar la temporada reproductiva.

En el capítulo 12 se aborda “El parto y ordeño de la búfala: respuestas fisiológicas y conductuales”, considerando que los dos primeros eventos influyen en la vida productiva de la búfala lechera, como en su nivel de productividad y de bienestar. Se describen las tres fases del parto, el comportamiento de las búfalas en cada caso, así como los factores endocrinos. También se revisan las condiciones del ordeño, donde la búfala debe seguir rutinas preestablecidas y estables, ya que suelen ser más sensibles a los factores estresantes que las vacas lecheras. Una cuestión fundamental reside en el

control de enfermedades como la mastitis, que suele ser una de las principales fuentes de dolor para la hembra. El siguiente capítulo plantea el tema de “Perinatología y ginec obstetricia de la búfala de agua”, con el fin de examinar las principales complicaciones durante un parto distócico en búfalas, abordando temas relacionados con torsión uterina, cesárea, prolapsos vaginales y uterinos, así como la retención de membranas placentarias. Se concluye que la comprensión de la fisiología, el comportamiento y los signos de parto pueden favorecer la identificación y asistencia adecuada de nacimientos con desviaciones respecto a los partos normales (eutócicos), lo cual podría reducir eventos estresantes, tanto de la madre como la cría.

El siguiente capítulo trata de “Mortinatos en la búfala de agua: factores de riesgo fetal y materno”, para analizar los factores de riesgo y las consecuencias para las madres. El término mortinato refiere al nacimiento de un becerro muerto o su muerte durante el parto, aunque puede comprender a un becerro que nace vivo y con poco vigor y muere entre 24 y 48 h posteriores al parto. Una alta proporción de mortinatos en las unidades productivas revelan su inviabilidad desde el punto de vista económico y del bienestar del recién nacido. Entre los factores de riesgo se cuentan: el número de partos, distocias, gestaciones de 12 a 15 días por debajo del promedio, partos gemelares, peso del becerro al nacimiento, sexo y desproporción feto-pélvica. El mejoramiento de las estrategias de manejo y de las condiciones medioambientales podrían disminuir la tasa de mortinatos en búfalos de agua. “La impronta en la búfala y otros animales de granja: mecanismos neurofisiológicos” es el tema del capítulo subsecuente, identificando la importancia de un periodo sensible de aprendizaje donde la vinculación desarrollada por el binomio madre-cría adquiere formas de comportamientos para la alimentación, interacciones sociales y conducta sexual. Se describe el primer lazo que desarrollan la cría y la madre desde la identificación inmediatamente después del parto; a este proceso de asociación se le conoce como impronta o *imprinting* en inglés. Un rasgo distintivo de las búfalas de agua es la cría grupal, como una forma de asegurar que todas las crías reciban atención, lo que puede incluir el amamantamiento comunal, es decir, el aloamamantamiento antes referido. Se concluye que la impronta es un proceso complejo y trascendente para la supervivencia y desarrollo de las crías y se expresa de diferente manera en especies altriciales y precociales.

Con un enfoque más pragmático, el capítulo 16 versa sobre la “Ruptura del vínculo madre-cría sin detrimento de la productividad y bienestar animal en ganado cebú y búfalo de agua: consejos prácticos y novedosos”. Se parte de reconocer la escasa información relacionada con las técnicas de destete en cebú y búfalo, respecto a otras razas de bovinos convencionales de carne y leche, y muy pocos trabajos han validado o

adaptado las técnicas aplicadas en ganado europeo y transferidas a cebús o búfalos. Por lo tanto, se debería seguir investigando sobre el particular para desarrollar protocolos específicos y estrategias para que estas especies incrementen el bienestar y la eficiencia productiva, explorando diferentes técnicas de destete. En el siguiente capítulo se plantean las “Ventanas térmicas en el búfalo de agua: aspectos prácticos para la valoración reproductiva”. Para ello, se recurrió a la termografía infrarroja (IRT), una tecnología no invasiva que permite la medición precisa de la temperatura superficial de alguna región de los animales a más de 30 centímetros, facilitando la identificación de alteraciones térmicas caracterizadas por una variación de la temperatura en la superficie cutánea. Se aprovechan algunas regiones específicas del cuerpo que optimizan el intercambio de calor, al disponer de un área de superficie amplia, rica en vascularidad y con la capacidad de alterar el flujo sanguíneo bajo diferentes condiciones, que se conocen como ventanas térmicas biológicas. Así, la temperatura del área orbital, del morro y la vulva son apropiadas para evaluar el confort térmico, aspecto nodal en búfalos; de igual modo la temperatura escrotal se ha revelado como una herramienta para estimar la calidad del semen.

En el capítulo 18 se estudia la “Anatomofisiología de la glándula mamaria: neuroendocrinología de la eyección láctea en la búfala de agua”, con el objetivo de identificar las características anatómicas y morfológicas de la glándula mamaria (GM), así como el conocimiento generado en torno a la regulación fisiológica de la eyección láctea. Después de una detallada descripción de la GM de la búfala y la vaca, se destaca la profundidad, longitud y ancho de la GM de las búfalas y se evalúan para correlacionarlas con la productividad láctea. La GM en los bovinos es más grande y con mayor cantidad de tejido secretor y, por consiguiente, con mayor producción de leche. Se concluye sobre la implementación de acciones para paliar el estrés de las hembras, como la presencia del bucerro lactante, la previa estimulación manual y la alimentación durante el ordeño, entre otras que favorecen la máxima eyección y el flujo constante en la extracción de la leche de las búfalas. Esta segunda sección se cierra con el capítulo 19 que alude a las “Ventajas y desventajas de los sistemas de ordeño manual y mecánico: productividad, bienestar animal y rentabilidad”. Para seleccionar y adoptar un sistema de ordeño resulta vital conocer sus características, costos y accesibilidad para que los productores opten por el más idóneo para su unidad productiva. Una ordeña eficiente, además de la productividad, favorece el acceso a los mercados más rentables. Se concluye sobre la relevancia de los programas de capacitación y asesoría técnica de productores y trabajadores para cumplir con los estándares de bienestar animal, sanidad, higiene y alimentación que suelen derivar en mayor rendimiento y calidad de la leche.

La sección III. *Salud, termorregulación y ambiente*, consta de cinco capítulos, abriendo con el capítulo 20, “Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (*Bubalus bubalis*). Enfermedades Virales”. Se documenta la propensión de los búfalos a contagiarse por diferentes hechos, como revolcarse en cuerpos de agua que los predispone a diferentes enfermedades, así como la mezcla con otros búfalos, rumiantes y otros animales. Dentro de las enfermedades virales reconocidas destacan: Fiebre Aftosa, Peste Bovina, Fiebre Catarral Maligna, Rinotraqueitis Infecciosa Bovina, Diarrea Viral Bovina, Lengua Azul y Rabia. América Latina, al distinguirse como la región de mayor crecimiento en hatos de búfalos, la importación de nuevos animales, reemplazos o biológicos de otros países, representa un riesgo latente. El siguiente capítulo se concentra en Enfermedades bacterianas y parasitarias, como brucelosis, tuberculosis, paratuberculosis, ántrax y leptospirosis, entre otras. Se propone que la vigilancia y el manejo sanitario de las enfermedades infecciosas y parasitarias debe ser un proceso holístico, donde cada factor debe ser analizado y atendido según sus implicaciones y relevancia para el control del conjunto de enfermedades presentes en cada región.

El capítulo 22 versa sobre la “Termorregulación del búfalo de agua: mecanismos neurobiológicos, cambios microcirculatorios y aplicaciones prácticas de la termografía infrarroja”. Se consigna que los búfalos detentan un sistema termorregulador ineficiente frente al calor extremo por su escaso pelaje, la piel negra con melanina que absorbe el calor, la baja presencia de folículos pilosos de entre 135 y 145 por cm^2 , en comparación por ejemplo con el cebú, que tienen alrededor de 3,000 folículos por cm^2 , entre otros aspectos, que pueden ser una desventaja en climas cálidos. El búfalo de agua, al detectar un aumento de temperatura, estimula cambios fisiológicos y comportamentales inherentes a la especie, como sumergirse en áreas inundables y la búsqueda de sombra para propiciar la rápida pérdida de calor. El conocimiento actual sobre procesos fisiológicos y estructuras anatómicas tan complejas como el sistema nervioso y su estrecha relación con mecanismos de termorregulación es limitado; también se necesita esclarecer la conexión entre las emociones como el miedo, ansiedad y dolor y la termorregulación que permitan elevar la tasa de supervivencia de algunos organismos. De este conocimiento puede derivar el diseño de métodos prácticos para aplicarlos en áreas como la zootecnia o la clínica sin comprometer el bienestar animal, pero incrementando la productividad. El capítulo 23 se refiere al “Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino indio: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial”. Se documenta que los efectos ambientales, como las altas temperaturas, acentuadas por efectos del cambio climático, causan estrés calórico y, por ende, repercusiones negativas sobre la producción. Por ello, se discuten el diseño de sombras,

naturales y artificiales, para prevenir y adoptar soluciones al estrés por calor. Se concluye que aunque la sombra artificial resulta más eficiente para reducir el estrés por calor, la sombra natural ejerce efectos positivos como destinar más tiempo a actividades como la rumia, aminorar el tiempo destinado a desplazarse y mayor consumo de alimento, promoviendo así el bienestar en los búfalos y bovinos del género *Bos*.

En el capítulo 24 se investiga sobre la interconexión entre la ganadería y el cambio climático, que es un tema de actualidad y de atención urgente por parte de la sociedad global. Se analiza la contribución de la ganadería a la seguridad alimentaria, así como el reto de aumentar su oferta de productos en el futuro para satisfacer una demanda creciente, pero sin acrecentar la huella ecológica y, en cambio, considerando las condicionantes del cambio climático como el aumento de temperatura y la alteración de los ciclos hidrológicos, entre otras. Se documentan los equivalentes de CO₂ de los sistemas productivos extensivos e intensivos y se proponen medidas de mitigación que son factibles a corto y mediano plazos, como los sistemas pastoriles con pasturas de buena calidad bromatológica y la gestión de los sistemas de pastoreo intensivo o, cuando sea factible, la instrumentación de sistemas silvopastoriles, así como la recolección y almacenamiento del estiércol, la separación de sólidos y líquidos para favorecer la recirculación de energía.

La sección IV, *Calidad de la muerte y sensibilidad al dolor*, se integra de tres capítulos. El Capítulo 25, "Calidad del aturdimiento en búfalos: Reflejos y signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte", se planteó con el fin de evaluar los hallazgos científicos recientes, diferenciando entre inconsciencia e insensibilización, así como la neurofisiología del impulso doloroso y la importancia del reconocimiento de los signos del retorno a la sensibilidad y el aturdimiento durante la muerte en grandes rumiantes (*Bos indicus*, *Bos taurus* y *Bubalus bubalis*). También se trata de concientizar sobre la importancia de una buena técnica de insensibilización y de impedir la muerte dolorosa de los animales, así como detectar los signos de retorno a la sensibilidad, que son herramientas efectivas para evaluar la calidad del aturdimiento, considerando que la calidad de vida es importante, pero la calidad de muerte también, así como contribuir a la construcción de una sociedad compasiva y de trato digno con todos los seres vivos y en el contexto de bienestar animal, como lo señala actualmente la OIE, es inadmisibles permitir que los animales experimenten dolor durante su muerte y debe ser sancionable. En el siguiente capítulo, "Estresores previos a la muerte y su efecto en la calidad de la carne del búfalo de agua", se subraya que todos los eventos *ante-mortem* son estresantes para los animales productivos, lo cual tiene repercusiones sobre la calidad de la carne. Por ello, la importancia de identificar los puntos críticos para la calidad del producto, tales como el ayuno previo a la comercialización, transporte y ambiente en el búfalo y el bovino

tradicional del género *Bos*. En esa medida, se pueden tomar las previsiones necesarias y que la carne mejore sus estándares de calidad e inocuidad y, de esa manera, acceder a mercados más exigentes y rentables.

La Sección V se enfoca a *Ciencia y tecnología de los alimentos*, para lo cual se elaboraron seis capítulos. El capítulo 28 versa sobre las “Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua”, en aras de contar con un producto fresco competitivo y versátil durante el procesamiento de derivados de alto valor agregado, con los beneficios inherentes para la salud humana. Entre estos atributos destacan su bajo contenido de grasa intermuscular, de calorías, de colesterol y triglicéridos, además de un mejor valor biológico y contenido de hierro en comparación con la carne de vacuno. El siguiente capítulo se enfoca en la “Calidad de la carne de búfalo de agua: análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empaçado y autenticidad”, presentando perspectivas de estudio de la carne de búfalo, desde la producción primaria hasta su comercialización. Se procede a una comparación entre sistemas ganaderos tradicionales que predominan en los países asiáticos, su intensificación en los sistemas de pastoreo inducido y en los corrales de engorda europeos y americanos. Se recalca que la calidad de la carne depende de varios factores asociados a la producción animal, como es el sistema de producción y la alimentación; así mismo los asociados con el animal, como la genética, edad, sexo, raza y el manejo *ante-mortem*. Para avanzar en el posicionamiento de la carne se recomiendan sistemas productivos adaptados con esquemas de alimentación eficientes, además de incidir en métodos de conservación y empaque apropiados y en metodologías novedosas para detectar prácticas de adulteración de la carne de búfalo.

En el capítulo 30 se abordan las “Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala”, enfatizando que, respecto a la de vaca, la leche de búfala muestra un sabor ligeramente dulce, un color más blanquecino (por ausencia de β -caroteno), mayor contenido de vitamina A y reducido en colesterol, menor porcentaje de agua y más materia seca, por lo cual los sólidos totales son más elevados y, por ende, con mayor rendimiento en derivados lácteos. Se advierte que la composición de la leche de búfala debe ser evaluada, en especial para la elaboración de productos derivados, como el queso mozzarella, ya que los cambios en sus propiedades fisicoquímicas pueden determinar la calidad final de estos productos. Al “Queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro”, se consagra el capítulo 31, argumentando que este queso se elabora exclusivamente con leche de búfala; está protegido con denominación de origen, producido en plantas especializadas de la Campania, Lacio y Molise (Italia), con estrictos estándares de calidad, apegados a la legislación italiana. Se trata de un queso de pasta *hilada*, con corta vida de anaquel por su alto porcentaje de humedad y bajo

contenido de sal. Se recomienda difundir las bondades del queso mozzarella como un alimento funcional o queso prebiótico que contribuye en la prevención de enfermedades, con beneficios para la salud y con buen nivel de satisfacción para el consumidor. En el capítulo 32 se documenta sobre las “Tecnologías emergentes para mejorar la carne y con potencial de uso en la industria del búfalo de agua”, dado que se requiere de métodos de conservación eficaces para procesar grandes volúmenes de productos cárnicos que garanticen mayor vida útil e inocuidad, libres de aditivos químicos y que sean amigables con el medio ambiente, por lo que es necesario adoptar tecnologías de conservación que aceleren el proceso productivo y mantengan e, incluso, aumenten la calidad de los productos procesados. Con ese fin se revisan tecnologías ecológicas eficientes como el ultrasonido, las altas presiones y los campos eléctricos pulsados, que han tomado relevancia en la industria alimentaria porque pueden modificar la estructura de las proteínas y mejorar sus propiedades funcionales, permitiendo reducir el contenido de aditivos en los productos cárnicos, con amplias posibilidades de aplicarse en la carne de búfalo de agua.

Se cierra con el capítulo 33 que discurre sobre la “Aplicación del ultrasonido de alta intensidad en la industria cárnica”, asumiendo que continuamente se investiga sobre nuevos procesos para la elaboración y conservación de alimentos, con preferencia por los métodos físicos y no invasivos que minimizan los riesgos industriales y mantienen al máximo las propiedades nutritivas y organolépticas de los alimentos. En esa perspectiva, se estudia el ultrasonido de alta intensidad que, solo o en combinación con otros métodos, ha demostrado potencial para mejorar los parámetros de calidad de la carne, como terneza, propiedades funcionales de las proteínas, vida de anaquel, transferencia de masa, además coadyuva a reducir el uso de sal en carnes procesadas, mejora la cocción e inactiva microorganismos en carne y productos derivados. También eleva la terneza de la carne al causar alteración de la integridad muscular y la modificación de la estructura del colágeno. Aunque se aclara que, se requieren estudios suplementarios sobre el impacto del ultrasonido en las propiedades de la carne, antes de recomendar su uso a escala industrial, así como estandarizar su aplicación.

Como se sugiere a lo largo de esta reseña, este libro se asemeja a una especie de enciclopedia sobre los búfalos de agua en América Latina o, al menos, tiene el gran mérito de establecer el estado del arte sobre esta especie animal alternativa, lo que seguramente invitará a su lectura y, más allá, a emprender nuevas investigaciones, análisis y prácticas sobre el búfalo de agua, en aras de aumentar el conocimiento sobre su anatomía, fisiología y ciclo de vida, en la perspectiva de consolidar su desarrollo y beneficios tanto como fuente de empleo e ingresos a nivel de la producción, comercialización y procesamiento, como en ofrecer productos de alta calidad e inocuidad y de sabor diferenciado a los consumidores.

Guía para autores¹

Tipo de contribución

1. Artículos de investigación
2. Notas de investigación
3. Ensayos y revisiones bibliográficas
4. Reseñas de libros y comentarios

Los *Artículos de investigación* deben reportar resultados de investigaciones originales y no haber sido entregados para su publicación en cualquier otro medio. Los artículos no deben rebasar más de 30 cuartillas manuscritas incluyendo figuras, cuadros, referencias, etc.

Las *Notas de investigación* son una descripción concisa y completa de una investigación limitada, la cual no puede ser incluida en un estudio posterior.

La *Nota científica* debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias.

Los *Ensayos y revisiones bibliográficas* deben incluir un tema de interés actual y relevante. Estos trabajos no deben exceder las 20 cuartillas.

Las *Reseñas de libros* pueden ser incluidas en la revista en un rango de libros relevantes que no tengan más de 2 años de haber sido publicados. Las reseñas no deben exceder las 6 cuartillas.

¹ Para mayores detalles revisar esta guía en extenso en la página web de la revista: <http://xoc.uam.mx/>

Presentación de textos

La presentación implica que todos los autores autorizan la publicación del documento y que están de acuerdo con su contenido. Al aceptar el artículo la revista puede cuestionar a el (las, los) autor(as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

1. Archivo electrónico. Se enviará en documento de word como un archivo adjunto al correo electrónico aalvarez@correo.xoc.uam.mx. Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.
2. Documento impreso (papel). Se enviarán las copias impresas por mensajería a:

Adolfo Álvarez Macías

Director Editorial

Revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*

Edificio 34, 3° piso, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, CP 04960, México, D.F.

Tel: 5483-7230 y 31

Archivo electrónico

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y numerarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

Documento impreso

Para la consideración inicial del texto, es necesario enviar tres copias impresas en total, adjuntando las versiones electrónicas. Posterior a la aceptación final, deberá enviarse en un disco compacto (CD) con dos archivos: la versión final y una sugerencia de cómo quedaría impreso. En la etiqueta del disco, es necesario indicar el nombre de los archivos así como de los autores.

Preparación y consideraciones generales para el manuscrito

1. El texto deberá ser escrito en español, inglés o francés.
2. Si se decide enviar el documento impreso, es necesario adjuntar las ilustraciones originales y dos juegos de fotocopias (tres impresiones de una fotografía).
3. Deberá tener las líneas numeradas, incluyendo resumen, pies de página y referencias.
4. El texto deberá tener el siguiente orden:
 - Título (Claro, descriptivo y corto).
 - Nombre de el (las, los) autor (as, es).
 - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor para recibir correspondencia.
 - Dirección actual de el (las, los) autor (as, es).
 - Resumen.
 - Palabras clave (términos indexados) de 3 a 6.
 - Introducción.
 - Descripción del área, métodos y técnicas.
 - Resultados.
 - Discusión.
 - Conclusión.
 - Agradecimientos y reconocimientos.
 - Referencias.
 - Cuadros.
 - Mapas o anexos diversos.

Nota: El título y subtítulo deberán estar en líneas diferentes sin sangrías. Se utilizarán altas y bajas; se escribirá con mayúsculas el carácter inicial y los nombres propios.

5. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI).

Resumen

El resumen deberá ser claro, descriptivo y contener no menos de 800 ni más de 900 caracteres sin considerar los espacios para cada uno de los idiomas en que se presente. Se deberá incluir el resumen en español.

Es conveniente incluir en el resumen los resultados más significativos así como las principales conclusiones.

Cuadros

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27.9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.
2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts.) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

Ilustraciones

1. Todas las ilustraciones (mapas, líneas de dibujo y fotografías) deberán enviarse por separado, sin marco y ajustarse al tamaño de una cuartilla (21 x 27.9 cm).
2. Las ilustraciones deberán ser secuenciadas con números arábigos de acuerdo al texto. Las referencias deben ser hechas en el texto para cada ilustración.
3. Las ilustraciones que contengan texto deberán estar en Indian ink o en etiquetas impresas. Asegurarse que el tamaño del caracter sea lo bastante grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar en español, inglés y francés. Usar el mismo tipo de caracter y estilo de la revista.
4. Cada ilustración debe tener una leyenda.
5. Las fotografías sólo son aceptables si tienen un buen contraste e intensidad. Las copias deben ser nítidas y brillantes.
6. Pueden enviarse ilustraciones a color, pero deberá tomarse en cuenta que serán convertidas en escala de grises para su publicación.
7. El formato de entrega será tiff o eps en alta resolución (300 dpi a tamaño carta o proporcional para su manejo).

Referencias

1. Todas las publicaciones citadas a lo largo del documento deberán ser presentadas con datos en la lista de referencias al final del texto.

2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.
3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido de el (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

a. De publicación periódica

Gligo, N., 1990, “Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola”, *Comercio Exterior*, 40(12):135-142.

b. Editado en Simposium, edición especial etc, publicación en periódico

CIAT-UNEP, 1995, Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe, Documento de discusión, Taller regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad, PNUMA, México.

c. De libros

Sassen, S., 1999, *La ciudad global*, EUDEBA/Universidad de Buenos Aires, Argentina.

d. De un capítulo en libro

Muñoz, O., 1991, “El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas”, en Sunkel, O., (comp.), *El desarrollo desde dentro*, Lecturas, núm. 71, FCE, México.

e. De tesis

Evangelista, O. y C. Mendoza, 1987, *Calendarios agrícolas en cuatro ejidos del Municipio de Coxquibui, Veracruz*, tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

f. De referencias de sitios

Banco Central de la República Argentina, 2005. “Entidades Financieras: Información por entidad”, disponible en <http://www.bcr.gov.ar/comunes/p0003.asp>, consultado el 23/01/2005. Fecha última actualización: 07/01/2005. Unión Cívica Radical: Comité Nacional (UCR Web). Disponible en: <http://wwwwww.ucr.org.ar/>, consultado el 28/10/2000.

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos
Schrader, A., 1999, "InternetCensorship: Issues for teacher-librarian", en *Teacher Librarian*, vol. 26, núm. 5, Academic Search Elite, pp. 8-12, disponible en <http://www.epnet.com/ehost/login.html>, consultado el 28/11/2000.

Para otros ver detalles en página web de la revista.

Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el caracter O y entre el 1 y el caracter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.
5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son $P < 0.05 = *$, $P < 0.01 = **$ y $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como Ca^{2+} y no como Ca^{++} .

Pie de página

1. Se recomienda hacer los pies de página a través de un procesador de textos.
2. En caso de utilizarlos, deberán numerarse en el texto, indicando el número como superíndice y que sean tan cortos como sea posible. El tamaño del carácter será de 8 pts.

Nomenclatura

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.

3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

Derechos de autor

1. Cuando el autor cite algún trabajo de otra persona o reproduzca una ilustración o tabla de un libro o artículo de revista debe estar seguro de no estar infringiendo los derechos de autor.
2. Aunque en general un autor puede citar de otro trabajo publicado, debe obtener permiso del poseedor del derecho de autor si se requiere reproducir tablas, placas u otras ilustraciones.
3. El material en trabajos no publicados o protegidos, no podrá ser publicado sin obtener el permiso por parte del poseedor de los derechos.
4. Deberá incluirse un agradecimiento por algún material autorizado para su publicación.

Criterios de ditaminación y pruebas del formato del trabajo

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial. Para ser publicado cada trabajo deberá contar con dos dictámenes aprobatorios.
2. Si el documento cuenta con observaciones, se regresará el texto para la corrección. Una vez realizadas las correcciones conforme a los criterios de evaluación del Comité Editorial de la revista, se enviará una prueba de formación al autor correspondiente. Sólo los errores tipográficos serán corregidos; no se harán cambios o adiciones al documento.

Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.
Revista electrónica
Se terminó de formar en Agosto de 2021