

MIGUEL HERNÁNDEZ ALVA Y
LAURA JOCELYN RAMÍREZ MARTÍNEZ (Coords.)

Los pueblos al oriente del lago de Texcoco

- 1 -

SANTA ISABEL IXTAPAN

Los guardianes del modo de vida
lacustre del lago de Texcoco



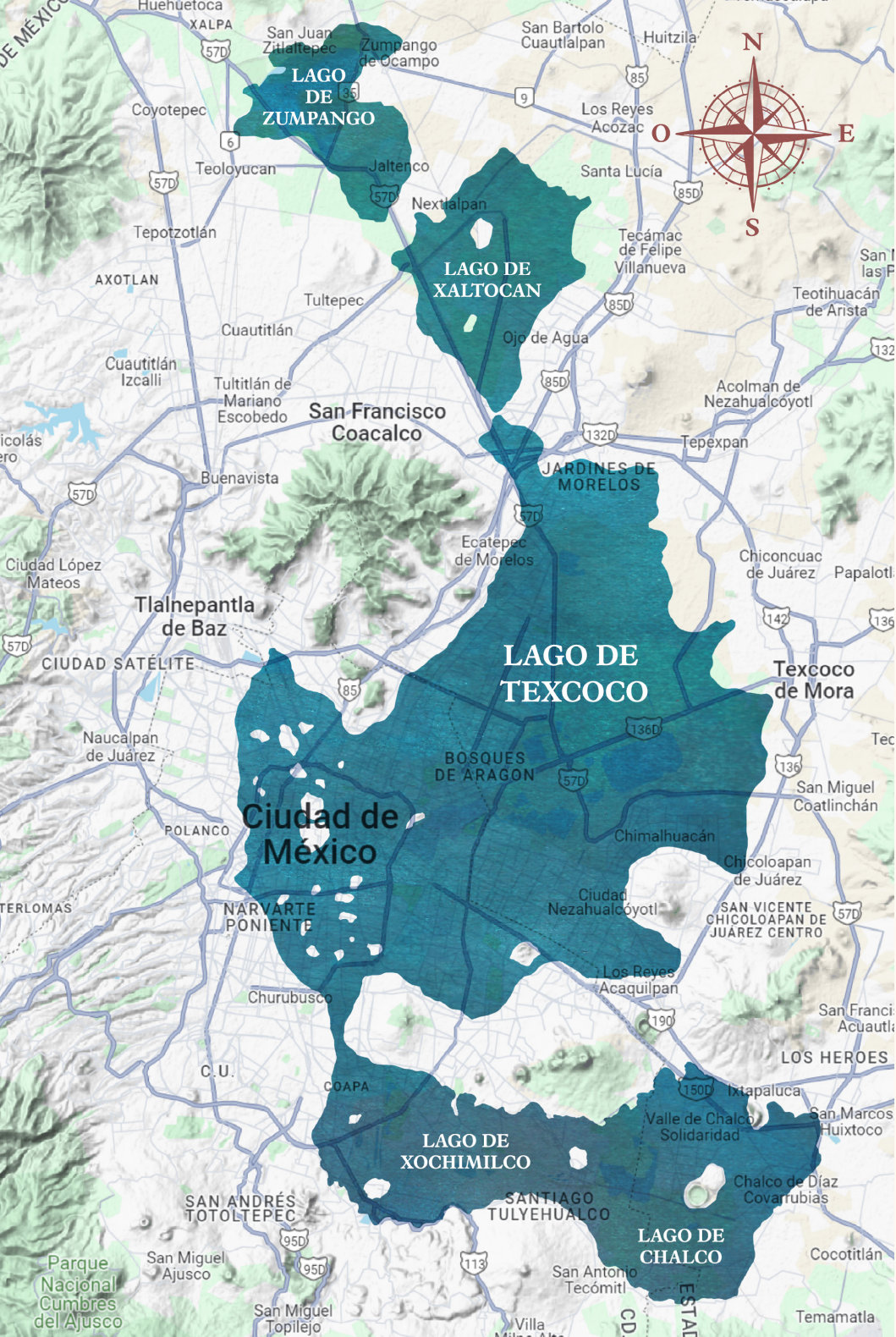
Universidad Autónoma
CHAPINGO



KIKULTICH
FUNDACIÓN DE NUESTRAS RAÍCES A.C.



Este es el primer número de la Colección Los pueblos al oriente del lago de Texcoco, resultado del esfuerzo interdisciplinario del Laboratorio de Sustentabilidad y Sistemas Socioecológicos de la UACH en colaboración con investigadoras e investigadores de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Los autores nos dimos a la tarea de crear una obra que, siempre de la mano de los habitantes, sea de utilidad para las y los pobladores de Santa Isabel Ixtapan y que, al mismo tiempo, tenga la rigurosidad académica que le permita apoyar en la actualización de información, generación de más preguntas y que sea parte de las bases para la construcción de la sustentabilidad en la región. En este número se presenta un acercamiento a la historia socioecológica del pueblo y ejido de Santa Isabel Ixtapan o Ixtapan, un estudio sobre la vegetación acuática del lago de Texcoco, así como una investigación de la etnohistoria actualizada del uso de la espirulina, y finalmente, dos trabajos sobre los ciliados y algas del lago de Texcoco.



Mapa de los lagos del centro de México antes de las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales, basado en el trabajo de Niederberger-Betton (2018) por Dayananda Foraois.

MIGUEL HERNÁNDEZ ALVA Y
LAURA JOCELYN RAMÍREZ MARTÍNEZ (Coords.)

Los pueblos al oriente del lago de Texcoco

- 1 -

SANTA ISABEL IXTAPAN

Los guardianes del modo de vida
lacustre del lago de Texcoco



La presente obra está bajo una licencia de Creative Commons:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ATRIBUCIÓN - NO COMERCIAL - NO DERIVADOS 4.0 INTERNACIONAL (CC-BY-NC-ND 4.0)

Usted es libre de compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato sin adaptarlo o modificarlo. En tanto usted siga los términos de la licencia:

Atribución, usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

No comercial, usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales

No derivados, usted no puede remezclar, transformar o crear a partir del material.

Este resumen destaca solo algunas de las características clave y los términos de la licencia real. No es una licencia y no tiene valor legal. Usted debe revisar cuidadosamente todos los términos y condiciones de la licencia actual antes de usar el material licenciado.

Director y coordinador del comité editorial, edición y seguimiento general

Miguel Hernández Alva

Comité y editores literarios

Miguel Hernández Alva, Laura Jocelyn Ramírez-Martínez, Daya Ananda Navarrete Vargas y J. Ricardo Hernández Lee

Cuidado, diseño editorial y de portada

Dayananda Foraois

Foto de portada:

Miguel Hernández Alva. El señor Porfirio Pineda Sánchez recolectando mosco en la Ciénega de San Juan, 2023

Hernández Alva, M. y L. J. Ramírez Martínez [Coords.]. (2024). Los pueblos al oriente del lago de Texcoco (1). Santa Isabel Ixtapan. Los guardianes del modo de vida lacustre del Lago de Texcoco. Editorial Kikuiltich Fundación DJ Nuestras Raíces A.C. 208 pp.

Primera edición, 2024

ISBN de la colección: 978-607-99588-4-8

ISBN del número: 978-607-99588-5-5

© 2024 Fundación DJ Nuestras Raíces A. C.

Calle Francisco I. Madero Sur, No. 8,

Col. San Bartolomé Xicomulco, Milpa Alta, C. P. 12250.

Correo electrónico: mhernandez@chapingo.mx y

editorial.kikuiltich@fundacionnuestrasraices.org

<https://fundacionnuestrasraices.org/>

Impreso en México / Printed in Mexico

D.R. © Miguel Hernández Alva

D.R. © Dayananda Foraois

D.R. © Mizrain Sánchez

Este libro fue revisado por pares, bajo el sistema de doble ciego.

Todos los derechos reservados. Esta edición y sus características pertenecen a Fundación DJ Nuestras Raíces A. C. Para esta obra se utilizó la tipografía Espinosa Nova diseñada por Cristóbal Henestrosa y su uso fuera de esta obra requiere la adquisición de una licencia.

Directorio Universidad Autónoma Chapingo

Dr. Angel Garduño García
Rector

M. C. Noé López Martínez
Director General Académico

Ing. Jorge Torres Bribiesca
Director General de Administración

Dr. Samuel Pérez Nieto
Director General de Patronato Universitario

Dra. Consuelo Silvia Olivia Lobato Calleros
Directora General de Investigación y Posgrado

Mtra. Tania Jéssica Pérez Buendía
Directora General de Difusión Cultural y Servicio

M. C. José Rodrigo Alonso Sánchez
Subdirector de Difusión Cultural

Dra. Viviana A. Carvajal Salazar
Jefa del Departamento de Publicaciones

M. C. Miguel Hernández Alva y Quím. José Ricardo Hernández Lee
*Unidad de Comunicación de la Ciencia y la Técnica, UCCyT
Laboratorio de Sustentabilidad y Sistemas Socioecológicos (LSySSE)*

Este libro forma parte de los productos del proyecto de investigación titulado: Relación entre la cosecha tradicional y los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la espirulina (*Limnospira maxima*, Microcoleaceae) en el sistema socioecológico lacustre del Lago de Texcoco. proyecto No. I-B-187-23.

Para su publicación como libro electrónico, tuvo el apoyo económico del proyecto PDC-2023-033, Los territorios y pueblos al oriente del lago de Texcoco, beneficiado por la convocatoria 2023 del CUDC.

A todxs aquellxs que han dedicado sus vidas para la conservación de la forma de vida lacustre, del lago de Texcoco, que pelearon para que el aeropuerto no borrara la vida que ahí florece, en especial a los poblados de Santa Isabel Ixtapan, San Cristóbal Nexquipayac y San Salvador Atenco.

Santa Isabel Ixtapan es memoria viva, pueblo que lucha día a día por su soberanía y sus derechos, que las luchas sociales y ecológicas del mundo sigan viendo en sus pobladorxs un ejemplo, una base para la resistencia y la búsqueda incansable de la victoria.

En estos días, el modo de vida lacustre es más importante que nunca, pues la amenaza neoliberal es cada vez más fuerte sobre estos territorios.

Una mención especial para Miguel Ángel Galicia Rojas y Antonio Vallejo Cortés por su incansable lucha en la conservación del lago de Texcoco, en paz descansen.



Lago de Texcoco y el cambio climático

Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco

© Mizraín Sánchez, octubre 2023



Índice

Presentación

11

Capítulo 1. Santa Isabel Ixtapan. Historia, procesos de cambio como sistema socioecológico y situación actual

15

*Rodolfo Hernández Casarreal, Miguel Hernández Alva,
Laura J. Ramírez Martínez, José Ricardo Hernández
Lee y Hugo Sánchez Solórzano*

<u>La prehistoria de Ixtapan</u>	18
<u>Orígenes de Santa Isabel Ixtapan</u>	24
<u>Las haciendas y la imposición colonial</u>	27
<u>El resurgimiento de la forma de vida lacustre</u>	36
<u>“Tecuitlatl” un producto clave de sistema socioecológico lacustre</u>	39
<u>El ancestral tequesquite y Sosa Texcoco</u>	42
<u>La lucha por la tierra en Santa Isabel Ixtapan</u>	49
<u>El renacer de la ciénega de San Juan</u>	53
<u>Los riesgos del “desarrollo”</u>	55
<u>Las expropiaciones del ejido</u>	61
<u>Conclusiones</u>	63
<u>Agradecimientos</u>	64
<u>Referencias</u>	66

Capítulo 2. Listado histórico de las plantas acuáticas del lago de Texcoco, Estado de México

Hugo López-Camarillo y Alexis Josué Sánchez-Lara

71

<u>A las orillas de la historia: algunas investigaciones sobre la flora del lago de Texcoco</u>	73
<u>Refugio lacustre: un testamento del lago de Texcoco como Área Natural Protegida</u>	75
<u>Un lago que se extingue: las problemáticas del lago de Texcoco</u>	77
<u>Las hijas del agua y sal: las plantas acuáticas que habitan en el lago de Texcoco</u>	79
<u>Visión hacia el futuro: lo que queda por hacer</u>	100
<u>Referencias</u>	102

Capítulo 3. Pasado y presente de Espirulina. Una revisión etnoficológica

César Lobato Benítez

110

<u>¿Quién es espirulina? Filogenia y taxonomía</u>	112
<u>Descripción morfológica</u>	118
<u>Distribución y ecología</u>	119
<u>Etnoficología</u>	121
<u>Usos tradicionales</u>	122
<u>Sobre los usos potenciales</u>	136
<u>Bioactividad y usos terapéuticos</u>	138
<u>Consideraciones finales</u>	144
<u>Agradecimientos</u>	148
<u>Referencias</u>	149

Capítulo 4. Presencia de ciliados (Alveolata: Ciliophora) asociados al cultivo de espirulina (*Limnospira maxima*) en dos ambientes del sistema lacustre del lago de Texcoco **157**

Carlos Alberto Durán Ramírez y Rosaura Mayén-Estrada

<u>Introducción</u>	162
<u>Materiales y métodos</u>	165
<u>Resultados</u>	167
<u>Discusión</u>	171
<u>Referencias</u>	175

Capítulo 5. Ciliados y algas de la zona del lago de Texcoco **179**

Rosaura Mayén-Estrada, Eberto Novelo, Alejandra Mireles Vázquez, Eleonor Cortés-López y Margarita Reyes-Santos[†]

<u>Introducción</u>	181
<u>Materiales y métodos</u>	183
<u>Resultados</u>	184
<u>Discusión</u>	196
<u>Agradecimientos</u>	200
<u>Referencias</u>	201

Lista de fotografías **206**

Mizrain Sánchez



Los Amealcos

Santa Isabel Ixtapan, Atenco

© Mizrain Sánchez, marzo 2024

Presentación

Ante las actuales crisis sociales y ecológicas es necesario contar con información de referencia, actualizada, confiable y, sobre todo, contextualizada y abierta para ser leída por todo público. Ya no basta con producir información que solo va a ser leída por académicos o que será archivada en bibliotecas con acceso limitado a las instituciones, es necesario ir más allá, avanzar en el camino de la democratización de la ciencia, en la apertura del conocimiento y en los procesos participativos de la construcción del mismo conocimiento.

Este libro fue pensado como una herramienta democrática y anticolonial, porque ya no sería construido desde las instituciones solamente, en una comunicación vertical, sino desde una dinámica participativa con los mismos pueblos, donde reside también una voz, una experiencia y una memoria. Así, los cinco textos presentes en este libro dedicado al pueblo y ejido de Santa Isabel Ixtapan, Atenco, Estado de México, abordan sus primeros pasos en ese sentido.

Los capítulos hablan de temas fundamentales del pueblo y del ejido. El primero de ellos habla de la historia, los procesos dentro del territorio a través de la lente de la historia del sistema socioecológico y los retos a futuro dentro de un marco como pueblo y como ejido. El segundo capítulo habla de las especies de plantas acuáticas presentes en el lago de Texcoco, desde los primeros registros botánicos formales hasta la actualidad, constituyendo una aproximación al problema de la reducción de espacios inundables y a la sobrevivencia de algunas especies vegetales emblemáticas y cruciales del sistema socioecológico lacustre. El tercer capítulo aborda el pasado y presente de la espirulina desde una perspectiva etnoficológica, lo que resulta necesario no solo en el contexto del libro sino como una actualización del conocimiento fragmentado acerca de unos de los seres vivos que constituye la base de las redes tróficas del sistema socioecológico lacustre. El cuarto capítulo presenta datos acerca de la presencia de los ciliados asociados al cultivo de la espirulina en dos ambientes del sistema lacustre, lo que contribuye no solo a entender las relaciones ecológicas de la renombrada cianobacteria, sino a entender como estas relaciones cambian o se mantienen en un contexto de producción en ambientes controlados.

El último y quinto capítulo nos presenta una escala de estudio mayor, pero necesaria, pues presenta avances en el estudio de los ciliados y algas de la zona del lago de Texcoco, lo que es no solo sorprendente, sino fundamental por las relaciones ecológicas por descubrir, por la necesidad de saber cómo sobreviven en ambientes salinos y por la ausencia histórica de información acerca de esos seres microscópicos que abundan en esta región del centro de México.

Esperamos que este primer esfuerzo editorial sea del agrado de las y los lectores, tanto para los habitantes de Santa Isabel Ixtapan como de lxs estudiantxs, académicxs e investigadorxs interesadxs en conocer más acerca de la vida que habita en esta región al oriente del lago de Texcoco y que más interrogantes surjan en el marco de un cambio de paradigma de ciencia participativa, horizontal y de sustentabilidad.

Miguel Hernández Alva



Tequesquite tepalcate

El Amealco, Sta. Isabel Ixtapan, Atenco
© Mizrain Sánchez, enero 2023



Recolectores de tequesquite

Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
© Mizrain Sánchez, febrero 2024

Capítulo 1

SANTA ISABEL IXTAPAN HISTORIA, PROCESOS DE CAMBIO COMO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO Y SITUACIÓN ACTUAL

*Rodolfo Hernández Casarreal, Miguel Hernández Alva¹,
Laura J. Ramírez Martínez, José Ricardo Hernández Lee y
Hugo Sánchez Solórzano*

Resumen: La memoria colectiva de los pueblos es una fuente de información fundamental que debe ser tomada en cuenta junto con otras fuentes para la construcción de la sustentabilidad ante un panorama de crisis socioecológica y climática. El objetivo del presente trabajo fue contribuir a una revalorización de la historia del pueblo y ejido de Santa Isabel Ixtapan, Atenco, Estado de México a través de recuperación de información de distintas fuentes, incluyendo la literatura gris. El pueblo y ejido de

Santa Isabel Ixtapan posee una vasta historia que abarca desde hace 11 mil años, siendo una región ecológica relevante para el surgimiento de los modos de vida lacustre de los pobladores de la época y que persiste hasta la actualidad. Fue una región que moldeó los orígenes de algunas de las grandes culturas del centro del país y no ha sido ajena a los procesos de colonización, revolucionarios y de la contradicción entre la modernidad y las políticas de conservación neoliberal a nivel nacional.

Palabras clave: Santa Isabel Ixtapan, lago de Texcoco, memoria colectiva, sustentabilidad, socioecosistemas.

Abstract: *The collective memory of people is a fundamental source of information that must be taken into account along with other sources for the construction of sustainability in the face of a socio-ecosystemic and climate crisis. The objective of this work was to contribute to a revaluation of the history of the town and ejido of Santa Isabel Ixtapan, Atenco, State of Mexico through the recovery of information from different sources, including*

gray literature. The town and ejido of Santa Isabel Ixtapan has a vast history that spans 11 thousand years, being an ecological region relevant to the emergence of the lake lifestyles of the settlers of the time and that persists to the present day. It was a region that shaped the origins of some of the great cultures of the center of the country and has not been immune to the processes of colonization, revolutions and the contradiction between modernity and neoliberal conservation policies at the national level.

Key words: *Santa Isabel Ixtapan, Lake Texcoco, collective memory, sustainability, socioecosystems.*

¹ Autor de correspondencia: mhernandez@chapingo.mx

La prehistoria de Ixtapan

El lago de Texcoco ha contado y todavía puede contar muchísimas historias, pero entre sus antiguas orillas y deltas hay un lugar especial, un lugar donde la megafauna y los primeros pobladores se encontraban, con el tiempo ese lugar sería llamado Ixtapan. Los estudios antropológicos y paleoclimáticos indican que Ixtapan está ubicado sobre la que fuera la fértil y amplia desembocadura del río San Juan Teotihuacán (aunque un poco más al sur se encontraba la desembocadura del río Papalotla), a su vez, ese río recorría con su gran cauce desde la sierra circundante a Teotihuacán hasta la orilla noreste del lago donde abundaban las ciénegas y había una gran cantidad de vegetación acuática asociada a las aguas someras. Probablemente ese ambiente era muy activo, pues supone un gran dinamismo estacional entre el agua dulce del río y el agua salada presente en las ciénegas. En las antiguas orillas de aquellas ciénegas se han encontrado una gran cantidad de vestigios de la megafauna presente hace unos 4500 a 11000 años A.P., durante la Era de Hielo. En específico, se han encontrado restos de mamuts que fueron cazados por los primeros pobladores, pues también se han encontrado restos de

herramientas utilizadas para abatir a los animales y para el corte de la carne y las pieles (Niederberger-Betton, 2018; INAH, 2023; Rojas Chávez y Medina González, 2023; Secretaría de Cultura, 2023).

Ixtapan pertenece a una región donde los hallazgos de la antigüedad son vastos e importantes, se trata de la orilla nororiental de lago de Texcoco, pues desde Tlapacoya hasta Zumpango, pasando por Tocuila y Tepexpan, han sido encontrados restos de megafauna y de los antiguos pobladores, lo que nos da una idea de la importancia de seguir investigando la zona, tanto por los pobladores actuales como por los académicos de las universidades y centros de investigación nacionales y extranjeros. Ixtapan sorprendió al mundo por ser el segundo sitio donde se encontraron restos de mamuts en la cuenca baja de México, pues en 1945 se encontró el primer mamut en Tepexpan, una población ubicada a escasos dos kilómetros al norte de Ixtapan y, posiblemente, un sitio donde también había antiguas ciénegas donde pudieron ser emboscados y cazados esos enormes animales (Niederberger-Betton, 2018; Rojas Chávez y Medina González, 2023).

El primero de los dos hallazgos de mamuts en Ixtapan lo realizó Mariano Vallejo en 1949. Posteriormente, Luis Aveleyra y Eduardo Pereyón fueron los comisionados por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia

(INAH) para evaluar el hallazgo en campo. Sin embargo, al llegar solo encontraron fragmentos del cráneo, pues ya habían desaparecido muchos fragmentos del cráneo y también los colmillos. Fue hasta 1952, ya con la fundación del Departamento de Prehistoria del INAH, que se empezaron a estudiar los restos óseos del ejemplar identificado como parte de la especie *Mammuthus imperator* Leidy y también fueron encontrados varios artefactos: dos cuchillos de sílex, dos raederas y una navaja de obsidiana. El segundo mamut, identificado como un *Mammuthus colombi* o mamut de las praderas, fue encontrado en 1954, más al sur que los primeros restos óseos y fue a través de una excavación de un dique de irrigación. Los señores Trinidad Cortés, Leonardo Ramos Calderón y Ángel Peña ayudaron con las excavaciones del mamut en ese segundo sitio. Los restos de los dos mamuts de Ixtapan y el de Tepexpan son importantes porque se considera que son coetáneos con los restos del llamado “Hombre de Tepexpan”, que en realidad se trata de una mujer, y juntos son la prueba de que los mamuts pudieron existir en regiones más al sur del continente americano al final de las glaciaciones, más tardíamente de lo que se pensaba en aquellos años de su hallazgo. De hecho, se han encontrado mamuts en Hidalgo, Puebla y

Oaxaca, lo que extiende su distribución más al sur de lo pensado. También, pueden ser una evidencia de la participación de las mujeres en la cacería de esos enormes animales y de la mayor antigüedad de las puntas de los proyectiles con respecto a las encontradas en los Estados Unidos. Sin dejar de mencionar que son la evidencia de que en Ixtapan y Tepexpan se pudo establecer una zona de campamentos de caza de megafauna por emboscada, algo que resulta extraordinario (Figura 1) (Bravo Cuevas et al., 2020; Rojas Chávez y Medina González, 2023).

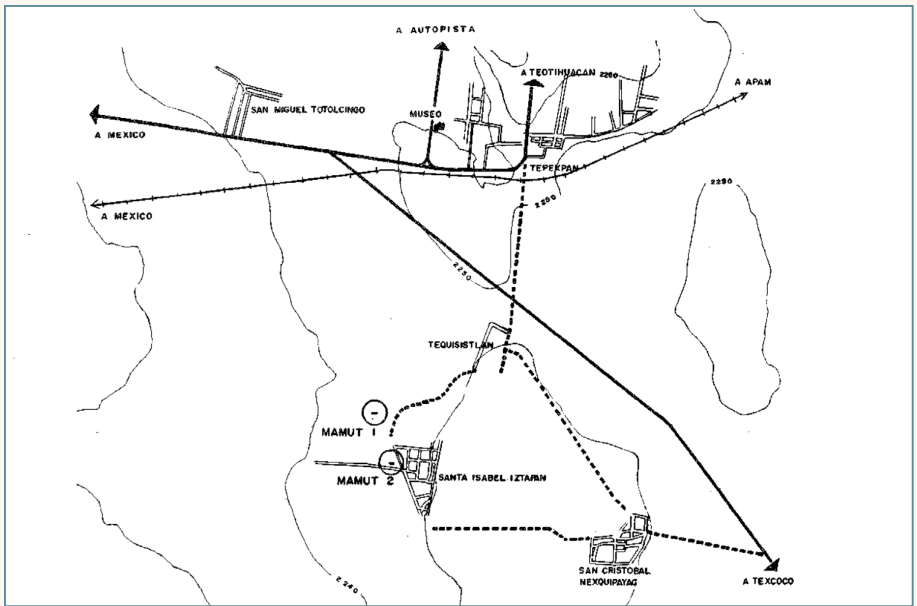


Figura 1. Ubicación de los restos de mamuts encontrados en Santa Isabel Ixtapan, Atenco, Estado de México, cerca de la población en los años cincuenta del siglo pasado. Fuente: Rojas Chávez y Medina González (2023).

Finalmente, los trabajos de Niederberger-Betton (2018), muestran que Ixtapan era precisamente ese lugar de ciénegas, aguas someras, habitado por una rica vegetación acuática y visitado también por una enorme cantidad de especies de aves migratorias y locales. De hecho, la autora menciona que hay que hacer una corrección sobre el mapa que popularmente se reproduce para hablar del lago de Texcoco y que está construido sobre la idea de que el gran lago seguía la curva de nivel de los 2400 msnm, cosa que resulta erróneo y que da la idea de un conjunto de cinco lagos interconectados por la columna de agua, cuando la real conexión se establecía por una serie de escurrimientos superficiales, subterráneos y las correspondientes zonas de ciénegas y vegetación acuática asociada, tal como se muestra en la Figura 2. Así fue encontrado por los pueblos chichimeca (*Ézá'r*), nahuas (*naualtepemeh*) y acolhua y prácticamente en ese estado fueron encontrados los lagos por los europeos. Así continuó esa orilla hasta principios del siglo XX, pero empezó a sucumbir ante los proyectos para la desecación de la cuenca.

Lamentablemente, desde los años cincuenta del siglo pasado, Ixtapan y los pueblos aledaños fueron alterados con el control y desvío del cauce del río San Juan, prin-

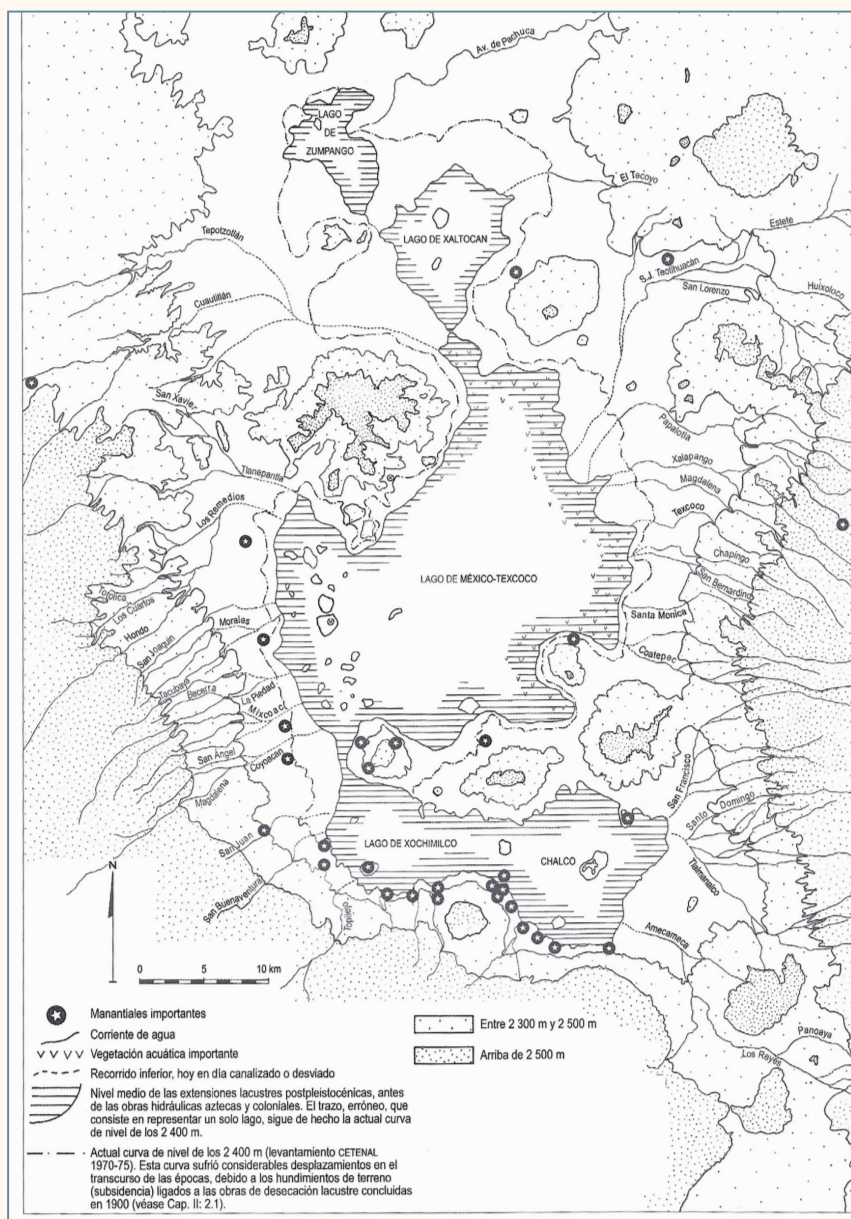


Figura 2. Mapa de los cinco lagos del centro de México según la reconstrucción paleoambiental de Christine Niederberger-Betton. Fuente: Niederberger-Betton (2018).

principalmente por la construcción de las grandes vías de comunicación como la carretera México- Pirámides y la Lechería- Texcoco, lo que propició la desecación de sus tierras y la pérdida de la fertilidad de las mismas, alterando mucho de su dinámica cultural casi de manera irreversible. El crecimiento de los pueblos aledaños y la llegada de algunas industrias a la zona también generarían sus impactos ambientales sobre la disponibilidad de agua y de los suelos más fértiles. Paralelamente a los acontecimientos del hallazgo de los mamuts, se desarrolló la electrificación del pueblo, en el año de 1947, así como el sistema de agua potable, inaugurado el año de 1961.

Así, la rica historia de Ixtapan nos llevará muchos siglos adelante, a la época en que se le nombra como conocemos, cuando el territorio sería habitado por pueblos chichimecas (*Ézá'r*), por los pueblos nahuas y acolhua que son unas de las raíces de los actuales pobladores.

Orígenes de Santa Isabel Ixtapan

El origen de la palabra Iztapan se encuentra en la unión de dos vocablos del náhuatl, y se compone de *iztatl* que significa sal y *pan* que significa en o sobre de, dando

como significado: en la sal o lo que hoy se entiende como salinas (forma moderna), aunque algunos lo pueden interpretar como: *en las aguas saladas*. Aquí viene unas de las discrepancias con respecto al uso adecuado de la palabra Ixtapan, como lo hacen los pobladores y la palabra que indica la lingüística como correcta, es decir, Iztapan. Sea cual sea el caso, en este capítulo nos referiremos a Santa Isabel Ixtapan por ser este el nombre más usado por los habitantes y el que aparece en la escasa literatura con que se cuenta (Cruces Carbajal, 2000; Galindo Castro, 2023).

Generalmente se habla de una fundación de los pueblos a partir de la dominación colonial, pero no se menciona la preexistencia de muchos de esos pueblos antes de la llegada de los europeos, principalmente por cuestiones hegemónicas. Así pues, en este escrito supondremos que en el actual territorio de Santa Isabel Ixtapan ya había un pequeño poblado a la orilla de los cuerpos de agua o que ese era un lugar visitado por los pobladores Ézá'r y de otros pueblos para obtener muchos de los productos que aun hoy se siguen obteniendo, de ahí la importancia de imponer una iglesia precisamente ese sitio, como sucedió en la etapa colonial. No se puede dar una fecha exacta de la refundación del pueblo durante la colonia, pero algunos pobladores tienen claro que esta

se realizó en el siglo XVI, basándose en la existencia de un supuesto mapa que data de 1621, en donde se menciona que el pueblo ya contaba con una iglesia, y que, según algunas fuentes, fue construida en el año 1545, aunque por desgracia, la placa que podría confirmarlo, ya no existe. Sin embargo, existe información antropológica y arquitectónica que indica que se trata de uno de los poblados más antiguos dentro del municipio de Atenco, junto con San Francisco Acuezcómac, San Cristóbal Nexquipayac y San Andrés Tequisistlán en el municipio vecino de Tezoyuca (Cruces Carbajal, 2000; Galindo Castro, 2023).

Ixtapan es el pueblo más alejado de la cabecera municipal, ubicado al noreste del municipio y limita con los municipios de Tezoyuca, Acolman y Ecatepec. Este último municipio alberga la primera ciudad capital Ézá'r en la zona y que fuera fundada en 1010, lo que sugiere que la zona fue importante por el intercambio cultural entre otros pueblos y los Ézá'r en una época anterior a la fundación de Texcoco. Después, este pueblo estuvo sujeto a Nexquipayac, de acuerdo con la organización eclesiástica del siglo XVI, ya que tenía una población menor a la de la cabecera de doctrina. Así, por las características de la iglesia curiosamente dedicada a Santa Isabel (que data del siglo XVI) y que consisten en un frontispicio o fachada

frontal de tres cuerpos, con una torre campanario compuesta de dos vanos para campanas, se sugiere un gran valor histórico-religioso y que sirve como referencia para establecer el origen del pueblo. También, hay un título de tierras que data de 1639, lo que refuerza la idea de una población fija en la zona (Cruces Carbajal, 2000; Barrera y Barrera, 2009; Lazcano, 2021; Galindo Castro, 2023).

Las haciendas y la imposición colonial

En la zona se establecieron dos grandes haciendas y unas más pequeñas. Esas dos grandes haciendas fueron La Grande y La Parda. La primera era conocida oficialmente como la Hacienda de San Miguel Coyotepec o La Grande, fue fundada en el siglo XVIII (1703) y es tomada como un clásico ejemplo de las haciendas cerealeras mexicanas que se mantuvieron hasta el siglo XX. Es probable que la hacienda haya pertenecido a particulares españoles en sus inicios (se menciona al Alférez Gerónimo de Guzmán), pero posteriormente pasó a ser propiedad de los R.R. P.P. Dominicanos de la Provincia de Filipinas, como lo registra el Padrón de Población de la Ciudad de Tezcoco, realizado en 1786 por el Teniente Coronel gra-

duado Antonio Bonilla, para después pasar a manos de la familia Campero Cervantes. Su producción se dedicaba principalmente a cereales como el maíz, trigo, cebada y algunas leguminosas como el frijol, entre otros productos como el pulque, el ganado para la producción de lana y los patos que se cazaban en sus ríos. Su época de mayor actividad fue durante el Porfiriato (1880-1910), etapa en que los hacendados lograron obtener la mayor fortuna económica al explotar al máximo el trabajo de los peones de poblaciones aledañas, entre ellas Santa Isabel Ixtapan y Atenco. Abarcó, junto con otra hacienda llamada La Chica o Transfiguración de Atenco, más de 4 222 hectáreas o 42.22 km² (Cruces Carbajal, 2000; Coronel Sánchez, 2005; Rosas Vargas, 2013).

Por otro lado, la Hacienda La Parda es muy importante para el pueblo de Ixtapan, porque muchos de sus habitantes trabajaron o tuvieron que ver directa o indirectamente con ella, cuando esta existía. La hacienda estaba ubicada en la parte sur del pueblo, se calcula su fundación en el siglo XVIII, pero no se puede dar una fecha exacta por carecer de fuentes de información confiables, por lo cual, se da fe únicamente de su decadencia. El dueño de esa hacienda fue Pedro Escudero Echánove que, además, tenía otras propiedades como: las hacien-

das de Tepexpan, El Liévano, El Molino, La Cadena, Santa Catarina y San Antonio, la mayoría ubicadas en el área de Teotihuacán. En la última etapa de la hacienda, aparecen como dueños los hermanos Rómulo y María de la Concepción Escudero Pérez-Gallardo, que fueron los que entregaron la hacienda cuando se expropió (R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023). Como dato relevante, la Hacienda de Tepexpan fue una de las haciendas que dieron sostén a la manutención de los estudiantes indígenas del Colegio de San Gregorio en la Ciudad de México, antecedente más antiguo y primer sede de lo que a finales del siglo XX se convertiría en la Universidad Autónoma Chapingo (Rosas Vargas, 2013; Hernández Alva, 2024).

En los registros de Rosas Vargas (2013) no se menciona la hacienda La Parda, pero si se menciona la hacienda de Ixtapan o la Hacienda Vieja, que pasó de manos jesuitas a manos de Pedro Escudero por medio de una venta en tiempos de la Reforma. Según esos mismos registros, la hacienda de San José Acolman, Tepexpan e Ixtapan, junto con unos ranchos anexos, fueron propiedad de Escudero y para 1893 sumaban 4,450 ha. Mientras que, para 1917, la familia llegó a acumular más tierras en lo que serían hoy los municipios de Acolman y Atenco, por una extensión de 8,809 ha.

En aquellos tiempos de las haciendas, según los testimonios de los pobladores como los autores de este trabajo, la gente se ganaba la vida de dos maneras, principalmente. Una era trabajando para alguna de las haciendas, mientras que la otra, era dedicándose a la arriería.

La jornada de trabajo en la Hacienda La Parda o Ixtapan empezaba a las seis o siete de la mañana y terminaba a las seis de la tarde, a las diez u once del día tenían un descanso que aprovechaban para comer lo que les llevaban las tlacualeras (sus esposas). Las mujeres recibían este nombre por el hecho de llevar la comida, acción que se denominaba tlacualiar. A las tres de la tarde tenían otro descanso, donde comían de lo que apartaban de la anterior comida acompañado del pulque que les traía el rancharo de los tinacales, que también eran propiedad del hacendado. El sueldo que ganaban era de un real diario, que equivalía a 12 centavos. Se trabajaba de lunes a sábado y el domingo era el día de descanso que ocupaban para ir a misa, un domingo en la iglesia del pueblo, dedicada a Santa Isabel, y otro en la capilla de la hacienda, en la cual tenían como santo patrón a San Simón (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023). Las actividades que realizaban los peones de la hacienda eran: el corte de la alfalfa, trigo, maíz, re-

molacha y el cuidado del ganado fino llamado “Dora o Doran”. En tiempos donde no había cosecha, se dedicaban a limpiar los ríos (un sistema de riego), así como el bordeo de charcos en los que almacenaban agua, ya que, del total de superficie laborable anualmente, la mitad la llenaban de agua y la otra mitad se cultivaba. Siendo al inverso al año siguiente (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casareal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

La hacienda contaba con un sistema propio de ríos o canales que distribuía el agua entre las tierras cultivadas, esos ríos se llamaban besana y separaban las parcelas grandes (20 a 30 ha, aproximadamente) para la siembra de trigo, maíz, avena o remolacha. Al parecer, las besanas presentes actualmente en Ixtapan aún llevan los nombres: La Rosa, San Simón, San Ramón, Santa Cruz, Nopaltitla, San Bartolo, El Presidio, San Cristobalito, entre otros. Esas besanas recibían el agua del río San Juan que aún nace en Teotihuacán, pero otras recibían agua de los ríos Nexquipayac, Xalapango, Nonoalco, San Bartolo, Coxacoaco y Papalotla. Algunas llegaron a ser tan extensas, que ahora corren paralelas a las calles principales del pueblo, otras llegaron hasta el Cerro Huatepec y el Tepetzingo, aunque muchas han dejado de conducir agua en nuestros días. Algunas tuvieron que ver con la zona que

hoy conocemos como Ciénega de San Juan (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

En esa época existía mucha represión hacia los peones por parte de los hacendados, esto a través de los caporales que vigilaban que se realizaran las labores, también eran muy egoístas con la gente del pueblo que no trabajaba en la hacienda, ya que no permitían que atravesara por sus propiedades para ir al lago. Llegándose el caso de que, si alguna persona lo hiciera o se le descubriera cortando leña o hierba, era llevado con el administrador, que lo despojaba de sus pertenencias. Para esto, la hacienda se valía de unas personas que vigilaban las propiedades y a estos se les llamaba “borderos” (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

Para el buen funcionamiento de las haciendas, como La Grande e Ixtapan, se requería de trabajadores de diversos tipos y se recurría a diferentes medios de reclutamiento y sujeción para asegurar la permanencia de ellos en la hacienda. Estos medios incluían: el peonaje por deudas (donde era crucial la tienda de raya), la aparcería, los contratos de trabajo libres, además del empleo de extranjeros enganchados y de deportados. Muchas haciendas del altiplano central del país recurrían al peonaje alquilado. Las cuadrillas de peones que se contrataban

en ocasiones se comprometían a trabajar durante una semana, pero generalmente eran contratados por varias semanas durante la siembra y la cosecha. Los peones que venían de los pueblos cercanos se regresaban cada noche a dormir a sus casas, mientras que los que llegaban de lejos dormían en alojamientos que les proporcionaba la hacienda. Generalmente en las haciendas se contaba con cuatro clases de trabajadores: los peones de residencia permanente (peones acasillados); los trabajadores temporales (que incluían a los llamados indios vagos) y representaban fuerza de trabajo migratoria; los aparceros y los arrendatarios (Rosas Vargas, 2013).

Hubo dos factores que propiciaron la decadencia de la hacienda de Ixtapan, uno de ellos fue la revolución. Durante este momento, la hacienda fue saqueada por los obregonistas y carrancistas, repartiendo el ganado y las semillas con la gente del pueblo. El segundo factor fue la gestión de la expropiación de los terrenos de la hacienda, hecha por los comisariados ejidales de ese entonces. Haciéndose efectiva esta gestión en forma provisional en 1921, pero fue hasta 1922 cuando se realizó la repartición oficial, naciendo con esto, el ejido de Santa Isabel Ixtapan. Las construcciones de la hacienda fueron derribadas de 1925 a 1928 por la misma gente del pueblo

y con el material que se rescató se empezaron varias construcciones, como el salón agrario. Aún hoy, algunos pobladores platican de los malos tratos que sus padres o abuelos les contaban que recibían de los hacendados y sus ayudantes, lo que propició un odio justificado por la Hacienda La Parda, quizá esa sea la razón de la destrucción de las edificaciones de esta última. Los comisariados ejidales de ese tiempo eran los señores Pedro Cortés, Galindo Ramos, Efigenio Miranda, Gil Yescas y Delfín Sánchez, se considera que esas personas sentaron las bases del ejido que hoy sigue practicando la forma de vida lacustre (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

La segunda forma de ganarse la vida eran la de los arrieros, ellos vendían principalmente forraje, su jornada de trabajo empezaba desde las primeras horas del día para comprar su mercancía con los terratenientes del área de Texcoco y las tierras aledañas. Regresando por la tarde para alimentarse y prepararse, ya que aproximadamente a las 12 de la noche partían hacia la Ciudad de México, a la cual llegaban a las 6:00 a 8:00 de la mañana. La ganancia que obtenían después de su trabajo era de 7 a 8 centavos por cada arroba (medida de peso equivalente a 11.50 kg, aproximadamente), pues la compraban

a 3 o 4 centavos y la vendían de 10 a 12 centavos por arroba. Cada arriero llevaba de 3 a 5 cargas y cada una de esas cargas equivalía a 12 arrobas, aproximadamente. El único medio de transporte era en burros o bien, acémila, haciendo notar que los arrieros hacían su recorrido a pie y descalzos, sin embargo, había quienes tenían las posibilidades de usar huaraches (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

En ese tiempo, los hombres vestían con calzón largo, camisa de manta y sombrero, portando zarape los días de venta. Se dice que hacían de 2 a 3 viajes a la semana para cumplir con las entregas. Su alimentación básica era deficiente, ya que constaba de tortillas con sal, y aun cuando tenían las posibilidades, comían frijoles y, escasamente, carne. La situación económica era tan crítica que las personas se veían obligados a trabajar desde muy temprana edad, dejando en último término a la educación, aunque ya existían una escuela para niños y otra para niñas. La primera estaba ubicada enfrente de la iglesia de Ixtapan, orientada de norte a sur y, la otra, estaba ubicada a un costado de la iglesia, de oriente a poniente (actualmente ya no existen).

La arriería fue tan importante en la zona, que esa actividad marcó la forma de vida entre poblaciones como

Tepetlaoxtoc, Chiautla y Papalotla, que fueron sitios de reunión y abastecimiento para esta actividad.

Como únicas distracciones que tenían los habitantes de los pueblos y los peones durante el año, era la fiesta del pueblo que ya se celebraba el 25 de diciembre y el carnaval, que aún se sigue festejando tres días antes del miércoles de ceniza. Una combinación entre la tradición ancestral asociada a las fiestas de petición de lluvias, al inicio de las siembras y la tradición católica. Como tradiciones estaban la Semana Santa y el día de muertos, pero no hay que olvidar que estas dos últimas tradiciones fueron establecidas durante los últimos años del siglo XIX (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

El resurgimiento de la forma de vida lacustre

A partir de la desaparición de las haciendas y la repartición de las tierras del ejido, se vislumbró un nuevo panorama en la vida del pueblo, observándose la desaparición paulatina de la vida arriera y la transformación de los peones reprimidos en agricultores libres, aunado a esto, resurgió el aprovechamiento de los cuerpos del

agua del lago de Texcoco en todas sus expresiones, asentándose estas dos últimas actividades como las más importantes fuentes de trabajo para el desarrollo del pueblo. Por ser Santa Isabel Ixtapan una región lacustre muy rica y con acceso inmediato a los cuerpos de agua, esta ofrecía grandes posibilidades para la pesca de diversas especies como los peces comúnmente llamados mextlapictli o mextlapique y que se cocinaban envueltos en hojas de maíz, la caza de patos y algunas otras especies de aves migratorias y residentes que se consumían localmente o se llevaban a vender a la Candelaria de los patos en la Ciudad de México. También se recolectaban huevecillos de ahuate, siendo una importante fuente de proteínas para los pobladores, ante la falta de acceso a la carne del ganado. Además, se recolectaba mosco y chipirín, que vendían a los compradores que venían de la Ciudad de México para la alimentación de aves.

Así, tenemos que la obtención del ahuate, el mosco y el chipirín fue y sigue siendo un proceso largo y requiere de mucha paciencia y experiencia por parte del recolector, sin olvidar la recolección de la espirulina o *Limnospira maxima* que en conjunto con los otros productos, representaba una auténtica forma de vida lacustre y una forma de sustento económico para los pobladores

de Santa Isabel Ixtapan, puesto que las demás poblaciones de Atenco no acostumbraban hacer esos usos de los cuerpos de agua por ocuparse de tiempo completo a la dura vida de ser peones esclavizados o semiesclavizados (Rosas Vargas, 2013). Tiene sentido afirmar que en Santa Isabel Ixtapan y en Nexquipayac los recolectores y pescadores han conservado la forma de vida lacustre de muchas maneras, tanto en las prácticas de cosecha y colecta como en las formas de procesar los distintos organismos. Es muy relevante esto último y de reconocerse, justamente por la dura labor de preservar ese medio de vida tan antiguo y que la época colonial estuvo a punto de extinguir, de no ser por las personas que resistieron y pasaron este conocimiento y sus prácticas de generación en generación.

Resaltan cinco productos lacustres que son relevantes para los pobladores, pues estos siguen haciendo uso de la recolección y pesca en los cuerpos de agua del lago de Texcoco que corresponden a Santa Isabel Ixtapan, estos son: el ahuate, el mosco, el chipirín, el tequesquite y la espirulina.

“*Tecuitlatl*” un producto clave de sistema socioecológico lacustre

Etimológicamente, *tecuitlatl* podría significar algo parecido a “excremento de la piedra”, ya que los pueblos nahuas (*naualtepemeh*) y acolhua habían observado que crecía en las aguas ricas en tequesquite. Aunque esta interpretación no parece adecuada a algunos de los autores de este texto porque hay en el náhuatl otras raíces etimológicas alternativas. Por ejemplo, en el Gran Diccionario Náhuatl en línea (2012) se interpreta como lama o sustancia limosa del lago de Texcoco. Posteriormente también se le conoció como *cocolín* y en tiempos modernos como espirulina (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006).

A la espirulina la empezaron a consumir notablemente en dos partes del mundo. Por un lado, los *kanembou* que habitan el lago Chad, ubicado en el centro-norte de África (para el 2021 este lago había perdido el 90% de su superficie). En América, los *naualtepemeh* y acolhua del lago de Texcoco hicieron lo propio, pero con mayor desarrollo y es posible que con anterioridad. El mundo occidental conoció por primera vez la existencia de la espirulina cuando fue publicada la obra de Francisco Hernández, la conocida Historia Natural de Nueva España y también

por el trabajo de Fray Toribio de Benavente (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006). El nombre de la espirulina, deriva del nombre científico *Spirulina*, que, a su vez, se debe a la forma en espiral de ese diminuto ser viviente de tamaño microscópico, pero actualmente el género ha cambiado de nombre a *Limnospira* (Nowicka-Krawczyk et al., 2019).

Solo en algunos sitios del lago de Texcoco suele crecer el *cocolín*, sobre todo donde hay presencia de aguas en extremo saladas, de esos lugares se recolecta con redes y se apila después con palas para su secado al sol (como se venía haciendo desde hace siglos). Antiguamente, una vez secado un poco al sol, le daban forma de pequeñas tortas y lo ponían sobre yerbas frescas para conservar y dar buen olor, después se comía con las tortillas comunes o en preparaciones que hoy son un misterio. También, era posible guardarla en seco hasta por un año. Este peculiar alimento tiene sabor a queso, olor a cieno y es algo salada; cuando es fresca posee un color azul o verde y, cuando es un producto viejo o caduco, tiende a cambiar a negro. Es comestible, pero solo en pequeñas cantidades porque su sabor y olor tienden a ser muy dominantes y dejan de ser agradables al gusto y al olfato (Mondragón, 1984; Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006).

Gradualmente y a partir de la colonia, el uso del *te-*

cuitlatl como alimento fue cayendo en desuso y olvidado, un tanto también por la prohibición sobre la alimentación original de las poblaciones nativas que a propósito se hacía para debilitar a los pueblos originarios, esto fue efectivo, salvo para la minúscula parte de la población ribereña entre Santa Isabel Ixtapan y Texcoco. Después de la Revolución Mexicana, el interés por el alimento empezaría a despertar la curiosidad en un puñado de gastrónomos mexicanos, comenzando así, el nuevo auge y uso de este alimento como una “exótica delicia”.

El pueblo de Santa Isabel Ixtapan se caracteriza por su gran variedad de platillos, tal como el ahuate, que se prepara en una infinidad de maneras y todos ellos de gran exquisitez. Con el pato se puede preparar desde una barbacoa hasta un delicioso mixiote. También se preparaban el chichicuilete, los tamales de pescado, tamales de gusano y ranas. Todos ellos de gran contenido proteínico. La gastronomía de Santa Isabel Ixtapan tiene sus orígenes en los nualtepeh y acolhua que habitaban en las riveras del lago de Texcoco y ahí se tenía como platillo favorito las tortas de espirulina o *tecuitlatl*, que se preparaban con distintas especias (chile, cebolla, tomate, etc.). Esto último, era una especie de salsa llamada *chimmolli*, que es el origen del hoy conocido mole.

El ancestral tequesquite y Sosa Texcoco

Ya en épocas del México moderno, más que ser de utilidad, la espirulina representaba un estorbo en el proceso de cristalización del carbonato de sodio contenido en las salmueras, es decir, dificultaba la operación de los trabajos técnicos de Sosa Texcoco, S. A. Aunque el carbonato ya se aprovechaba desde la época antigua, por parte de los nualtepemeh y acolhua, también se siguió aprovechando en la época colonial, principalmente como jabón mineral. La creencia de que los terrenos desecados podrían convertirse en campos cultivables inspiró a Mariano Barragán a crear el Proyecto de Bonificación del lago que en julio de 1912 inició el drenado, lavado y fertilización de las tierras con la finalidad de acabar con su “esterilidad” y convertir aquel llano salado en tierras para sembrar maíz, trigo y frijol. Después, en 1938, habrían de iniciar los primeros trabajos para encontrar una forma de aprovechar industrialmente las sales del lago de Texcoco, aunque fue hasta el 18 de diciembre de 1943 que el gobierno federal otorgó la concesión por 50 años a un grupo de ingenieros de procedencia francesa y española, aunados a varios empresarios mexicanos, esto para el uso de las aguas salinas provenientes del proyec-

to de bonificación de las tierras del lago de Texcoco y las del subsuelo que pudieran hacerse aflorar por medio de más de 200 pozos. Para eso se echó mano de las instalaciones que estaban ubicadas a la altura del km 23.5 de la entonces Carretera México-Nuevo Laredo. Dicha empresa colindaba al oriente con los terrenos del ejido de Santa Isabel Ixtapan, la otra parte de los terrenos ocupados fueron de Ecatepec. Así pues, aprovechando las buenas condiciones políticas del sexenio de Manuel Ávila Camacho, daría inicio el proyecto paraestatal que se llamaría Sosa Texcoco y que empezaría a funcionar con Antonio Madinaveitia Tabuyo (1890-1974) como fundador y el Ing. Hubert Durand Chastel como gerente general. En sus momentos de esplendor, ese proyecto contó con una planta industrial, salinas, silos de almacenamiento y una superficie de unas 27,000 hectáreas, lo que la llevó a ser la planta productora de álcalis sódicos más importante de América Latina. Ahí se elaboraban álcalis, sosa cáustica y sal. Llegó a producir hasta 700 toneladas de carbonato de sodio diarias, aunque algunas fuentes mencionan 100 toneladas diarias (Soto-Coloballes, 2020; Rivero López, 2021; Zamora Plata, 2022).

Situado en la parte noroeste del lago de Texcoco, en una zona conocida como El Caracol, se encuentra el gi-

gantesco evaporador solar en forma de espiral de aproximadamente 900 hectáreas de superficie, concebido y construido bajo la supervisión del Ing. Hermión Larios Torres (1886-1953). Fue construido inicialmente para un proyecto que buscaba, por un lado, la mejora del clima de la Ciudad de México (evitando las polvaredas) y, por otro lado, habilitar las aguas de la zona (por lavado o desalinización) para mejorar su uso agrícola sin perjudicar el distrito de riego del río Tula, pero dicho objetivo no se cumplió. Larios Torres fue despedido como jefe de químicos de la Dirección de Obras del Valle de México y su obra más genial no fue valorada. En lugar de eso, en dicho artilugio de placas de concreto con capacidad para 10,000 m³/día, se empezaron los trabajos de evaporación solar, donde se concentraba la salmuera alcalina extraída del subsuelo del antiguo lago, se pondría a evaporar el agua utilizando la tremenda exposición solar y la baja humedad de la zona, todo para aprovechar el carbonato de sodio tan abundante. Es posible que la salmuera tardara hasta seis meses en recorrer el tremendo evaporador, lo que nos habla del enorme volumen de agua que se extraía constantemente del subsuelo, lo que se obtenía ahí era un residuo sólido conocido como tequesquite (del náhuatl *tequixquitl*, que se interpreta como

salitre o sudor de tierra), que es una mezcla de cloruro de sodio, carbonato y bicarbonato de sodio. Hoy sabemos que la presencia de agua y tequesquite en ese evaporador era un ambiente favorable para el crecimiento acelerado de la espirulina, una cianobacteria dependiente de las salmueras texcocanas que se estaban extrayendo (Gracia Fadrique, 2017; Rivero López, 2021; Álvarez, s. f.).

Fue hasta el año 1967 que la historia daría un giro nuevamente, pues después de los primeros estudios para realizar el aprovechamiento industrial de la llamada espirulina, se inició el camino para su explotación en los vasos exteriores del caracol a partir de 1973, en colaboración con el Instituto Francés del Petróleo (esto fue posterior a los hallazgos en el lago Chad). Al principio se realizó en una planta piloto que tenía una capacidad de producción de una tonelada diaria de la cianobacteria seca, después, a principios de los años ochenta del siglo pasado, se construyeron nuevas instalaciones a orillas del último vaso del evaporador solar con una superficie de 20 ha, lo que contribuyó a mejorar considerablemente el cultivo y el secado. El proceso consistía en la filtración del microorganismo para obtener un concentrado gelatinoso que era secado por aspersion. Antes de su clausura, la planta llegó a producir tres toneladas de biomasa seca

por día. De hecho, el valor agregado en la producción de alga superó al de la producción de carbonato de sodio (Gracia Fadrique, 2017; Rivero López, 2021; Álvarez, s. f.).

Según Rivero López (2021), la mayor parte del personal que trabajaba en Sosa Texcoco provenía de los pueblos de Ecatepec, como San Cristóbal Ecatepec, Santa María Chiconautla, Santo Tomás Chiconautla, San Isidro Atlautenco, Santa Clara Coatitla, San Pedro Xalostoc y Santa María Tulpetlac; aunque también se menciona que provenían de los municipios de Tecámac y Acolman. Sin embargo, también había personas, principalmente hombres, de Santa Isabel Ixtapan. Cabe señalar que, un buen porcentaje de los obreros eran hijos de campesinos que tuvieron que abandonar las labores del campo, al menos parcialmente, para cambiar de actividades productivas y apoyar a sus familias.

Las condiciones de su trabajo y las múltiples prestaciones con que contaban en esa industria llevó a los trabajadores a la conformación de un sindicato que, inesperadamente y desde el 3 de octubre de 1993, colocó las banderas rojinegras en defensa de sus fuentes de empleo. Tardaron más de seis años en lograr que se les hiciera justicia, hasta que, en 1999, ya con las instalaciones reducidas a un inmenso conjunto de fierros oxi-

dados, se decidió regresar las instalaciones a su último patrón, el empresario Salim Nasta, yerno del ex presidente Gustavo Díaz Ordaz. Se considera que la victoria para los 622 obreros fue parcial, porque aseguraban que no les habían pagado lo que justamente correspondía a la liquidación, las prestaciones y los salarios caídos, recibiendo un 60% de lo que merecían. Se trató de un conflicto sin precedente en el que el empresario recurrió a todos los recursos económicos, jurídicos y políticos a su alcance para terminar la relación laboral y evadir el laudo con base en una declaratoria de quiebra y la solicitud de seis amparos, cinco de ellos concedidos por jueces de distrito. Al final, los obreros tuvieron la razón, pero el daño laboral y la interminable miseria de seis años y dos meses de huelga tuvieron severos efectos. Ese movimiento de huelga y la resistencia necesaria para esos duros años, tuvo una fortaleza decisiva en las mujeres, tanto para el mantenimiento de las familias como para el mantenimiento mismo de los pueblos, de la dignidad como personas, parejas, trabajadores y habitantes despojados (Martínez, 1998; Martínez, 1999).

La decisión de desaparecer a Sosa Texcoco como industria paraestatal en 1993, conduce a la quiebra forzada de la empresa y al cierre definitivo de sus instalaciones,

con lo que la cosecha y aprovechamiento en el espacio lacustre retornó a procesos de pequeña y mediana escala, incluyendo algunos proyectos privados con cierto grado de tecnificación agroindustrial (Gracia Fadrique, 2017). Hay que mencionar también, que algunos de los terrenos importantes de Sosa Texcoco fueron ocupados por unidades habitacionales al poco de dar por concluida la huelga, enormes desarrollos como Las Américas, donde se planeó la construcción de 13 mil viviendas (Salinas Cesáreo, 2004). Poco se ha dicho de las personas que dieron lugar al rescate de la cosecha y el aprovechamiento tradicional de la espirulina, pero uno de esos personajes ha sido Alejandro Pineda Contla, quien también trabajó en Sosa Texcoco y, después de perder su empleo en 1999, decidió que era tiempo de seguir trabajando con las técnicas y productos de la antigua forma de vida lacustre, con la firme convicción de evitar que se perdieran y que las futuras generaciones tuvieran un legado cultural de que sentirse orgullosas y orgullosos. Sin duda lo ha conseguido, pues muchas y muchos habitantes siguieron su ejemplo y hoy practican lo que poco a poco se ha ido rescatando de la cosecha de la espirulina, del mosco, el ahuate, el tequesquite y muchos más productos que se extraen del lago, en específico de la llamada Ciénega

de San Juan, Cuatro Caminos, Casa Colorada y algunos cuerpos de agua aledaños (H. Sánchez Solórzano y R. Hernández Casarreal, comunicación personal, 7 de octubre de 2023).

La lucha por la tierra en Santa Isabel Ixtapan

Ya se ha detallado que el uso del tequesquite y su industrialización fueron factores determinantes para la ocupación del territorio bajo el nombre de Sosa Texcoco. Sin embargo, ese fue tan solo uno de los grandes proyectos para la zona de los lagos, desde luego la presión pasó por los lagos de Chalco y Xochimilco, llegó a Texcoco, el prácticamente desaparecido Xaltocan, San Cristóbal y hasta el lago de Zumpango. Bajo la idea de un desarrollo del país, la desaparición de los cuerpos de agua y la visión de volverlas productivas como tierras secas parte desde que Iñigo Noriega obtuvo permiso de incorporar esas tierras a agricultura comercial en tiempos de Porfirio Díaz. Llegaría la década de 1930 y la propuesta del Parque Agrícola de la Ciudad de México con Pascual Ortiz Rubio, que afortunadamente no se llevó a cabo por falta de recursos. Mas adelante en el tiempo, ante la evidencia del fracaso que significaba el proyecto de Bonificación

de las tierras del lago de Mariano Barragán, llegaría el turno de Miguel Ángel de Quevedo y la Sociedad Forestal Mexicana a través de la revista México Forestal, quien promovería la forestación de los terrenos desecados con bosques y prados resistentes a la sal, con la finalidad para restablecer la salubridad, regularizar el clima, evitar la erosión, contribuir a la belleza del paisaje y que se pudiera aprovechar la zona para la cría de ganado lanar. Esa propuesta la obtuvo de sus viajes a Europa y África, donde vio la utilización de cubiertas boscosas para manejo de tierras áridas, pero no de zonas lacustres desecadas. Así llegaron las acacias, mimosas, eucaliptos y otras especies que hoy son consideradas invasoras, una idea equivocada desde el punto de vista de lo que requiere la cuenca y que aún persiste en nuestros días. En ese lapso, el lago de Texcoco pasó de 2,000 km², en sus épocas de mayor embalse, a 120 km² en el siglo XX, lo que provocó que las inundaciones y tolvaneras encabezaran los grandes problemas sanitarios y más tarde ambientales que azotaban a la Ciudad de México (Soto-Coloballes, 2019).

Según Soto-Coloballes (2019), fue hasta 1963, después de muchas propuestas, resistencias y fracasos que, la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México suscribía a la idea de reducir por etapas el lago de

Texcoco, hasta alcanzar 2,000 ha y 25.5 millones de metros cúbicos de almacenamiento. Mientras que, hasta 1969, las conclusiones del Proyecto Texcoco señalaban el método de bombeo en pozos someros para la construcción de cuatro pequeños lagos con capacidad de 150 millones de metros cúbicos en una superficie de 2,700 ha. En julio de 1965, Nabor Carrillo propuso al Gobierno Federal la ejecución del Proyecto Texcoco, con el fin de explorar los diversos procedimientos técnicos orientados a exprimir la esponja del subsuelo, investigar la composición química de las aguas subterráneas y llevar a cabo las pruebas relacionadas con la construcción de uno o varios vasos de almacenamiento y de regulación de las aguas de la cuenca para evitar las inundaciones. De ahí derivaron muchas más etapas que desembocarían en la creación de la creación de los cuerpos de agua que conocemos actualmente, de los cuales el lago Nabor Carrillo es el más grande de todos, con una capacidad de 36 millones de metros cúbicos, una superficie de casi mil hectáreas y que se terminó de construir en 1983. También se estrenaron el Lago de Regulación Horaria y el Lago Churubusco, de 150 y 270 ha, respectivamente. El lago de Xalapango de 240 ha, que se relaciona directamente son Santa Isabel Ixtapan, y el lago Recreativo de 25 ha.

Simultáneamente se llevaron a cabo obras para conducir y rectificar los ríos de la llamada Cuenca Tributaria del Valle de México. Estos trabajos se ampliaron y mejoraron con la inauguración de la Planta de Lodos Activados, las Lagunas Facultativas y la Planta de Tratamiento Terciario para el manejo y el tratamiento de las aguas residuales, así como con la creación de los vasos El Fusible y Laguna Colorada, los drenes Chimalhuacán I y Chimalhuacán II, entre otras canalizaciones y presas de control en los ríos

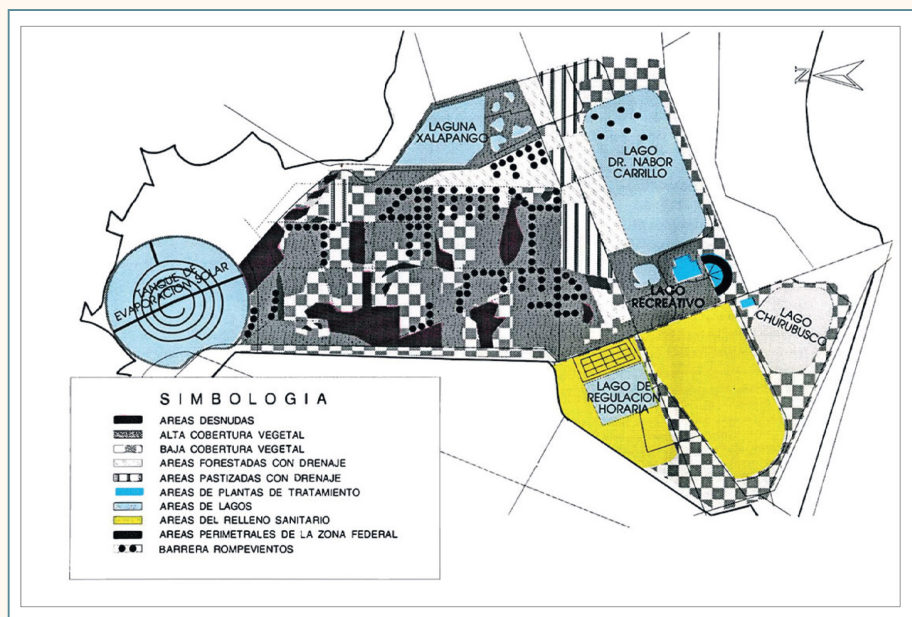


Figura 3. Configuración de los distintos cuerpos de agua derivados del Proyecto Texcoco en los años ochenta del siglo pasado. Fuente: Soto-Colobaltes (2019)

llevadas a cabo durante los siguientes lustros (Figura 3). Eso configuró de una manera distinta la administración de las tierras y del agua en la zona, lamentablemente la participación de los pueblos de la zona fue omitida en todas esas décadas.

Durante los años 80, en Santa Isabel Ixtapan se vivió la invasión por parte de paracaidistas dirigidos por una lideresa de Chimalhuacán (María Eulalia Guadalupe Buendía Torres), pero la invasión fue detenida y los invasores expulsados del ejido, a diferencia de otros ejidos donde la invasión de tierras no pudo ser detenida. Bajo esta presión por ser invadidos, en combinación con otros fenómenos externos e internos a la localidad, se inició la fragmentación del paisaje, se construyeron bordos para evitar inundaciones y se alteraron los caudales de los ríos que descargaban sus aguas en esta sección del lago de Texcoco (Huamán Herrera, 2005).

El renacer de la ciénega de San Juan

Dadas las circunstancias, los productores de tequesquite, espirulina y ahuate tuvieron que pedir permisos a CONAGUA, que para ese entonces ya resguardaba una

gran cantidad del territorio modificado con el Proyecto Texcoco, para entrar a los predios bajo su resguardo y seguir con el modo de vida lacustre. También, en esos años se votó por la gestión de un canal de cinco kilómetros para llevar el agua desde la Planta Termoeléctrica del Valle de México hasta la Ciénega de San Juan, que no se llamaba así antes y que, para ese entonces ya se encontraba casi seca. Mediante un convenio notariado con Chiconautla, los pobladores de Ixtapan consiguieron acceder al agua residual de la planta termoeléctrica para usarla en sus campos de cultivo. En esos años participaron más de 300 personas del pueblo para cavar un canal de más de cinco kilómetros de largo y llevar esas aguas residuales a los terrenos de cultivo del ejido. De esta manera, los pobladores de Ixtapan no solo lograron mantener a flote sus sistemas agrícolas, sino que consiguieron mantener vivos los cuerpos de agua de la Ciénega de San Juan y sus mantos freáticos, mismos que ahora alimentan el proyecto del Parque Ecológico lago de Texcoco (PELT) y que sirvieron para la declaratoria de la ANP APRN lago de Texcoco. En estas gestiones, que ahora se aprecian como un mérito ecológico de gran relevancia regional, tuvieron que ver los señores: Miguel Ángel Galicia Rojas, Antonio Vallejo Cortés, Rodolfo Her-

nández Casarreal, Régulo Vallejo Sánchez, Mario Pineda Sánchez y muchos otros y otras pobladores más.

Los riesgos del “desarrollo”

Cuando estas acciones estaban en su máximo auge, llega a la región el megaproyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, en el sexenio de Enrique Peña Nieto, conocido por ordenar la represión contra Atenco, cuando fue gobernador del Estado de México. Con lo que siguieron los permisos para ingresar al predio expropiado, pero los daños fueron muy grandes para el ecosistema lacustre, precisamente porque las obras se centraron en las zonas donde mayor diversidad biológica y mejores condiciones ambientales había en esos momentos. Fueron afectadas seriamente unas 4,230 ha. Luego, llegaría la entrada de la actual administración federal que impulsó una consulta popular efectuada en 2018, donde se votó masivamente por la cancelación del proyecto y, finalmente, se detuvieron las obras en 2019, al menos parcialmente, porque las obras continuaron en diversas partes, dentro y fuera de la reja perimetral (Soto-Coloballes, 2019). Se hace pública la decisión

de hacer justicia social a través de la restitución de las tierras que fueron arrebatadas a los pueblos, revertir el daño ambiental y, sobre todo regenerar el tejido social quebrantado por las últimas decisiones presidenciales unilaterales. Así, el Gobierno central propone la ejecución del Parque Ecológico lago de Texcoco (PELT), que fue presentado el 25 de agosto de 2020 bajo el cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (Galeana Cruz, 2022). Posteriormente, en medio de sendas polémicas y rechazos por parte de una buena parte de la población que no había visto restituidas sus tierras, se promueve y se publica el decreto de la ANP APRN lago de Texcoco, con 14 mil ha, de las cuales 10 mil permanecieron como propiedad federal y 4 mil fueron tierras ejidales. Con lo que las tierras pasaron a la administración federal a cargo de la SEMARNAT y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)

Desde hace algunos años, Ixtapan ha experimentado otra presión de invasiones de parte del grupo Antorcha Campesina, lo que ha provocado una serie de asentamientos irregulares y muy precarizados en los márgenes de los poblados que ya existían, lo que ha afectado siriaamente la dinámica espacial y social del sitio.

Para el año 2022, Santa Isabel Ixtapan o Iztapan como colonia o pueblo del municipio de Atenco, abarcaba unas 94 hectáreas. Ahí vivían alrededor de 3,700 personas, en 860 unidades habitacionales, aproximadamente. Se registraban 393 personas por km², con una edad promedio de 32 años y una escolaridad promedio de 9 años cursados. De las casi 4,000 personas que habitan ahí, unas 1,000 son menores de 14 años y unas 1,000 tienen un rango de edad entre 15 y 29 años. Se contabilizan unas 2,000 personas con edades entre 30 y 59 años, y 420 individuos de más de 60 años. En la zona se contabilizan unos 230 establecimientos comerciales en operación. La principal actividad que se desarrolla en Santa Isabel Ixtapan era y sigue siendo el comercio minorista, en la que participan cerca de 1,000 establecimientos, con un personal ocupado estimado de 1,000 personas (MarketDataMéxico, 2022). Aunque la superficie del ejido tiende a ser superior.

El ejido Santa Isabel Ixtapan cuenta con dos ampliaciones, una ubicada en su parte sur, llamada Netzahualcóyotl, y otra en la parte oeste, llamada Nueva Santa Rosa "San Bartolo". Tiene, además, dos escuelas primarias, un jardín de niños, una escuela secundaria, un centro de salud y dos iglesias. Se cuenta con la escuela primaria Maestro Rafael Ramírez, construida en el año

1951 y la primaria Silverio Pérez, construida en 1965. Para su sistema de riego, cuenta con cuatro bombas propiedad del pueblo y algunas particulares. El agua se distribuye por pequeños ríos y canaletas de tabique, en el pueblo se produce la suficiente cantidad forraje para alimentar la gran cantidad de ganado que existe, teniendo como consecuencia una gran producción de leche. Por lo que respecta a la salud, en casos de emergencia no hay una instancia médica cercana a la cual acudir, pero se cuenta con servicio de medicina general y odontología. Existe una gran extensión de áreas verdes, que de alguna manera contribuye a preservar el ambiente general, ya que el principal enemigo contaminante son la Planta Termoeléctrica del Valle de México (construida en su primera etapa por 1953) y unas instalaciones de Petróleos Mexicanos.

En su organización política se encuentra dividida en: delegados municipales, consejo de colaboración, comisariados ejidales, sociedad de padres de familia, las organizaciones de taxistas y una organización juvenil. Por lo que respecta a la organización de las fiestas, se reportan las actividades a realizar por medio de mayordomos en los diferentes barrios, un barrio de encarga de contratar la música, otro de los fuegos artificiales y otros del

adorno de la iglesia. Las fiestas que se celebran a lo largo del año son:

- **El 2 de febrero**, día de la Candelaria.
- Tres días antes del miércoles de ceniza, se organiza el **Carnaval**, que actualmente se festeja con cinco cuadrillas de viejos y la arriería, al siguiente domingo salen dos cuadrillas del toro y, al siguiente domingo, una cuadrilla de la viuda.
- **Día de San Lázaro**: se hace una procesión muy especial a lo largo del pueblo.
- **Semana Santa**: son días de guardar.
- **3 de mayo**: se celebra una misa por el día de la Santa Cruz.
- **2 de julio**: se hace una pequeña fiesta por el día de Santa Isabel.
- **15 de septiembre**: se realizan los tradicionales actos cívicos.

- **16 de septiembre:** se realiza el tradicional desfile, celebrado por las escuelas del lugar.
- **1 y 2 de noviembre:** se recuerda a todos los fieles difuntos, con ofrendas, destacándose el pan de muerto. Se celebra una misa en el panteón de la nueva capilla.
- **20 de noviembre:** se celebran actividades cívicas coordinadas por las autoridades y las escuelas.
- **12 de diciembre:** se celebra una misa a la Virgen de Guadalupe.
- **16 al 24 de diciembre:** se celebran las tradicionales posadas.
- **25 de diciembre:** se celebra la gran fiesta del pueblo, iniciándose con una misa, por la tarde el rosario, después la procesión, culminando con un baile.
- **26 de diciembre:** continua la fiesta con las mismas actividades del día anterior.

- **31 de diciembre:** se cierra el año con la misa de Acción de Gracias o Misa de Gallo.
- **1 de enero:** se inicia el año con una misa y una procesión.

Las expropiaciones del ejido

Desde su fundación en 1922 hasta la actualidad, el ejido de Santa Isabel Ixtapan (Ixtapam) ha pasado por una serie de procesos que han afectado seriamente su extensión, la cantidad y calidad de actividades que ahí se realizan y la cantidad y calidad ambiental. Son varias las modificaciones que ha sufrido el ejido de Santa Isabel Ixtapan, en el siguiente Cuadro 1 se resumen estas a partir de la información del Registro Agrario Nacional RAN (2024).

Afortunadamente, las expropiaciones del 2001 no se llevaron a cabo, de lo contrario, esto hubiese llevado a una catástrofe ecológica y a una social, al provocarse una destrucción ecológica de la zona, mientras que los impactos sociales pudieron ser el éxodo masivo de habitantes del ejido, con la subsecuente transformación total del sitio. El ejido aún cuenta con una gran cantidad de espa-

cios naturales y sociales importantes, con lo que queda mucho por hacer, incluyendo la gestión en conjunto con la CONANP para la toma de decisiones entorno al uso de los espacios, la regulación de las actividades dentro de su territorio (que ahora es ejidal y una ANP), la gobernanza basada en espacios ocupados por el agua y la protección del modo de vida lacustre.

Cuadro 1

Acciones realizadas dentro del ejido Santa Isabel Ixtapan, según el Padrón e Historial de Núcleos Agrarios del RAN

AÑO	EXTENSIÓN (ha.)	BENEFICIARIOS	PORCENTAJE
Dotación			
1921	498	172	
Ampliaciones			
1934	597	180	
1946	500	0	
1952	127.76	0	
1956	11.24	0	
Superficie total del ejido: 1734 ha. (100%)			
Expropiaciones			
1971	15.0139	CLFCSA como promovente	0.8658
2001	1044.0922 (no procedió)	0	60.2129
2001	208.0491 (no procedió)	0	11.9982

continuación Cuadro 1

AÑO	EXTENSIÓN (ha.)	BENEFICIARIOS	PORCENTAJE
Otros cambios			
1995	1.5151886	0 (cambio de tierras de infraestructura a parcela)	0.08738
2015	7.406649	0 (cambio de destino, de uso común a área parcelada)	0.4271
2022	1294.343634	398 (700 títulos, dominio pleno)	74.6449
GRANDES ÁREAS (ha.)			
Superficie parcelada	Sup. asentamientos humanos delim. al interior	Superficie de uso común	Subtotal grandes áreas
1656.047967	88.041896	11.207640	1755.295 ha.
Porcentaje total del territorio expropiado: 0.8658			
Total: 1718.9861 ha.			

Conclusiones

Santa Isabel Ixtapan es un ejido y territorio con una amplia historia, tanto en lo natural como en la parte social, lo que lo convierte en una pieza clave en la escala regional. Ha tenido que ver con el mantenimiento de la diversidad biológica, la estabilidad climática, la defensa de la vida, de la forma de vida lacustre y la preservación del legado milenario de la espirulina. Es, sin duda, una

población y un territorio que se ha mantenido en pie, a pesar de siglos de presiones y de puestas en marcha de proyectos y perspectivas ajenas, es por eso que aún tiene mucho que decir y mucho que aportar a la construcción de la sustentabilidad en una escala regional. Sin duda, son de los defensores de la vida lacustre más relevantes al Oriente del lago de Texcoco.

Agradecimientos

Las y los coautores de este escrito desean agradecer a Rogelio Rodríguez Galicia por sus aportes en la preservación de la historia de Santa Isabel Ixtapan. Agradecimientos también a Julio Martínez, Pedro Sánchez, Joaquín Sánchez, Aurelio Galicia, Pedro Galicia y Sergio Contla Pineda, que en paz descansen y que su memoria perdure, pues todos ellos aportaron sus valiosos testimonios acerca de la historia de la hacienda de Ixtapan o La Parda.

IXTAPAN

*Lugar sobre las aguas saladas
pueblo de historia sagrada
para recordar hoy y mañana
con tu hacienda La Parda
donde tus hijos trabajaron
jornada tras jornada
con tus tradicionales fiestas
llenad de júbilo y carcajadas
pueblo alguna vez de pescadores
de chipirín, mosco y ahuahutle
lugar de chichicuilotos y patos
que cazaron con sus armadas
arriero bendito, serás ejemplo
de lucha y trabajo
llevando tu cargamento
todas las madrugadas.*

Rodolfo Hernández Casarreal

Referencias

Álvarez, M. (s. f.). Semblanza de Hermión Larios Torres. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca02/1701/1954-171alvarez%20jr.pdf>

Barrera C. y F. Barrera. (2009). Títulos de tierras del pueblo de Santa Isabel Ixtapan, 1639. *Historias. Cartones y cosas vistas*. 72: 97-102. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/historias/article/view/3042/2943>

Bravo Cuevas, V. M., E. Ortiz Caballero, E. Jiménez Hidalgo, C. I. Barrón-Ortiz y J. M. Theodor. (2020). Taxonomía y hábito alimentario de ejemplares de *Mammuthus colombi* (Proboscidea: Elephantidae) del centro y sur de México. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 72(1): 1-29.

Coronel Sánchez, G. (2005). *La ciudad prehispánica de Texcoco a finales del posclásico tardío*. Tesis de Licenciatura en Arqueología. Escuela Nacional de Antropología e Historia. México.

Cruces Carbajal, R. (2000). Riqueza cultural de Atenco, México. H. Ayuntamiento Constitucional Atenco, México. 2000-2003.

Galeana Cruz, S. (2022). Hábitat, territorio y tejido social en la región nororiente de la cuenca de México; el caso del espacio público de Atenco. *Vivienda y Comunidades Sustentables*. Año 6(12): 95-115.

Galindo Castro, S. G. (2023). Caminar entre suelo lacustre: Una etnografía de la vida cotidiana en Santa Isabel Ixtapan, Estado de México. *Intelectus*. 22(1): 385-393.

Gracia Fadrique, J. (2017). Alga espirulina de Tenochtitlán a Sosa Texcoco. *INVDES*. <https://invdes.com.mx/los-investigadores/alga-espirulina-tenochtitlan-sosa-texcoco/>

Gran Diccionario Náhuatl [en línea]. (2012). Tecuitlatl. Universidad Nacional Autónoma de México. México. <https://gdn.iib.unam.mx/diccionario/tecuitlatl/180596> (Consultado el 15 de enero de 2024).

Hernández Alva, M. (2024). *Teodolito en mano. Historia de la agronomía desde la ciencia*. Tomo I. Editorial Kikultich Fundación DJ Nuestras Raíces A.C. México. ISBN 978-607-99588-1-7.

Huamán Herrera, E. A. (2005). *Entre la irregularidad y la regularización del suelo urbano. La red del intercambio institucional y las políticas territoriales en la ZMCM, 1970-2002*. Tesis de Doctorado en Diseño. UAM-Azacapotzalco. México.

INAH [en línea]. (2023). En la Era de Hielo, Santa Isabel Ixtapan pudo ser un campamento estacional de cazadores-recolectores. Dirección de Medios de Comunicación, INAH. México. <https://www.inah.gob.mx/boletines/en-la-era-de-hielo-santa-isabel-ixtapan-pudo-ser-un-campamento-estacional-de-cazadores-recolectores#:~:text=%E2%80%9CLa%20prospecci%C3%B3n%20apunta%20a%20que,con%20el%20fechamiento%20de%20los> (Consultado el 15 de enero de 2024).

Lazcano, L. (2021). Tezoyuca, un lugar donde las tradiciones prehispánicas siguen latentes. *El Sol de Toluca*. Turismo. 19 de junio. <https://www.elsoldetoluca.com.mx/circulos/turismo/tezoyuca-un-lugar-donde-las-tradiciones-prehispanicas-siguen-latentes-6854008.html#:~:text=El%20origen%20de%20Tezoyuca%20se,de%20nuevas%20generaciones%2C%20erigieron%20Texcoco>

MarketDataMéxico [en línea]. (2022). Colonia Santa Isabel Ixtapan, Atenco, en Estado de México. PREDIK Data-Driven. México. <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Santa-Isabel-Ixtapan-Atenco-Estado-Mexico> (Consultado el 15 de enero de 2024).

Martínez, F. (1998). Mujeres soporte invisible en la huelga “Sosa Texcoco”. *La Jornada*. 5 de octubre. <https://www.jornada.com.mx/1998/10/05/sosamuj.htm>

Martínez, F. (1999). Terminaron 6 años de huelga en Sosa Texcoco. *La Jornada*. 12 de diciembre. <https://www.jornada.com.mx/1999/12/12/termina.html>

Mondragón, B. M. A. (1984). *Cultivo y uso del tecuitlatl (Spirulina maxima), estudio recapitulativo*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Niederberger-Betton, C. (2018). *Paleopaisajes y arqueología pre-urbana de la cuenca de México*. Tomo I. Avilez Romero, M. R. y V. Darras (Coords.). CEMCA, INAH, IIA-UNAM. México. ISBN 978-607-539-093-2.

Nowicka-Krawczyk, P., Mühlsteinova, R. y T. Hauer. (2019). Detailed characterization of *Arthrospira* type species separating commercially

grown taxa into the new genus *Limnospira* (Cyanobacteria). *Scientific Reports*. 9: 694. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36831-0>

Ramírez-Moreno, L. y R. Olvera-Ramírez. (2006). Uso tradicional y actual de la *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia*. 31(9). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900008

Rivero López, A. (2021). Sosa Texcoco: un recuento histórico. *Boletín Crónicas, Historia y Cultura de Ecatepec*. Año II(20): 1-7. https://www.croni-cashistoriayculturadeecatepec.com/boletines_pdf/b_20.pdf

Rojas Chávez, J. M. y J. H. Medina González [en línea]. (2023). El diorama de la cacería del mamut. Memórica. México. https://memoricamexico.gob.mx/es/memorica/Diorama_mamut (Consultado el 15 de enero de 2024).

Rosas Vargas, R. (2013). *Atenco, historia agraria (1910-1940)*. Universidad de Guanajuato, Altres Costa-Amic Editores. México. ISBN: 978-607-815-436-4. https://www.researchgate.net/profile/Rocio-Rosas-Vargas/publication/258243794_SAN_SALVADOR_ATENCO_HISTORIA_AGRARIA_1910-1940/links/0c9605279145a178bc000000/SAN-SALVADOR-ATENCO-HISTORIA-AGRARIA-1910-1940.pdf

Salinas Cesáreo, J. (2004). Entregan mil 630 casas construidas sobre los terrenos de Sosa Texcoco. *La Jornada*. Estados. 17 de abril. <https://www.jornada.com.mx/2004/04/17/031n2est.php?origen=estados.php&fly=>

Secretaría de Cultura [en línea]. (2023). En la Era de Hielo, Santa Isabel Ixtapan pudo ser un campamento estacional de cazadores-recolectores. Gobierno de México. México. <https://www.gob.mx/cultura/prensa/en-la-era-de-hielo-santa-isabel-ixtapan-pudo-ser-un-campamento-estacional-de-cazadores-recolectores-323131> (Consultado el 15 de enero de 2024).

Soto-Coloballes, N. V. (2019). Proyectos y obras para el uso de los terrenos desecados del antiguo lago de Texcoco, 1912-1998. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*. 58: 259-287. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26202019000200259

Soto-Coloballes, N. V. [en línea] (2020). De campos cultivados a lugar de recreo. Grandes proyectos en la Zona del lago de Texcoco. Ciencia UNAM. México. <https://ciencia.unam.mx/leer/1052/de-campos-cultivables-a-lugar-de-recreo-grandes-proyectos-en-la-zona-del-lago-de-texcoco-#:~:texcoco=>

[t=En%20el%20sexenio%20de%20Manuel,1948%20produc%C3%ADa%20100%20toneladas%20diarias](#) (Consultado el 15 de enero de 2024).

Tepal Pérez, J. (2022). Gobierno declara Área Natural Protegida al lago de Texcoco. *La Jornada de Oriente*. Puebla. 22 de marzo. <https://www.lajornadadeorientemexico.com.mx/puebla/lago-texcoco-area-natural-protegida/>

Zamora Plata, A. [en línea] (2022). Sosa Texcoco. Química Industrial. La industria química desde sus inicios. México. <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/quimicaindustrial/2022/02/13/sosa-texcoco/> (Consultado el 15 de enero de 2024).



De izquierda a derecha. Arriba: Jaime Romero de la Luz, Eduardo Ivan Morales Antonio y Argelia Tania Chagoya Martinez. Abajo: Rodolfo Hernández Casarreal, Carlos Casarreal Ramos y Cecilio Martinez Ramos. Amealco (Ciénega de San Juan), Santa Isabel Ixtapan, Atenco. © Laura Jocelyn Ramírez Martínez, octubre 2023.



Una mañana silenciosa en el lago de Texcoco
Ciénega de San Juan
© Hugo López Camarillo, 05 de enero de 2024

Capítulo 2

LISTADO HISTÓRICO DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS DEL LAGO DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

Hugo López-Camarillo^{1,3} y Alexis Josué Sánchez-Lara²

Resumen: La presencia de ambientes salobres permite el asentamiento de flora específica. Alrededor del lago de Texcoco se han realizado pocos estudios sobre plantas acuáticas, por esta razón se revisó la literatura disponible desde 1957 hasta 2021 y se generó un listado florístico con una riqueza de 97 especies que incluye 40 acuáticas estrictas, 23 subacuáticas y 34 tolerantes. De estas especies, 23 se consideran halófitas, 46 dulceacuícolas y 28 tolerantes a la salinidad. Este listado recopilatorio se propone como una referencia para futuros trabajos sobre la biodiversidad de este remanente lacustre en el Estado de México.

Palabras clave: hidrófitas, halófitas, humedales, flora de México, sitios Ramsar.

Abstract: *The presence of brackish and alkaline environments allows the settlement of specific flora. Around Lake Texcoco, few studies have been carried out on aquatic plants, for this reason the available literature from 1957 to 2021 was reviewed and a floristic list with a richness of 97 species that includes 40 strictly aquatic, 23 semi-aquatic and 34 tolerant, was generated. Of these species, 23 are considered halophytes, 46 are freshwater plants and 28 are tolerant to salinity. This compilation list is proposed as a reference to future works on the biodiversity of this lake remnant in the State of Mexico.*

Key words: *hydrophytes, halophytes, wetlands, flora of Mexico, Ramsar sites.*

¹ Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Facultad de Ciencias, Campus el Cerrillo Piedras Blancas, Universidad Autónoma del Estado de México.

³ Autor de correspondencia: hugolopezcamarillo4.6@gmail.com

A las orillas de la historia: algunas investigaciones sobre la flora del lago de Texcoco

La riqueza, usos y aplicaciones de las plantas del Valle de México ha sido documentada desde el siglo XVI, por colectores del Viejo Mundo como Francisco Hernández, por grandes naturalistas como Alexander von Humboldt y Aimé Bonpland, así como por los ilustres fundadores de la botánica en México como Helia Bravo, Maximino Martínez y Jerzy Rzedowski, entre muchos otros más (Rzedowski, 1957; Moreno Sánchez, 2007; Rzedowski *et al.*, 2009; Martínez Cortés, 2015).

Si bien, las plantas acuáticas han pasado un poco más desapercibidas que sus hermanas terrestres, también han tenido una importante presencia en la historia del estudio la flora mexicana y de sus usos ya sea por sus aplicaciones en la medicina tradicional, la obtención de alimentos y sustancias psicotrópicas, así como por los productos y materiales derivados de ellas (Zepeda Gómez y Lot Helgueras, 2005; Carod-Artal, 2015; Escamilla Pérez y Moreno-Casasola, 2015).

La singular historia de la flora de este sitio se debe a las altas concentraciones de sal que caracterizan al lago de Texcoco, formado en una cuenca endorreica, donde los carbonatos y cloruros que provienen de las montañas que lo rodean se van acumulando con el tiempo,

volviéndolo un ecosistema salino con nichos particularmente especiales y en los cuales solo algunas especies pueden desarrollarse (Gutiérrez Castorena *et al.*, 1998, Espinosa-Castillo 2008; Chávez García, 2019; Santoyo de la Cruz *et al.*, 2021).



Figura 1. Algunas asociaciones vegetales en el lago de Texcoco: **a)** llano aluvial inundable con *Suaeda edulis*; **b)** llano aluvial inundable con algunas halófitas de porte pequeño; **c, d y e)** tulares con *Typha latifolia*, *Schoenoplectus* spp., *Eleocharis* spp. y *Cyperus* spp. y **f)** estepa salina con zacahuistal de *Distichlis spicata*.

Rzedowski (1957), fue uno de los pioneros en estudiar la flora del lago de Texcoco y describió algunas asociaciones de plantas que incluían glicófitas (plantas intolerantes a salinidad) y halófitas que se encuentran en diferentes micrositios dentro del propio lago y a sus alrededores (Figura 1), formando parches fisonómicamente distintos, los cuales constituyen microhábitats particulares para otras especies (Flores, 1918; González *et al.*, 2002).

CONANP (2021) recopila, la información más reciente respecto a la diversidad de especies vegetales en el lago de Texcoco. Dicha información fue recabada a través del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF), sin embargo, no es un listado completo sobre las especies que habitan en el lago.

Refugio lacustre: un testamento del lago de Texcoco como Área Natural Protegida

Después de años de abandono, el lago de Texcoco obtuvo el estatus de Área Natural Protegida (ANP) el 22 de marzo de 2022, con el carácter de Área de Protección de Recursos Naturales (Presidencia de la República, 2022), permitiendo un avance importante para la conservación de las

diferentes especies que habitan en este sitio y son un testamento de la diversidad biológica que alberga el lago.

El lago se caracteriza por ser el hábitat de diferentes especies animales y vegetales, que están adaptadas a las condiciones de salinidad y dinámicas hídricas propias de este gran cuerpo de agua (CONACYT, 2022). Entre las especies registradas y que pretenden ser protegidas en el lago de Texcoco se encuentran: 319 especies de flora y 373 especies animales que incluyen 39 especies de invertebrados, cinco especies de peces, 15 especies de anfibios, 17 especies de reptiles, 276 especies de aves y 21 especies de mamíferos (BirdLife DataZone, 2021; CONANP, 2021).

De las 276 especies de aves que habitan en el lago de Texcoco (60.39% de la riqueza reportada en el estado de México), 26 se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo cual, fue designado como Área de Importancia para la Conservación de Aves en México (AICA) y es uno de los 33 humedales prioritarios para la distribución de las aves playeras en México (SEMARNAT, 2008; SEMARNAT, 2010; CONANP, 2021). Además, dada su naturaleza como ecosistema acuático, la gran biodiversidad que mantiene, los recursos naturales que alberga y la historia cultural de los pueblos asentados en sus márgenes, el 5 de junio de 2022 se designó

como el Sitio de Importancia Ramsar número 144 en México (SEMARNAT, 2008; CONANP, 2021; SISR, 2022).

Por otro lado, y dado el aprovechamiento que las comunidades obtienen del lago de Texcoco, el Frente de Pueblos en Defensa de la Tierra (FPDT), junto con otros grupos de la sociedad organizada, propusieron la creación del “Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco”, con la finalidad de salvaguardar los derechos de los pueblos y de la naturaleza considerados dentro del polígono que abarca alrededor de 10,077.3968 hectáreas (CONANP, 2021).

Un lago que se extingue: las problemáticas del lago de Texcoco

Son múltiples las problemáticas actuales que presenta el lago de Texcoco y que repercuten en las esferas ambientales, ecológicas y sociales. El más severo es la pérdida de superficie inundable, lo que incrementa, por un lado, el riesgo de inundaciones en tierras bajas y la pérdida de la cobertura vegetal, y por otro, un exceso en los niveles de salinidad que vuelve difícil el establecimiento de vegetación no halófila (CONAGUA, 2007).

De igual manera, han contribuido la desecación del lago de Texcoco y desertificación de terrenos circundantes, las descargas de aguas residuales, la deforestación, la erosión de suelos, agrietamientos y los hundimientos (CONAGUA, 2007; Gómez Evangelista, 2016; CONACyT, 2022)).

A causa de las diferentes afectaciones de carácter antropogénico, el lago de Texcoco perdió alrededor de 600 km² que lo integraban en 1521. Hoy en día tan solo cuenta con pequeños remanentes, el más grande de ellos, el Lago Nabor Carrillo, de tan solo 10 km² además de ser de carácter artificial, se mantiene como el principal cuerpo de agua del sistema lacustre (CONANP, 2021).

Si bien no se conoce con exactitud el número de especies que se han perdido, algunos estudios demuestran que la disminución en la riqueza de plantas está relacionada con el incremento en la salinidad del lago de Texcoco, donde especies poco tolerantes como *Juncus balticus* y *Azolla* spp. son menos comunes, mientras que algunas poáceas y ciperáceas van ganando territorio (Rzedowski, 1957; Fernández Buces, 2006; Lot *et al.*, 2013; Oliver Burwitz *et al.*, 2019).

Hoy en día, el lago de Texcoco presenta una estructura heterogénea conformada por pequeños lagos permanentes, charcas someras estacionales, praderas inducidas, bosquetes, y zonas agrícolas. Esta configura-

ción brinda hábitats a diferentes especies, tanto de flora como de fauna y otros grupos biológicos (CONANP, 2021).

Las hijas del agua y sal: las plantas acuáticas que habitan en el lago de Texcoco

La presencia de hidrófitas en el lago de Texcoco está delimitada por la fisicoquímica del agua, por los tipos de suelo y niveles de salinidad que varían tanto espacialmente como a lo largo del año, e incluso en ciclos de varios años. En los sitios con mayor presencia de sales, sólo las especies conocidas como halófitas (Figura 2) pueden cumplir sus ciclos vitales, mientras que en áreas con poca o nula concentración salina se reportan especies dulceacuícolas y tolerantes (Rzedowski, 1957; Rueda-Puente *et al.*, 2017).

Los estudios existentes sobre la flora de la región de Texcoco son pocos, y solo se han descrito las asociaciones principales y algunas especies en los diferentes cuerpos de agua y la cuenca central, todo esto en los estudios de Rzedowski en 1957, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (SARH) y Cruickshank, ambos en 1981, Zepeda Gómez y Lot Helgueras en 2005, Fernández Buces en 2006 y Noguez-Hernández y colaboradores en 2013. Algunos años después, fue publicada más informa-

ción en el Diario Oficial de la Nación (SEMARNAT, 2010; 2019) y por parte de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021; SEMARNAT, 2022) en sus listados de biodiversidad del lago de Texcoco e incluyeron nuevos registros.



Figura 2. Dos halófitas representativas del lago de Texcoco *Distichlis spicata* y *Suaeda edulis*: **a)** *D. spicata* formando un pastizal inundable; **b)** plántula de *D. spicata* creciendo sobre sustrato de tequesquite (sales minerales); **c)** estolón exploratorio de *D. spicata*; **d)** *S. edulis* creciendo en una planicie inundable; **e)** crecimiento radial en *S. edulis*; **f)** detalle de las hojas crasas de una *S. edulis*.

Debido a la falta de un listado florístico formal sobre las plantas acuáticas del lago de Texcoco, este trabajo tuvo por objetivo el generar una lista de las especies que se han reportado a lo largo del tiempo en la bibliografía descrita en el párrafo anterior, considerando sólo las que de manera histórica y potencial se distribuyen en la región. Todas las especies fueron revisadas, se actualizaron con sus nombres válidos (POWO, 2017; Tropicos s.f.) y se describieron los biotipos para cada una (Cuadro 1), según Lot y Chiang (1986), Lot y colaboradores (2015) y Alcaraz Ariza (2013), adaptado por López Camarillo (2022).

Cuadro 1

Forma de vida o biotipo de las hidrófitas, subacuáticas y tolerantes del lago de Texcoco

BIOTIPO	CARACTERÍSTICA
Caméfito herbácea (CH)	Perenne que se desarrolla en los primeros 50cm de altura por encima de la superficie del suelo, de tallo herbáceo.
Caméfito fruticosa (CF)	Perenne que se desarrolla en los primeros 50cm de altura por encima de la superficie del suelo, de tallo leñoso.
Caméfito repente (CRep)	Perenne que se desarrolla en los primeros 50cm de altura por encima de la superficie del suelo, con tallos decumbentes o rastreros.

continuación Cuadro 1

Biotipo	Característica
Caméfita rosulada (CRos)	Perenne que se desarrolla en los primeros 50 cm de altura por encima de la superficie del suelo; hojas dispuestas en rosetas basales o subcaulinares.
Caméfita sufruticosa (CS)	Perenne que se desarrolla en los primeros 50 cm de altura por encima de la superficie del suelo; tallo con base leñosa y el resto herbáceo.
Hemicriptófito cespitosa (HCrC)	Perenne con reducción de las estructuras aéreas de manera periódica, las yemas de reemplazo a ras del suelo; plantas de porte gramíneo.
Hidrófito enraizada emergente (HEE)	Acuática no leñosa; arraigada al sustrato con segmentos aéreos por encima de la superficie del agua; órganos reproductores en el aire.
Hidrófito enraizada flotadora (HEF)	Acuática no leñosa; arraigada al sustrato con hojas flotando sobre la superficie del agua; órganos reproductores ligeramente expuestos al aire.
Hidrófito enraizada sumergida (HES)	Acuática no leñosa; arraigada al sustrato con todas sus estructuras vegetativas inmersas en el agua; órganos reproductores bajo el agua o emergiendo de la superficie.
Hidrófito libre flotadora (HLF)	Acuática no leñosa; sin arraigarse al sustrato; estructuras foliares y reproductoras flotando sobre la superficie del agua; sistema radical sumergido; dispersadas por el viento o corrientes de agua.
Hidrófito libre sumergida (HLS)	Acuática no leñosa; sin arraigarse al sustrato; estructuras vegetativas sumergidas bajo el agua o bien pueden ser ligeramente emergentes; dispersadas por corrientes de agua.
Mesofanerófito (MeFa)	Perenne arbórea que crece por encima de los 10 m por encima de la superficie del suelo y llega hasta los 20 m.

El número de especies que se recuperó consta de 97 especies de plantas vasculares, pertenecientes a 33 familias, con 40 especies de hidrófitas estrictas, 24 subacuáticas y 33 tolerantes (Cuadro 2). De estas, 73 especies son nativas y ocho son endémicas de México, 16 son introducidas y seis se consideran invasoras (Villaseñor, 2016; Villaseñor y Espinosa-García, 2004).

Cuadro 2

Plantas acuáticas, subacuáticas y tolerantes reportadas en el lago de Texcoco a través de diferentes fuentes de información

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CONDICIÓN acuática / biotipo / hábitat
Salviniaceae Martinov		
<i>Azolla caroliniana</i> Willd. ^N	Helecho de agua	H / HLF / D
Cupressaceae Gray		
<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich. ^N	Sabino, ahuehuete	H / MeFa / T
Alismataceae Vent.		
♦ <i>Sagittaria macrophylla</i> Zucc. ^E	Apatlol, papa de agua	H / HEE / D
Araceae Juss.		
<i>Lemna gibba</i> L. ^N	Chichicastle, lenteja de agua	H / HLF / D

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
<i>Lemna minor</i> L. ^N	Lenteja de agua	H / HLF / D
<i>Lemna valdiviana</i> Phil. ^N	<i>Pale duckweed</i>	H / HLF / D
<i>Wolffia columbiana</i> H.Karst. ^N	Hojuelas de agua	H / HLF / D
Cyperaceae Juss.		
<i>Amphiscirpus nevadensis</i> (S.Watson) Oteng-Yeb. ^N	<i>Nevada bulrush</i>	H / HEE / H
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla. ^N	<i>Cosmopolitan bulrush</i>	H / HEE / T
<i>Carex tuberculata</i> Liebm. ^E	-No reportado-	H / HEE / T
<i>Cyperus esculentus</i> L. ^N	Cebollita, cebollín	T / HCrC / T
<i>Cyperus laevigatus</i> L. ^N	<i>Smooth flatsedge</i>	T / HCrC / H
<i>Cyperus semiochraceus</i> Boeckeler. ^N	Cortadilla, gallito	H / HCrC / D
<i>Eleocharis bonariensis</i> Ness. ^N	Tule	S / HEE / D
<i>Eleocharis dombeyana</i> Kunth. ^N	Tule	S / HEE / D
<i>Eleocharis montevidensis</i> Kunth. ^N	<i>Sand spikerush</i>	H / HEE / D
<i>Schoenoplectus americanus</i> (Pers.) Volkart. ^N	Espadaña, tule	H / HEE / H
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A.Mey.) Soják. ^N	Espadaña, totora	H / HEE / T
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla. [▲]	Tule de laguna	H / HEE / T
<i>Schoenoplectus pungens</i> (Vahl) Palla. ^N	<i>Chairmaker's rush</i>	H / HEE / H
<i>Schoenus nigricans</i> L. ^N	<i>Black bogrush</i>	H / HEE / H
Juncaceae Juss.		
<i>Juncus arcticus</i> Willd. ^N	Cerbatana, junco	S / HEE / S
<i>Juncus balticus</i> Willd. ^N	<i>Baltic rush</i>	T / HEE / H

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
<i>Juncus effusus</i> L. ^N	Agujilla	S / HEE / D
<i>Juncus imbricatus</i> Laharpe. ^N	Junco	T / HEE / T
<i>Juncus liebmannii</i> J.F.Macbr. ^N	Sangrinaría macho	S / HEE / D
<i>Juncus xiphioides</i> E.Mey. ^N	<i>Irisleaf rush</i>	S / HEE / T
<i>Luzula denticulata</i> Liebm. ^N	Junco	T / HEE / D
Poaceae Barnhart		
<i>Arundo donax</i> L. [▲]	Carrizo	S / HEE / T
<i>Diplachne fusca</i> (L.) P.Beauv. ex Roem. & Schult. ^N	Zacate gigante anual	S / HCrC / T
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene. ^N	Pasto salado, huizapol	T / HCrC / H
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv. [▲]	Grama de agua	H / HEE / T
<i>Hordeum jubatum</i> L. ^N	Cebada cimarrona	T / HCrC / H
<i>Kalinia obtusiflora</i> (E.Fourn.) H.L.Bell & Columbus. ^E	Zacate jihuite	T / HCrC / H
<i>Leersia hexandra</i> Sw. ^N	Arrocillo, lambedor	H / HEE / D
<i>Louisiella elephantipes</i> (Nees ex Trin.) Zuloaga. ^N	Canutillo	H / HCrC / D
<i>Panicum repens</i> L. [▲]	Canota	S / HCrC / T
<i>Polypogon interruptus</i> Kunth. ^{In}	Pasto, zacate natal	T / HCrC / D
<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf. [▲]	Cola de zorra	S / HCrC / D
<i>Polypogon viridis</i> (Gouan) Breistr. ^{In}	Cola de ardilla	S / HCrC / D
<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc. ^N	Pasto, zacate de agua	T / HCrC / H
Pontederiaceae Kunth		
<i>Pontederia crassipes</i> Mart. [▲]	Lirio acuático, camalote	H / HLF / D

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
Potamogetonaceae Bercht. & J.Presl		
<i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner. ^N	Ocoxal de agua	H / HES / T
<i>Zannichellia palustris</i> L. ^N	<i>Horned pondweed</i>	H / HES / D
Ruppiaceae Horan.		
<i>Ruppia maritima</i> L. ^N	Ocoshal de agua	H / HES / T
Typhaceae Juss.		
<i>Typha latifolia</i> L. ^N	Chuspata, cola de gato	H / HEE / T
Aizoaceae Martinov		
<i>Sesuvium portulacastrum</i> L. ^N	Cenicienta, cenicilla	T / CROs / H
<i>Sesuvium revolutifolium</i> Ortega. ^N	Romerillo	T / CROs / T
<i>Trianthema portulacastrum</i> L. ^N	Monte salado, verdolaga	T / CROs / H
Amaranthaceae Jus.		
<i>Atriplex linifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. ^E	Chamiso	T / CS / H
<i>Atriplex muricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. ^E	-No reportado-	T / CS / H
<i>Atriplex patula</i> L. ^{In}	Armuelle	T / CS / T
<i>Atriplex suberecta</i> I.Verd. ^{In}	Chamizo australiano	T / CS / H
<i>Chenopodium murale</i> (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch. ^{In}	Pie de ganso	T / CH / H
<i>Oxybasis mexicana</i> (Moq.) Sukhor. ^N	Quelite	T / CH / T

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
<i>Suaeda edulis</i> Flores Olv. & Noguez. ^N	Romerito salado	S / HEE / H
Apiaceae Lindl.		
<i>Lilaeopsis schaffneriana</i> (Schltdl.) J.M.Coult. & Rose. ^N	Junco falso	H / HES / D
Araliaceae Juss.		
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f. ^N	Alacote, ombligo de Venus	H / HEE / D
<i>Hydrocotyle verticillata</i> Thunb. ^N	<i>Pakan-le</i>	H / HEE / D
Asteraceae Bercht. & J.Presl		
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. ^{In}	Altamisa, altamís	T / CS / T
<i>Ambrosia peruviana</i> Willd. ^N	Artemisa, altamisa	T / CS / T
<i>Bidens pilosa</i> L. ^N	achual blanco	T / CH / T
<i>Erigeron canadensis</i> L. ^{In}	Hierba carnícerá	T / CH / D
<i>Euphrosyne partheniifolia</i> DC. ^E	Altamisa	S / HEE / T
<i>Jaegeria bellidiflora</i> (Moc. & Sessé ex DC.) A.M.Torres & Beaman. ^E	Estrella de agua	H / HEE / D
<i>Symphotrichum ericoides</i> (L.) G.L.Nesom var. <i>ericoides</i> ^N	Escobilla	T / CF / H
<i>Symphotrichum expansum</i> (Poepp. ex Spreng.) G.L.Nesom. ^N	Estrella salada	S / HEE / T
Boraginaceae Juss.		
<i>Heliotropium curassavicum</i> L. ^N	Alacrancillo de playa	T / CROs / H

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
Brassicaceae Burnett		
<i>Rorippa mexicana</i> (Moc., Sessé & Cerv. ex DC.) Standl. & Steyerl. ^N	Berro de la India, platanillo	H / HEE / D
Caryophyllaceae Juss.		
<i>Arenaria bourgaei</i> Hemsl. ^N	Hierba de la piedra	S / CROs / D
Ceratophyllaceae Gray.		
<i>Ceratophyllum demersum</i> L. ^N	Cebillo, milhojas de agua	H / HLS / T
Fabaceae Lindl.		
<i>Trifolium pratense</i> L. ^{ln}	Trébol	T / CH / T
Haloragaceae R.Br.		
<i>Miriophyllum hippuroides</i> Nutt. ^N	Cola de caballo	H / HES / D
Lythraceae J.St.-Hil.		
<i>Lythrum alatum</i> Pursh. ^N	Hierba colorada	S / HEE / D
Nymphaeaceae Salisb.		
<i>Nymphaea</i> sp. L. ^N	Ninfas, nenúfares	H / HEF / D
Onagraceae Juss.		
<i>Epilobium ciliatum</i> Raf. subsp. <i>ciliatum</i> ^N	<i>Hairy willowherb</i>	S / HEE / D
<i>Ludwigia adscendens</i> subsp. <i>diffusa</i> (Forssk.) P.H.Raven. ^N	-No reportado-	H / HEF / D

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
Phrymaceae Schauer.		
<i>Erythranthe glabrata</i> (Kunth) G.L.Nesom. ^N	Hierba del cáncer de agua	S / CRep / D
Plantaginaceae Juss.		
<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst. ^N	Verdolaga de puerco	S / HEE / T
<i>Veronica americana</i> (Raf.) Schwein. ex Benth. ^N	<i>American brooklime</i>	S / HEE / D
Polygonaceae Juss. I		
<i>Persicaria hydro Piperoides</i> (Michx.) Small. ^N	Camarón, chilillo	H / HEE / D
<i>Persicaria pubescens</i> (Blume) H.Hara. ^N	Camarón, chilillo	H / HEE / D
<i>Persicaria punctata</i> (Elliott) Small. ^N	Barbasco, catay dulce	H / HEE / D
<i>Rumex crispus</i> L. ^{In}	Bardana	S / CH / D
<i>Rumex mexicanus</i> Meisn. ^N	Lengua de vaca	T / CH / D
<i>Rumex palustris</i> Sm. ^N	Lengua de vaca	S / CH / D
Portulacaceae Juss.		
<i>Portulaca oleracea</i> L. ^{In}	Verdolaga	T / CRos / T
Ranunculaceae Juss.		
<i>Halerpestes cymbalaria</i> (Pursh) Greene. ^N	Oreja de ratón	H / HEE / T
<i>Ranunculus donianus</i> Pritz. ^N	-No reportado-	T / CH / D

continuación Cuadro 2

FAMILIA Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN	AFINIDAD acuática / biotipo / hábitat
<i>Ranunculus hydrocharoides</i> A.Gray. ^N	Frog's-bit buttercup	H / HEE / D
<i>Ranunculus dichotomus</i> Moc. & Sessé ex DC. ^N	Té de sequía	H / CH / D
Salicaceae Mirb.		
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth. ^N	Ahuejote	T / MeFa / D
<i>Salix paradoxa</i> Kunth. ^N	Ahuejote, borrego	T / MeFa / D
Solanaceae Juss.		
<i>Nierembergia angustifolia</i> Kunth. ^E	Espumilla	S / HEE / H
<i>Calibrachoa parviflora</i> (Juss.) D'Arcy. ^N	Petunia silvestre	T / CH / H
Urticaceae Juss.		
<i>Urtica dioica</i> L. ^N	Dominguilla, ortiga delgada	T / CF / D
Verbenaceae J.St.-Hil.		
<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene. ^N	Bella alfombra	T / CH / H

Los superíndices en los nombres corresponden a: **E**) endémica; **N**) nativa de México; **In**) introducida en México y **▲**) invasora en México. La afinidad acuática corresponde a: **H**) hidrófita estricta; **S**) subacuática y **T**) tolerante. Hábitat: **H**) halófila; **D**) dulceacuícola y **T**) tolerante. La categoría de amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 se señala con **♦**. Para los biotipos: **CH**) caméfito herbácea; **CF**) caméfito fruticosa; **CRep**) caméfito repente; **CRos**) caméfito rosulada; **CS**) caméfito sufruticosa; **HCrc**) hemicriptófito cespitosa; **HEE**) hidrófita enraizada emergida; **HEF**) hidrófita enraizada flotadora; **HES**) hidrófita enraizada sumergida; **HLF**) hidrófita libre flotadora; **HLS**) hidrófita libre sumergida; **MeFa**) mesofanerófito.



Figura 3. Algunos representantes de la flora acuática del lago de Texcoco: **a)** *Polypogon interruptus*; **b)** *Bolboschoenus maritimus* y **c)** *Schoenoplectus americanus*.

Las familias con mayor número de especies de plantas acuáticas reportadas para el lago de Texcoco fueron Cyperaceae y Poaceae, con 14 y 13 especies, respectivamente. Seguidas de Asteraceae con ocho, mientras que Juncaceae y Amaranthaceae presentaron siete cada una. Estas familias tienen representantes típicos de humedales continentales como *Schoenoplectus*, *Leersia*, *Jaegeria* y *Juncus* (Figuras 3 y 4) (Ramos Ventura y Novelo Retana, 1993).

Las cuarenta especies de hidrófitas (incluyendo halófitas) reportadas para el lago de Texcoco (Figura 5), corresponden al 16% de las acuáticas estrictas conocidas en México (249 especies) (Mora-Olivo *et al.*, 2013), el mismo porcentaje reportado para las Ciénegas de Lerma (Zepeda-Gómez *et al.*, 2012) y similar (19%) para humedales dulceacuícolas en el Valle de Toluca (López Camarillo, 2022), sin embargo, su composición florística varía considerablemente dada su naturaleza y origen, lo que incrementa la diversidad regional.

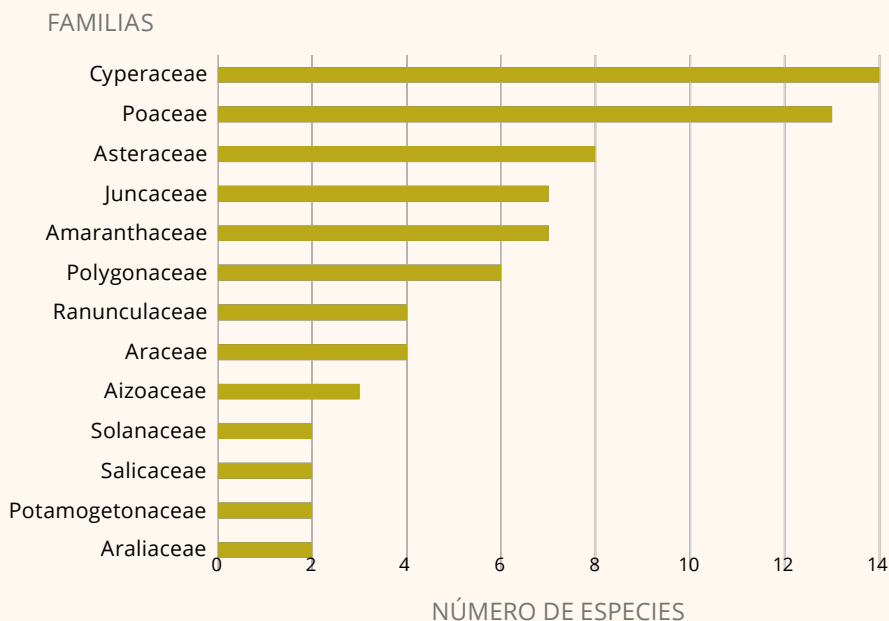
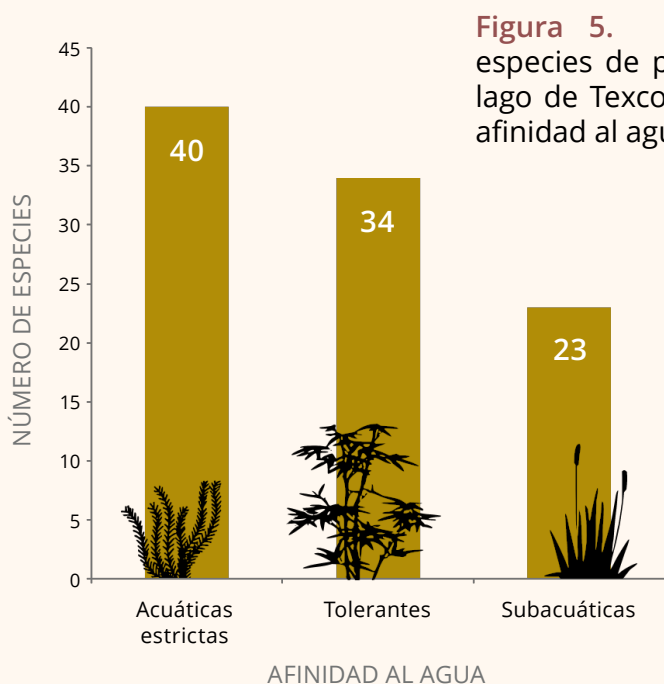


Figura 4. Algunas familias con más de una especie de hidrófitas, subacuáticas y tolerantes en el lago de Texcoco.

De las 97 especies reportadas para el lago de Texcoco, el biotipo más representado fue el de las hidrófitas enraizadas emergidas (HEE) con 41.2%, seguido de las hemicriptófitas cespitosas (HCrC) con 13.4% y las caméfitas herbáceas (CH) con 12.4%. De manera contraria, las hidrófitas enraizadas flotantes y las hidrófitas libres sumergidas fueron las menos abundantes con 2% y 1% respectivamente (Figura 6).



Esta variedad de formas de vida configura una fisonomía bien diferenciada entre las especies que se encuentran en las planicies inundables y donde hay columnas de agua permanente, aportando complejidad paisajística al sistema lacustre de Texcoco, donde cada una aprovecha de manera diferencial los diferentes microhábitats que están disponibles tanto espacial como temporalmente (López Camarillo, 2022; Ramírez *et al.*, 2016).

El número de especies nativas y endémicas reportadas (81 especies) es cinco veces mayor que el de las introducidas e invasoras (16 especies) (Figura 7), lo que

responde en gran medida a la condición salobre histórica del lago, que limita la colonización y establecimiento de especies alóctonas, aun cuando existen diferentes perturbaciones que podrían facilitar el establecimiento de especies introducidas e invasoras (Villaseñor y Espinosa-García, 2004; Alcaraz Ariza, 2012; Oliver Burwitz *et al.*, 2019).

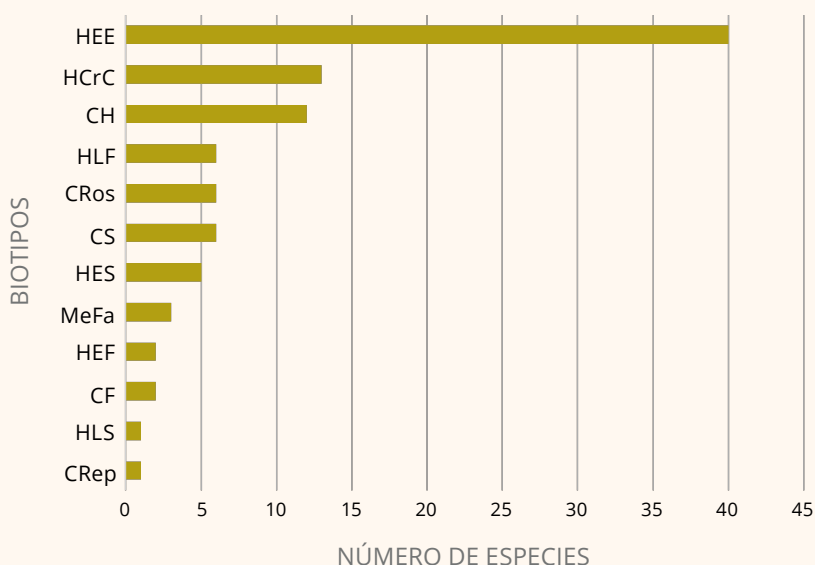
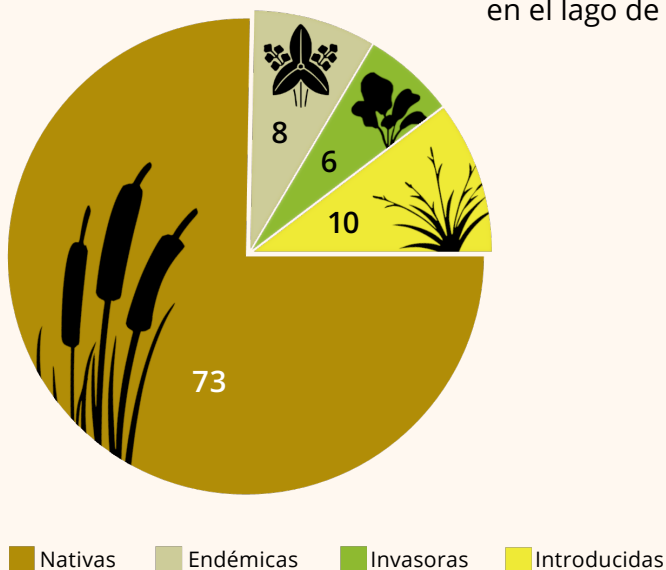


Figura 6. Especies hidrófitas, subacuáticas y tolerantes del lago de Texcoco según su biotipo. Los biotipos son: **CH**) caméfito herbácea; **CF**) caméfito fruticosa; **CRep**) caméfito repente; **CRos**) caméfito rosulada; **CS**) caméfito sufruticosa; **HCrc**) hemcriptófito cespitosa; **HEE**) hidrófito enraizada emergida; **HEF**) hidrófito enraizada flotadora; **HES**) hidrófito enraizada sumergida; **HLF**) hidrófito libre flotadora; **HLS**) hidrófito libre sumergida; **MeFa**) mesofanerófito.

Figura 7. Estatus ecológico de las especies hidrófitas, subacuáticas y tolerantes en el lago de Texcoco.



La problemática que representa para la biodiversidad la presencia de especies introducidas y con comportamiento invasor como *Polypogon monspeliensis*, *Pontederia crassipes*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum repens*, *Schoenoplectus lacustris* y *Arundo donax* en el lago de Texcoco se expresa en la calidad de agua, la disponibilidad de luz, nutrientes y oxígeno disuelto, condiciones necesarias para el desarrollo y establecimiento de las poblaciones de especies nativas que se ven desplazadas (Guevara y Ramírez, 2015; León G., 2017; Siller Clavel, 2021).

Se registró a la papa de agua (*Sagittaria macrophylla*), la cual se ubica como amenazada en la NOM-059-SE-MARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Así mismo, se menciona la presencia del género *Nymphaea*, con una especie no determinada. Se sabe que este género incluye a *N. mexicana*, *N. odorata* y *N. gracilis* con distribución histórica en el Valle de México, en el complejo lacustre de Texcoco-Tenochtitlan, aunque actualmente son escasas o se han extinto localmente (Lot, 2017; Montero García, 2022).

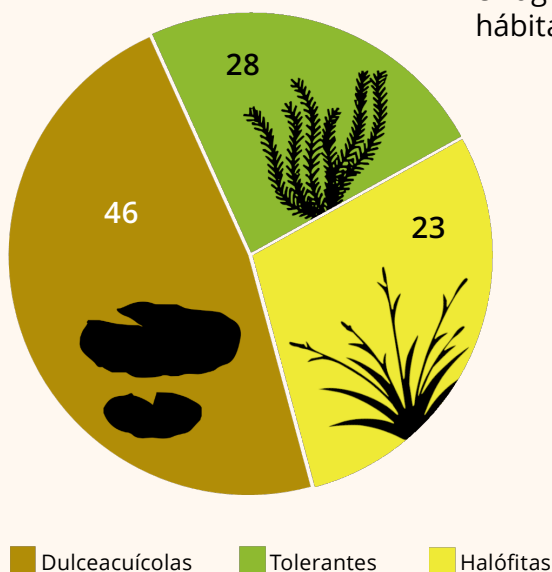
Otras especies dulceacuícolas que se reportan en el lago de Texcoco son *Hydrocotyle ranunculoides*, *H. verticillata* y *Jaegeria bellidiflora*, esta última, endémica de México (Chediack *et al.*, 2018; Rzedowski, 2020). Estas especies son comunes en cuerpos de agua por encima de los 1800 m s.n.m. y forman parte de la fisonomía típica de las asociaciones vegetales en humedales de poca profundidad (Berlanga-Robles *et al.*, 2007).

También se menciona a *Halodule wrightii* en la lista hecha por la CONANP (2021), sin embargo, esta especie de pasto marino sólo se conoce de bajos arrecifales, bahías y lagunas costeras de hasta 3 m de profundidad y aunque se ha reportado su dispersión de módulos vegetativos por ornitofauna, se sugiere tomar con reserva su presencia en el lago de Texcoco, por lo que no se incluye en el

listado final (Larkin *et al.*, 2010; Lot *et al.*, 2013; Sotelo Giner, 2015).

El número de plantas halófitas que se registraron es bajo (24 especies), en comparación con las de afinidad dulceacuícola y las tolerantes (Figura 8). Sin embargo, se ha reportado que tienen una alta abundancia dentro del lago de Texcoco, y son las que presentan estrategias de resistencia y resiliencia tanto a la escasez de agua como a los altos niveles de salinidad, elementos que resultan limitantes para muchas otras especies (Fernández Buces, 2006; Lot, 2012).

Figura 8. Especies hidrófitas, subacuáticas y tolerantes en el lago de Texcoco, según su hábitat salobre.



Entre las especies halófitas más importantes que se pueden encontrar en el lago de Texcoco se enlista a *Distichlis spicata*, *Sesuvium portulacastrum* y *Suaeda edulis*, componentes típicos de ambientes con una gran saturación de sales en el suelo y adaptadas a variaciones en los niveles de agua a lo largo del año. Algunas de ellas, se ocupan con fines de remediación salina en ambientes degradados por sus cualidades de resistencia y bioacumulación de sales (Calderón Rzedowski y Rzedowski, 2010; Alcaraz Ariza, 2012; Noguez-Hernández *et al.*, 2013). De manera particular, el pasto salado (*D. spicata*) abunda en algunas zonas del lago y forma manchones en áreas hipersalinas y con diferentes concentraciones de salinidad, acumulando estos minerales en su biomasa (Figura 9), lo que permite, con el debido tiempo, el establecimiento de de distintas especies menos tolerantes (Chávez García, 2022; Meléndez García, 2022).

En la actualidad, y no solo en el lago de Texcoco, la presencia de comunidades de hidrófitas está limitada por la falta de hábitats ideales. Ante la disminución y degradación de cuerpos de agua continentales, la vegetación establecida disminuye y desaparece a un ritmo alarmante. Aunado a esto, aún es poco el conocimiento que se tiene sobre sus dinámicas ecológicas (Mora-Olivo *et al.*, 2013; López Camarillo, 2022; SEMARNAT, 2022).



Figura 9. *Distichlis spicata*: **a)** colonizando una poza de cultivo de alga espirulina; **b)** estructuras vegetativas con acumulación de sales.

Los sitios reportados que albergan la riqueza florística de hidrófitas dentro del lago de Texcoco son canales, zanjas, desembocaduras de arroyos, sitios cercanos a manantiales, los contingentes lacustres y las pequeñas planicies inundables que están dentro del ANP (Rzedowski, 1957; Fernández Buces, 2006).

Por ejemplo, en la región norte del Lago, la vegetación típica consiste en *Juncus balticus* y *Typha latifolia*, siendo las más conspicuas en orillas, islotes y fondos poco pro-

fundos, lo que contrasta drásticamente con las especies halófitas como *Suaeda edulis* y *Trianthema portulacastrum* que viven en los espejos de agua de escasos centímetros de profundidad (Rzedowski, 1957; CONANP, 2021).

Visión hacia el futuro: lo que queda por hacer

No hay que pasar por alto que la flora del lago de Texcoco ha sufrido cambios importantes a lo largo del tiempo, principalmente derivado de afectaciones antropogénicas. De 1957 hasta 2006, se reportaron diferentes especies, pero al no contar con estudios particulares sobre las hidrófitas del lago y las comunidades que se han mantenido, se desconoce el verdadero estado de su riqueza.

Aún se pueden realizar estudios bajo diferentes enfoques y perspectivas, por ejemplo, hacen falta estudios sobre la fisiología de las plantas halófitas, especies con potencial de restauración en ambientes degradados y estudios ecológicos tanto a nivel poblacional como de comunidades. Esto daría pauta a un incremento del conocimiento y valor que este lago representa para la biodiversidad mexiquense y lo mantendría como oasis para

la flora acuática de la cuenca de México.

Así mismo, se podrían obtener diferentes valores de riqueza específica al realizar un estudio sistematizado que contemple los diferentes ambientes dentro del sistema lacustre, así como los biotipos y las comunidades que forman, haciendo énfasis en la vegetación establecida para saber qué queda y qué debe protegerse.

Por tanto, el estudio de las hidrófitas que habitan en el lago de Texcoco, lejos de terminar, más bien, debe promoverse e incrementarse. Con una visión de conservación, se alienta a que, desde la multidisciplinariedad y el trabajo continuo, se generen nuevos proyectos en favor de la biodiversidad, la permanencia de las relaciones socioecológicas y, en particular, la flora de este socioecosistema lacustre tan vulnerable.

Referencias

Alcaraz Ariza, F. J. [en línea]. (2012). Geobotánica, tema 18, Salinidad y vegetación. Universidad de Murcia. España. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/Presentaciones/PTema18.pdf> (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Alcaraz Ariza, F. J. [en línea]. (2013). Geobotánica, tema 8, Formas vitales, estratificación y fenología. Universidad de Murcia. España. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/Presentaciones/PTema08.pdf> (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Berlanga-Robles, C. A., A. Ruíz-Luna y G. de la Lanza-Espino. (2007). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, **66**: 25-46. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n66/n66a3.pdf>

BirdLife DataZone [en línea]. (2021). Important Bird Areas factsheet: lago de Texcoco. BirdLife Internacional, Reino Unido. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/Lago-de-texcoco-iba-mexico> (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Calderón de Rzedowski, G. y J. Rzedowski. (2010). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. ISBN: 978-607-7607-36-6.

Carod-Artal, F. J. (2015). Alucinógenos en las culturas precolombinas mesoamericanas. *Neurología*, **30**(1): 42-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2173580814001527?via%3Dihub>

Chávez García, E. (2019). *Rehabilitación de suelos salino-sódicos para el establecimiento de una cobertura vegetal en el ex lago de Texcoco*. Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Chávez García, E. (2022). *Distichlis spicata*: una planta para la sal de suelo. *Desde el Herbario CICY*, **14**: 206-211. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022/2022-09-29-Chavez-Elizabeth_Distichlis_spicata.pdf

Chediack, S. E., N. Ramírez-Marcial, M. Martínez-Icó y H. E. Castañeda-Ocaña. (2018). Macrófitos de los humedales de montaña de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **89**: 757-768.

CONACyT [Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología]. (2022). Opinión y recomendaciones científicas para coadyuvar al establecimiento del área natural protegida lago de Texcoco. Gobierno de México. México. https://socioecologia.conahcyt.mx/texcoco/propuesta_docs/OPINION-CONA-CYT-EPJ-ENERO-2022_VF.pdf

CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. (2007). Proyecto lago de Texcoco. Rescate Hidroecológico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas]. (2021). Estudio Previo Justificativo para la declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales lago de Texcoco. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Cruickshank, M. de la P. (1981). *Contribución al estado actual de la composición florística del ex lago de Texcoco*. Informe final de servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Escamilla Pérez, B. E. y P. Moreno-Casasola. (2015). *Plantas medicinales de la Matamba y el Piñonal, municipio de Jamapa, Veracruz*. Instituto de Ecología A. C. México. ISBN: 978-607-7579-44-1.

Espinosa-Castillo, M. (2008). Procesos y actores en la conformación del suelo urbano en el ex lago de Texcoco. *Economía, Sociedad y Territorio*, **8**(27): 769-798. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212008000200009

Fernández Buces, M. N. O. (2006). *Variabilidad espacial de la salinidad y su efecto en la vegetación en el ex lago de Texcoco: implicaciones para su monitoreo por percepción remota*. Tesis para obtener el título de Doctora. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Flores, T. (1918). El tequesquite del lago de Texcoco. *Anales del Instituto Geológico de México*. **1**(5).

Guevara, G. M. F. y C. L. J. Ramírez. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *Revista de Ciencias de la Vida*, **22**(2): 5-11.

Gutiérrez Castorena, Ma. del C., G. Stoops-G. y C. A. Ortiz Solorio. (1998). Carbonato de calcio en los suelos del ex lago de Texcoco. *Terra Latinoamericana*, **16**(1): 11-19. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57316102.pdf>

Gómez Evangelista, B. (2016). lago de Texcoco: Consecuencias de impacto ambiental. *TEPEXI Boletín Científico De La Escuela Superior Tepeji Del Río*, **3**(6).

González, L. M., M. C. González y R. Ramírez. (2002). Reseña bibliográfica: Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en plantas cultivadas. *Cultivos tropicales*, **23**(2): 27-37.

Larkin, P. D., K. L. Heideman, D. D. Burfein y G. W. Stunz. (2010). The effects of boat propeller scarring intensity on genetic variation in a subtropical seagrass species. *Botanica Marina*, **53**: 99-102.

León-G., Lorenzo. (2017). Malherbología - Malezas en cultivos: Hualcacho. *Ficha Técnica INIA - Programa Sanidad Vegetal*. 84. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/67004>

López Camarillo, H. (2022). *Evaluación del banco de semillas y la vegetación establecida en cuatro humedales artificiales en Toluca, Estado de México*. Tesis para obtener el título de Biólogo. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Lot, A. (2012). Las monocotiledóneas acuáticas y subacuáticas de México. *Acta Botanica Mexicana*, **100**: 135-148.

Lot, A. [Ed.]. (2017). *Plantas acuáticas mexicanas. Una contribución a la flora de México. - Volumen II. Dicotiledóneas - parte 1*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 978-607-30-0057-4.

Lot, A. y F. Chiang [Comps.]. (1986). *Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. Consejo Nacional de la Flora de México A. C. México. ISBN: 9789686144000.

Lot, A, R. Medina Lemos y F. Chiang [Eds.]. (2013). *Plantas acuáticas mexicanas – Una contribución a la flora de México (Volumen I: Monocotiledóneas)*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 978-607-02-4708-8.

Lot, A., M. Olvera, C. Flores y A. Díaz. (2015). *Guía ilustrada de campo, plantas indicadoras de humedales*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN 978-607-02-0000-0.

Martínez Cortés, F. [en línea]. (2015). Comentarios a la Obra de Francisco Hernández: Aspectos médicos de la Historia de las plantas de Nueva España. Obras Completas de Francisco Hernández Universidad Nacional Autónoma de México. México. http://www.franciscohernandez.unam.mx/08_indice_tomo07.html (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Meléndez García, E. I. (2022). *Impacto ambiental de los sedimentos depositados en minas de Texcoco, Estado de México: contaminación y restauración*. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4902?show=full>

Montero García, I. A. (2022). *El lago de Texcoco y México-Tenochtitlan: 1519-1521*. Itio Ediciones. México. ISBN: 978-607-29-3549-5. <https://www.montero.org.mx/texcoco#p=1>

Mora-Olivo, A., J. L. Villaseñor y M. Martínez. (2013). Las plantas acuáticas estrictas y su conservación en México. *Acta Botanica Mexicana*, **103**: 27-63.

Moreno Sánchez, E. (2007). Características territoriales, ambientales y sociopolíticas del Municipio de Texcoco, Estado de México. *Quivera*, **9**(1): 177-206. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40190110>

Noguez-Hernández, R., A. Carballo-Carballo y H. Flores-Olvera. (2013). *Suaeda edulis* (Chenopodiaceae), una nueva especie de lagos salinos del centro de México. *Botanical Sciences*, **91**(1): 19-25. [https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/download/400/pdf_77#:~:text=Suaeda%20edulis%20se%20distribuye%20en,2A%2DB%2C%203\).](https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/download/400/pdf_77#:~:text=Suaeda%20edulis%20se%20distribuye%20en,2A%2DB%2C%203).)

Oliver Burwitz, L., J. A. Rodríguez Esteban, V. Torres Costa y Z. Hernández. (2019). Análisis espacio-temporal de la degradación de suelos afectados por salinidad en el sistema lacustre del Valle de Texcoco (México). En: Ruiz Fernández, L. A., J. Estornell Cremades, A. Calle y J. C. Antuña Sánchez (Coords.). *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático*. Ediciones Universidad de Valladolid. España. ISBN: 978-84-1320-038-5. https://www.aet.org.es/congresos/xviii/Libro_ACTAS_XVIII_AET.pdf

Plants of the world online (POWO) [en línea]. (2017). *Royal Botanic Gardens, KEW - Plants of the World Online*. Royal Botanic Gardens, Kew. Reino Unido. <https://powo.science.kew.org/> (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Presidencia de la República. (2022). Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Área de Protección de Recursos Naturales, la zona conocida como lago de Texcoco, en los municipios de Texcoco, Atenco, Chimalhuacán, Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl en el Estado de México. Diario Oficial de la Federación. 22 de marzo de 2022. México.

Ramírez, C., J. M. Fariña, D. Contreras, C. San Martín, A. Camaño, M. Álvarez, O. Vidal, J. L. Solís, Y. Pérez y O. Valdivia. (2016). Dinámicas sucesional primaria natural y secundaria antropogénica de la vegetación del humedal "Ciénegas del Name" (Chile Central): un modelo conceptual. *Chilean Journal Of Agricultural & Animal Sciences*, 32(2): 134-148.

Ramos Ventura, L. J. y A. Novelo Retana. (1993). Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. *Acta Botánica Mexicana*, 25: 61-79.

Rueda-Puente, E. O., B. Murillo-Amador, J. Ortega García, P. Rangel Preciado, A. Nieto Garibay, R. J. Holguín Peña, G. A. López Ahumada, F. Rodríguez Félix, J. M. Vargas-López y F. J. Wong Corral. (2017). Desarrollo natural de la halófito *Salicornia bigelovii* (Tor.) en zona costera del estado de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1): 1-9.

Rzedowski, J. (1957). Algunas asociaciones vegetales de los terrenos del lago de Texcoco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 21: 19-33.

Rzedowski, J. (2020). El endemismo en plantas mexicanas acuáticas y subacuáticas de la familia Asteraceae. *Polibotánica*, 49: 15-29.

Rzedowski, J., G. Calderón de Rzedowski y A. Butanda. (2009). *Los principales colectores de plantas activos en México entre 1700 y 1930*. Instituto de Ecología A. C. Centro Regional del Bajío y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. ISBN 978-607-7607-04-5.

Santoyo de la Cruz, M. F., H. Flores-Magdaleno, A. Khalil-Gardezi, O. R. Mancilla-Villa y J. E. Rubiños-Panta. (2021). Composición iónica y comparación de índices de salinidad de suelo agrícola de Texcoco, México. *Nova*

scientia, 13(27): 1-20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_art-text&pid=S2007-07052021000200105

SARH [Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos]. (1981). *Estudio agrológico detallado del Ex-lago de Texcoco*. Comisión del lago de Texcoco. México.

SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2008). *Estrategia para la conservación y manejo de las aves playeras y su hábitat en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 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 cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 2ª Sección, 30 de diciembre de 2010. México.

SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 2ª Sección, 30 de diciembre de 2010. México.

SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2022). *Proyecto Ecológico lago de Texcoco*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Siller Clavel, P. (2021). *Áreas vulnerables a invasión de gramíneas exóticas invasoras en México en escenarios climáticos actuales y futuros*. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias en el área de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. <http://repositorio.uach.mx/446/1/Tesis.pdf>

SISR [Servicio de Información sobre Sitios Ramsar]. (2022). Área Natural Protegida - Área de Protección de Recursos Naturales lago de Texcoco. Ramsar, Secretaría de la Convención sobre los Humedales. Suiza. <https://rsis.ramsar.org/es/ris/2469> (Consultado el 22 de noviembre de 2023).

Sotelo Giner, F. (2015). *Distribución y biomasa del pasto marino Halodule wrightii Ascherson en la laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz*. Tesis para obtener el título de Maestro en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros. Universidad Veracruzana. México. <https://www.uv.mx/pozarica/mmemc/files/2014/12/Sotelo-Giner-Fernando.pdf>

Tropicos [en línea]. (s. f.). *Tropicos, connecting the world to botanical data since 1982*. Missouri Botanical Garden <https://www.tropicos.org/home> (Consultado el 19 de noviembre de 2023).

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **87**(3): 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Villaseñor, J. L. y F. J. Espinosa-García. (2004). The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, **10**(2): 113-123. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00059.x>

Zepeda Gómez, C. y A. Lot Helgueras. (2005). Distribución y uso tradicional de *Sagittaria macrophylla* Zucc. y *S. latifolia* Willd. en el Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, **12**(3): 282-290. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/38071>

Zepeda-Gómez, C., A. Lot-Helgueras, X. A. Nemiga y D. Madrigal-Uribe. (2012). Florística y diversidad de las Ciénegas del río Lerma, Estado de México, México. *Acta Botanica Mexicana*, **98**: 23-49. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000100003



Pan de muerto masa / horno / cocido

Col. Nueva Santa Rosa, Atenco

© Mizrain Sánchez, octubre 2023

Capítulo 3

PASADO Y PRESENTE DE ESPIRULINA

UNA REVISIÓN ETNOFICOLÓGICA

César Lobato Benítez¹

Resumen: El término “espirulina” hace alusión comúnmente a un par de cianobacterias: *Arthrospira platensis* y *Limnospira maxima*, que han sido utilizadas en alimentación por comunidades humanas en África central (Lago Chad) y México (antiguo lago de Texcoco). Investigaciones recientes han permitido reconocer el valor nutrimental (proteínas, minerales y vitaminas), pero también, el potencial de usos terapéuticos para mejorar la salud humana, lo que ha conducido a reconocer a “espirulina” como un alimento nutracéutico, no obstante, las investigaciones continúan buscando garantizar su inocuidad. Actualmente, en Santa Isabel Ixta-

pan se conserva, practica y revaloriza el conocimiento prehispánico mexicano del "tecuítlatl".

Palabras clave: Algas, etnoficología, nutraceuticos, sistemas socioecológicos

Abstract: *The term 'Spirulina' refers to a pair of cyanobacteria: Arthrospira platensis and Limnospira maxima, which have been used as food by human communities in Central Africa (Lake Chad) and Mexico (the ancient Lake Texcoco). Recent research has allowed for the recognition of its nutritional value (proteins, minerals, and vitamins) but also the potential for therapeutic uses to improve human health, leading to the recognition of Spirulina as a nutraceutical food. However, ongoing research aims to ensure its safety. Currently, in Santa Isabel Ixtapan, pre-Hispanic Mexican knowledge of 'Tecuítlatl' is preserved, practiced, and revalued.*

Key words: *Algae, Ethnophycology, Nutraceuticals, Social-ecological Systems*

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

¿Quién es espirulina? Filogenia y taxonomía

Las cianobacterias (también conocidas como algas verdeazuladas / Cyanoprokaryota) son un grupo de procariontes muy antiguos, se estima aparecieron hace 3,500 millones de años, siendo responsables de dos eventos trascendentales en la historia de la vida; estos giran en torno al metabolismo fotoautótrofo y a una innovación evolutiva que incorporan estas algas: la aparición del fotosistema II, que permite la liberación del oxígeno al ambiente. Producto de ello, en un primer evento, se dio paso al cambio de la atmósfera reductora primigenia, a una oxigénica, que condujo a la existencia de la increíble biodiversidad que alberga nuestro planeta (Schopf, 2012). Mientras que un segundo evento, está vinculado con los organismos fotoautótrofos oxigénicos, dado que considera que las cianobacterias son los ancestros inmediatos de la primera forma eucariótica ancestral con metabolismo fotoautótrofo, ya que la teoría endosimbiótica sostiene que una célula eucariota ancestral heterótrofa, fagocitó a una cianobacteria unicelular, por lo que esta unión, dio paso al origen, diversificación y evolución de todos los organismos fotosintéticos oxigénicos (Whitton y Potts, 2012).

Los principales ecosistemas en que las encontramos

son los ambientes acuáticos y marinos, en sus distintas manifestaciones: lagos, lagunas, ríos, arroyos, estanques, estuarios, costas y océanos, aunque son capaces de colonizar otros espacios: suelo, espacios subaéreos y ambientes extremos como los polos y desiertos. Son consideradas productores primarios en las redes tróficas, así como participantes clave en ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y fósforo (Reynolds, 2006). Las cianobacterias cuentan con un sistema de tilacoides que resguardan pigmentos fotosintéticos como la clorofila α , ficocianina y ficoeritrina, lo que les permite a partir del agua, liberar oxígeno. Presentan una diversidad de niveles de organización: unicelular, cenobios, colonias, filamentos simples y/o ramificados; en algunos casos presentan células especializadas (acinetos, baeocitos, heterocistos) y un mucilago envolvente, denominado vaina. Usualmente las podremos observar de manera microscópica, no obstante, algunas especies son capaces de generar crecimientos macroscópicos (Hindák, 2008).

“Espirulina” es bastante conocida, comercializada actualmente en distintas partes del mundo a través de una diversidad de productos, como son, principalmente, los suplementos alimenticios y algunos *snacks*; además de contar con una historia relacionada al uso y aprove-

chamamiento tradicional por algunos grupos humanos en África y México, dadas sus propiedades nutricionales, lo que ha conducido a que el término “espirulina” se encuentre arraigado en el conocimiento popular (Godínez *et al.*, 2001; Arenas, 2009; Lobato *et al.*, 2018).

Dentro de la comunidad científica, existen discusiones a través del tiempo sobre los nombres válidos atribuidos al conjunto de entidades biológicas que se agrupan bajo la denominación de “espirulina”. Aquí vale la pena recordar que los nombres científicos de las especies se componen de manera binomial, es decir, constan de dos componentes articulados, dónde el primero hace alusión a un género, mientras que el segundo, es conformado por un epíteto específico, por ejemplo, el vocablo “espirulina” se encuentra relacionado con el género *Spirulina*, que deriva del latín, “hélice” o “espiral”, denotando la configuración física del organismo (Ohmori y Ehira, 2014). Si en este caso quisiéramos incorporar un epíteto (ej. *maxima*) el nombre formado sería *Spirulina maxima*, que haría alusión en su conjunto a una especie.

En el recorrido taxonómico para dotar de identidad a lo que se hace alusión en el folclor como “espirulina”, se han asociado hasta el momento cuatro géneros distintos: *Spirulina*, *Halospirulina*, *Arthrospira* y recientemente *Limnos-*

pira (Nowicka-Krawczyk *et al.*, 2019). Los últimos dos géneros son reconocidos por resguardar a las especies que detenta el conocimiento tradicional y que se comercializan en el mercado como comestibles, dado su alto valor nutricional y potencial terapéutico. Ellas son *Arthrospira platensis* Gomont (antes *Spirulina platensis*) y *Limnospira maxima* (antes *Arthrospira maxima* o *Spirulina maxima*) (Ortega, 1972; Arenas y Cortella, 1996a; Arenas y Cortella, 1996b; Abdulqader *et al.*, 2000; Tomaselli, 2002; Arenas, 2003; 2009; Grewe y Pulz, 2012; Molares *et al.*, 2012; Hurrell *et al.*, 2013; Ohmori y Ehira, 2014; Arenas *et al.*, 2015; Priyanka *et al.*, 2023). Ambas se encuentran enmarcadas en un sistema filogenético dentro del *phylum* Cyanobacteria, clase Cyanophyceae, orden Oscillatoriales y familia Microcoleaceae (Guiry y Guiry, 2024). Es necesario destacar que la asignación de un nombre reconocido como legítimo por la comunidad científica se encuentra dado por los avances del conocimiento, buscando incluir en la mayoría de los casos información morfológica, citológica, ultraestructura, ecología, distribución y datos genéticos, por lo que estos nombres pueden ir cambiando a través del tiempo.

En el caso de México, el catálogo de algas continentales recientes de México de M. M. Ortega (1984) registra el género *Spirulina* con cinco especies distribuidas en el país: *Spirulina geitleri*, *S. maxima*, *S. platensis*, *S. major* y *S. sub-*

salsa. Reconoce que aquellas relacionadas con el concepto vernáculo de “espirulina” corresponden a las primeras tres, y menciona que *S. geitleri* y *S. maxima* se encuentran muy relacionadas, e incluso, se discute el posible solapamiento de su identidad, es decir, que ambas correspondan a una misma especie, registrándolas para el estado de México, particularmente para la zona de Texcoco (Evaporador Solar el Caracol), presentando formas de vida típicamente planctónicas (Ortega, 1984).

Por su parte, Komárek y Komárková-Legnerová (2002) señalan que *Limnospira maxima* (antes *A. maxima* = *S. maxima*) es una especie que se encuentra en todo el continente americano, principalmente en zonas tropicales y subtropicales, así como en África (principalmente en las regiones occidentales), en ambientes acuáticos con altas concentraciones de sal, dónde es capaz de desarrollar poblaciones masivas y casi siempre se manifiesta de manera monoespecífica, existiendo poblaciones naturales en lagos poco profundos de la región de Texcoco, en dónde incluso, es mantenida en estanques de cultivo de manera artificial, por lo que *L. maxima* es el nombre correcto para las poblaciones de Texcoco, la especie emblemática de “espirulina” para el país (Figura 1).



Figura 1. *Limnospira maxima* (*Arthrospira maxima*). Estanques de cultivo de los productores lacustres de Santa Isabel Ixtapan, Atenco, Estado de México. Imágenes obtenidas con microscopio de contraste diferencial de interferencia en 40X.

Descripción morfológica

Con lo que respecta a su morfología, la descripción de *Arthrospira maxima* (ahora *Limnospira maxima*) realizada por Komárek y Anagnostidis (2007) corresponde a tricomas cilíndricos regularmente enrollados en forma espiralada (tornillo), de manera laxa (de 3-8 hélices), con espirales sinistras, de 40-60 μm de diámetro, ligeramente estrechas hacia los extremos. La distancia estimada entre las espirales corresponde entre 70-80 μm . Los tricomas se presentan de manera solitaria, con paredes transversales no constreñidas, que se atenúan gradualmente en las terminaciones, con tonalidades gris-verdosas, y numerosos aerotopos. Las células presentan una longitud de 5-7 μm , y de (6.5) 7-9 μm (10) de diámetro. Las células apicales son redondeadas con una pared engrosada en su parte externa. El tricoma se puede definir como un conjunto de células arregladas en hilera (organismo multicelular), que carecen de una vaina (es decir, no poseen un mucilago envolvente). El término "sinistral" hace alusión a los giros que presentan una dirección hacia la izquierda (Figura 1).

Distribución y ecología

De acuerdo con AlgaeBase, *Limnospira maxima* ha sido registrada en Rumania (Europa); China e India (Asia); Chad (África); Australia (Oceanía); México, Cuba y Uruguay (América). Mientras que, *Arthrospira platensis* ha sido registrada en Alemania, Grecia, Rumania, Lituania, Península Escandinava, Serbia, España (Europa); Chad, Mozambique y Sudán (África); Iraq, Israel, Egipto y Turquía (Medio Oriente); Bangladesh, India, Pakistán, China y Taiwán (Asia); Estados Unidos, México, Perú, Brasil, Uruguay y Argentina (América) (Guiry y Guiry, 2024). De acuerdo con lo anterior, y con lo referido por Ohmori y Ehira (2014), se puede reconocer que ambas especies asociadas al concepto “espirulina” crecen de forma natural en áreas subtropicales y tropicales (América, Asia y África Central).

En el caso de México, *Limnospira maxima* ha sido registrada en los estados de Puebla, Guanajuato, Estado de México, Ciudad de México y Yucatán, predominantemente en ambientes acuáticos como lagos, humedales, cenotes y lagunas costeras, con condiciones elevadas de salinidad, con forma de vida planctónica. Mientras que, *Arthrospira platensis* ha sido registrada en las entidades de Michoacán, Tabasco y Yucatán, en lagos, cuerpos de

agua urbanos y cenotes, con forma de vida planctónica (Novelo y Tavera, 2024).

Con respecto a su ecología, se ha registrado su presencia de forma natural en lagos salinos-sódicos y alcalinos, encontrándose crecimientos notables en el antiguo lago de Texcoco en México, y en África, en su parte central (lagos Chad, Bodou, Rombou y Níger), y en el área oriental (a lo largo del Gran Valle del Rift), así como en Kenia (lagos Nakuru y Elementeita) y Etiopía (lagos Aranguadi y Kilotes) (Abdulqader *et al.*, 2000; Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014; Wan *et al.*, 2016). Se ha reportado también en suelos, pantanos, manantiales termales, reservorios de agua dulceacuícola, salobre y marina. En los ambientes acuáticos tiene una alta preferencia por agua alcalina y salina (>30 g/L) con un pH elevado (8.5-11.0), incluso ha sido aislada en ambientes con una salinidad que oscilaba entre 85 a 270 g de sal por litro, teniendo un crecimiento óptimo entre 20 y 70 g de sal por litro (Habib *et al.*, 2008; Wan *et al.*, 2016), incluso, se ha reportado en ambientes con concentraciones 1.5 veces mayores que el agua de mar. Lo que la lleva a ser una especie dominante en ambientes con niveles altos de carbonato/bicarbonato, pH elevado y temperaturas de aguas cálidas (32-45 °C, incluso sobrevive a temperaturas altas hasta los 60 °C) (Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014).

Etnoficología

La etnoficología es una de las ramas de la etnobiología que viene desarrollándose desde hace casi quince años, aunque la misma ha alcanzado una mayor visibilidad durante esta última década. No obstante, su existencia se remonta a los primeros registros sobre los procesos de interacción e interrelación entre las algas y los seres humanos, siendo el continente asiático, el que posee una infinidad de prácticas y saberes asociados a estos organismos, producto de una larga historia y tradición (Lobato *et al.*, 2018), destacando China, Corea y Japón (Pereira, 2016).

La primera mención del término etnoficología como un campo de estudio específico fue realizada por Thaman (1994), quién lo situó dentro de la etnobiología marina, y propuso que, debido a la variedad de ambientes que abarca, podría dar lugar a materias más especializadas. García-Quijano y Pitchon (2010) propusieron algo similar, situándole dentro de la etnobiología acuática. Ambos autores coincidieron en definirla como *"...el estudio de las interacciones de los pueblos con los productores autótrofos acuáticos, incluyendo las algas y plantas acuáticas"* (Arenas, 2016). Patricia M. Arenas, fue la primera en utilizar el concepto en el español en 2009 (Suárez y Arenas, 2022).

Por su parte Lobato en colaboración con Arenas y Mateo Cid (2018), definen formalmente a la etnoficología como “...disciplina que documenta, analiza, interpreta y reflexiona sobre las relaciones entre los humanos y las algas en distintos contextos (indígena, rural, urbano), inmersos en un marco socio-cultural e histórico, en un tiempo y espacio determinados” (Lobato et al., 2018). Asimismo, es un campo que se reviste con una importante revalorización de la importancia de las algas, en aspectos asociados a la ecología y a usos potenciales para la humanidad (ficogastroonomía, alimentos nutracéuticos, suplementos dietéticos, algas medicinales) (Suárez y Arenas, 2022), por lo que, bajo esta aproximación, se presentan en los próximos apartados, aspectos relacionados al conocimiento tradicional y ancestral de comunidades humanas asociados a la “espirulina”, pero también sobre el uso potencial en diversos campos.

Usos tradicionales

En la literatura se reconocen dos grandes antecedentes históricos sobre el consumo de “espirulina” por comunidades humanas, en dos latitudes del mundo, África

(Lago de Chad, compartido por Chad, Níger, Nigeria y Camerún) y América (lago de Texcoco, México) (Ortega *et al.*, 1994; Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014; Kumar *et al.*, 2015; Wan *et al.*, 2016). No obstante, existe una interesante teoría que especula sobre la posible identidad del “maná”, un alimento sagrado descrito en el libro del Éxodo, de la Biblia, que fue un tipo de pan enviado por Dios a los israelitas errantes que deambularon por el desierto durante cuarenta años, que se ha descrito de aspecto parecido a semillas del cilantro, blanco, y su sabor parecido a hojuelas con miel; siendo probablemente “espirulina”, dado que esta es capaz de sobrevivir a temperaturas tan elevadas como los 60 °C, e incluso, de subsistir cuando su hábitat es secado por la evaporación de un sol intenso, entrando a un estado de latencia (dormancia), donde el color característico (verde azulado) pasa a ser de una coloración blanca escarchada, tomando un sabor dulce (Ohmori y Ehira, 2014).

Conocida en el folclor popular como “espirulina africana” (*Arthrospira platensis*), dado que se consideraba nativa de esos lares, por las enormes poblaciones que crecen de manera natural en el Lago de Chad, donde también se han documentado prácticas y saberes asociados al aprovechamiento del recurso, que es importante para la región del lago Kossorom en la Prefectura de Lac (Chad).

Históricamente se reconoce que la primera mención sobre el consumo humano en la literatura científica corresponde a 1940, donde el ficólogo Dangeard describió un alimento encontrado en el mercado de Fort-Lamy, situado aproximadamente a 50 km al este del lago Chad, que era denominado por los nativos como "*Dihé*", realizando una descripción sobre el proceso de recolección y deshidratado, concluyendo que era "...*un alga azul filamentososa en forma de espiral*", consumida como alimento de manera cotidiana por las comunidades humanas de Kanembu de Chad y Níger. Posteriormente, se le informó que el organismo al que hacía alusión ya había sido identificado con anterioridad, como un componente del fitoplancton de varios lagos del Valle del Rift en África Oriental, siendo también fuente de alimento para una población de flamencos enanos (Ohmori y Ehira, 2014).

Abdulqader y colaboradores (2000), en el lago Kossorom en la Prefectura de Lac (Chad), a través de una serie de encuestas realizadas durante 1997 entre los Kanembu, que cosechan *Arthrospira (Spirulina)* y entrevistas realizadas a las mujeres que se reúnen diariamente alrededor del lago para la cosecha, lograron documentar las distintas fases de procesamiento involucradas con este recurso, desde la cosecha, filtrado, secado, comercializa-

ción y formas de preparación del “Dihé”. Los principales resultados resaltan que este producto proveniente del lago es la base de un producto alimenticio que se utiliza para preparar principalmente la “souce”, que es una especie de caldo de pescado o carne, acompañado de verduras; otro elemento relevante se encuentra asociado a las prácticas, dado que la cosecha, es una actividad exclusivamente femenina, pensamiento arraigado en la creencia de que si los hombres lo realizaran, harían el lago estéril; finalmente, se reconoce una extensa comercialización en mercados locales como lo son Masakori, Massaquet y N’Djamena, pero también en otros países, como Nigeria y Camerún, por lo que es un recurso con un valor comercial importante para los nativos, por lo que es económicamente relevante para la zona.

En México el registro más antiguo asociado al consumo alimenticio de “espirulina” corresponde a los pobladores del antiguo Valle de México, conocidos también como los pueblos del Anáhuac (del náhuatl, “*Atlnahuac*” *atl*=agua y *nahuac*=rodeado). Donde se ha reconocido históricamente que los habitantes humildes de estas comunidades consumían de manera cotidiana en su alimentación el “tecuítate” o “tecuítlatl” (Ortega, 1972). Se puede reconocer que este trabajo es un antecedente claro del trabajo et-

noficológico en México, aunque no se refiera de manera explícita al concepto.

De acuerdo con Ortega (1972) y Godínez *et al.* (2001), las primeras menciones de este producto aparecen referidas durante el período histórico de la conquista de México-Tenochtitlan e inicios de la colonia de la Nueva España, en donde se manifiesta sobre el “tecuítlatl”:

1) Benavente (1541): *“Críense sobre el agua de la laguna de México como unos limos muy molidos, y en cierto tiempo del año en que están más cuajados, los toman los indios con unos redejoncillos de malla muy menuda, hasta que se hinchen los acales o barcos de ellos, y en la ribera hacen sobre la tierra o sobre la arena, unas eras muy llanas con su borde de dos o tres brazas en largo y poco menos de ancho, y ahí los ponen a secar, hasta que se hace una torta de dos dedos de grosor, y en pocos días se seca, hasta quedar de un grosor; es cortada aquella torta como ladrillos anchos, cómenlo mucho los indios y tiene a ser bueno en esa mercadería por todos los mercaderes de la tierra, como entre nosotros los que son de la salsa de los indios es bien sabroso, tiene un saborcillo a sal.”*

2) López de Gómara (1552): *“Con redes de malla muy menuda barren en cierto tiempo del año una cosa molida que se cría sobre el agua de las lagunas de México, y se*

cuaja, que ni es yerba, ni tierra, sino como cieno. Hay de ello mucho y cogen mucho; y en eras, como quién hace sal, lo vacían allí, se cuaja y seca. Hacénlo tortas como ladrillos, y no solo las venden en el mercado, más llevánlas también a otros fuera de la ciudad y lejos. Comen esto como nosotros el queso, y así tienen un saborcillo de sal, que con chilmolli es sabroso. Y dicen que a este cebo vienen tantas aves a la laguna, que muchas veces por invierno las cubren por algunas partes..."

3) Díaz del Castillo (1568): *"Pues pescaderas y otros que vendían unos panecillos que hacen que una como lama que cogen de aquella gran laguna, que se cuaja y hacen panes de ello que tiene un sabor a manera de queso..."*

4) Sahagún (1571): *"Hay unas urronas que se crían sobre el agua, que se llaman tecuítlatl, acuitlatl, acoquitl, amomoxtl, son de color azul claro, después de que está bien espeso y grueso, cogenlo, tiendolo en el suelo sobre ceniza y después hacen unas tortas de ello y tostadas y las comen."*

5) Pomar (1582): *"... No se crían peces ni aves y las que vienen de Florida durante el invierno toman un pescadillo que se mantiene casi todo el año y un género de comida llamado Tecuítlatl que hacen de unas lamas verdes que se cría [la laguna] lo cual hecho tortas y cocido, queda con un color verde oscuro, que llaman los españoles queso de tierra."*

6) Clavijero (1780-1781): "... Comían no solamente de las cosas vivientes, sino aun de cierta substancia limosa que sobrenadaba en el lago, la cual recogían , secaban un poco al sol y hacían de ella unas tortas que volvían a secar y guardaban para que les sirviese de queso, cuyo sabor remeda. Daban a esta substancia el nombre de tecuítlatl."

Si bien se reconoce la existencia del "tecuítlatl" en las menciones anteriores, dando cuenta sobre aspectos asociados a otras formas de nombrarle, cómo "cieno", "limo" o "urronas" del agua, se empiezan a describir otros aspectos relacionados a su ambiente, comercialización, consistencia, color, sabor y formas de preparación para la alimentación; son dos los documentos que conforman el acervo histórico que rescatan el conocimiento asociado al recurso, siendo la *Historia general de la cosas de Nueva España* mejor conocido por Códice Florentino, realizado por un grupo de sabios nahuas (tlamatinime), pintores o escribas (tlacuiloque) junto con Fray Bernardino de Sahagún, entre 1575 y 1577 en la ciudad de Tlatelolco. E *Historia de los Minerales de Nueva España*, de Francisco Hernández de Toledo (Ortega, 1972); siendo de este último, la mención más sucinta con la que se cuenta sobre el tecuítlatl:

"Brotan el TECUITLÁTL, que es muy parecido a limo, en algunos sitios del vaso del lago mexicano, y gana al punto la superficie de las aguas de donde se saca o barre con redes o se apila con palas. Una vez extraído y secado un poco al sol, le dan los indios forma de pequeñas tortas; se pone entonces otra vez al sol y sobre yerbas frescas hasta que se seca perfectamente, y se guarda luego como el queso por sólo un año. Se come cuando es necesario con maíz tostado o con las comunes tortillas de los indios. Cada veneno de este limo tiene su dueño particular, a quien rinde a veces una ganancia de mil escudos de oro anuales. Tiene sabor de queso, y así lo llaman los españoles, pero menos agradable y con cierto olor a cieno; cuando reciente es azul o verde; ya viejo es color de limo, verde tirando a negro, comestible sólo en muy pequeña cantidad, y esto en vez de sal o condimento del maíz. En cuanto a las tortillas que hacen de él, son alimento malo y rústico, de lo cual es buena prueba el hecho de que los españoles, que nada desaprovechan de lo que sirve al regalo del paladar, sobre todo en estas tierras, jamás han llegado a comerlas." (Hernández, 1949).

Una de las investigaciones más clásicas sobre las algas comestibles del Valle de México, que presenta una revisión histórica detallada sobre el "tecuítlal" y otras especies algales importantes en la alimentación de la

gente del Anáhuac, corresponde al primer trabajo etnofiológico para México, realizado por la Dra. Martha M. Ortega (1972), del Instituto de Biología de la UNAM; que además incluye la exploración en mercados de la Ciudad de México (Coyoacán, La Merced, Tláhuac, Xochimilco) y Estado de México (Cuautitlán, Xaltocan, Zumpango y Texcoco), donde se realizaron una serie de entrevistas semiestructuradas a los comerciantes e informando: "... acostumbraban vender tamales que llaman "cocol de agua" y que confeccionan con una nata de agua que nos pareció ser el tecuitate original." (Ortega, 1972); adicionalmente se realizaron visitas a los lagos de Texcoco y Zumpango, coleccionando en este último el alga *Nostoc commune*, que según un nativo indicó que se llamaba "gelatina de agua" o "amoxtle"; mientras que, en Texcoco, pudieron identificar a *Phormidium tenue* (ahora *Leptolyngbya tenuis*), y *Chroococcus turgidus* en mayor concentración, pero encontrando dentro de esta asociación otras cianobacterias como *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Anabaena* y *Spirulina* (*Arthrospira/Limnospira*) (Figura 2)

Es con la investigación de Ortega (1970) que se logra documentar el proceso de cosecha y procesamiento para preparar el "cocol", además de realizarse una descripción e identificación de su componente algal, llegando a la

identificación de dos especies, como dominante *P. tenue* (ahora *L. tenuis*), y subdominante, *C. turgidus*; además de identificar otro producto, la “gelatina de agua” amomoxtili/amoxtle (*Nostoc commune*). Lamentablemente, reconoció que estos productos estaban al borde de la desaparición, dado a problemas de contaminación y desecación de esos ecosistemas. No obstante, se destacó el valor y la relevancia de los recursos naturales provenientes de los antiguos lagos, resaltando el consumo de grandes cantidades de algas verde azules (Cyanobacteria) en la época prehispánica, y que ciertas prácticas se mantuvieron vigentes hasta la década de los 70’s.



Figura 2. Expedición en 1970 en zonas aledañas al lago de Texcoco. En donde la Dra. Martha. M. Ortega colecta “cocol de agua”.

Por lo que de acuerdo con el análisis realizado por Ortega (1972), se reconocen los siguientes elementos relevantes asociados al “tecuítlatl”:

a) Es una palabra de origen náhuatl, teniendo como significado “excremento de las piedras”.

b) En la revisión histórica relacionada con los conceptos asociados, se reconoce que los términos *acuítlatl* (“suciedad del agua”), *acóquitl* (“el que se levanta”) y *amomoxtli* (“planta abundante en el lago de México”) son sinónimos de tecuítlatl.

c) Los primeros nombres con que se reconocieron los productos algales obtenidos de los antiguos lagos pudieron ser “tecuítlatl”, “cuculin” y “amoxtle”, señalando que fue probable que el primer término, cayera en desuso con el tiempo, y que existiera una sustitución por “cocol de agua”, dado que se reconoce en este, un complejo de algas e invertebrados.

d) El cuculin y el tecuítlatl generalmente se recolectaban en las mismas localidades, por lo que es probable, que el argumento c, tenga mayor sentido (Figura 3).

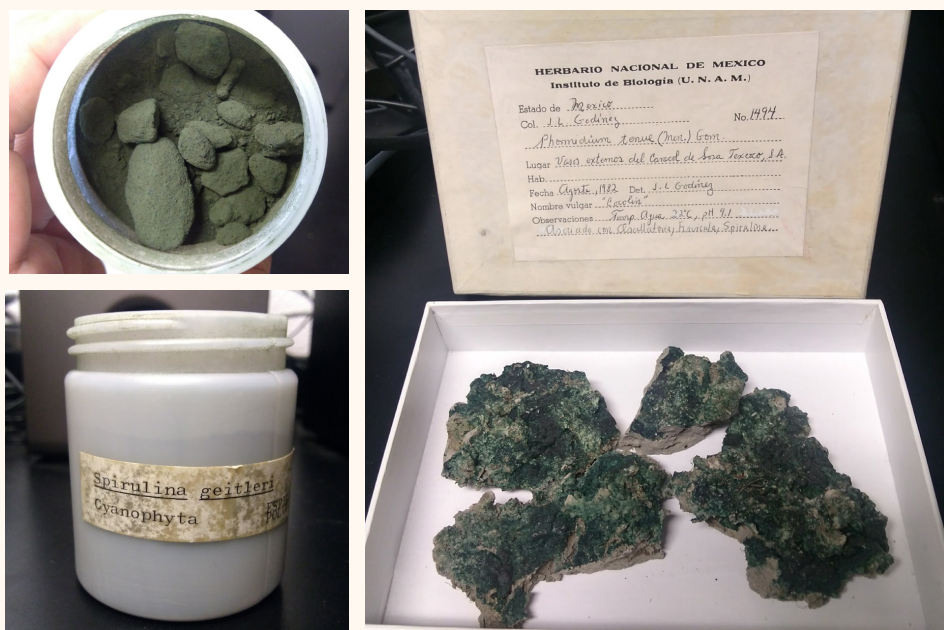


Figura 3. A la izquierda *Spirulina geitleri* (*Limnospira maxima*) producto obtenido en la década de 1980 por M. M. Ortega y J. L. Godínez en el depósito de evaporación solar “El Caracol” administrado por Sosa Texcoco S.A. A la derecha, *Phormidium tenue* (*Leptolyngbya tenuis*) muestra obtenida en 1982 por J. L. Godínez en los vasos externos del depósito de evaporación solar “El Caracol”. Depositada en la colección de Algas del Herbario Nacional de México (MEXU).

e) Las áreas que se reconocen como sitios con la presencia del recurso eran fundamentalmente los lagos de Tláhuac, Texcoco y Zumpango.

f) Dentro de la representación del mapa de Upsala, realizado en 1550 por Alonso de Santa Cruz, se representan diversas actividades humanas del Valle de

México como de sus lagos, siendo mostrada la recolección de “tecuítlatl”.

g) Se le reconoce un valor nutritivo, que alivio las necesidades alimenticias de los pobladores del Anáhuac en épocas de hambre, e incluso, ser un alimento comercializado de manera cotidiana.

h) Algunos términos más recientes -Virreinato español en México- con los que se hace alusión al recurso, se encuentran cieno, limo, urronas del agua, queso de tierra, viscosidad del agua o cosa comestible que se cría entre ciertas yerbas del agua.

Vale la pena mencionar que en el presente hay una amplia distribución y comercialización de “espirulina” en México, en productos de distinta presentación (cápsulas, tabletas, snacks o polvo) por distintas compañías (Arenas, 2009; Molares *et al.*, 2012; Arenas *et al.*, 2013).

Actualmente en Santa Isabel Ixtapan en el municipio de Atenco, Estado de México, un grupo de productores mantienen vigentes los saberes y prácticas asociadas al cultivo y cosecha de “espirulina”, sobre la dinámica de los sistemas socioecológicos, siendo los “Guardianes contemporáneos del modo de vida lacustre del lago de

Texcoco”, para los que el alga tiene un valor nutricional y de salud, que proviene del conocimiento y sabiduría de nuestros abuelos, herederos de saberes prehispánicos (Figura 4).



Figura 4. A la izquierda, productores de Santa Isabel Ixtapan, Estado de México, conversando sobre el significado del lago de Texcoco y la relevancia del cultivo de “espirulina” para la zona. A la derecha, estanque a cielo abierto donde cultivan el alga.

Sobre los usos potenciales

Los usos más reconocidos y extendidos sobre el uso de la “espirulina” corresponden al rubro alimenticio, obteniéndose productos de uso directo como suplemento proteico y vitamínico de origen vegetal, y complemento alimenticio en la alimentación de peces, camarones, aves de corral. Reconociéndosele como una fuente nutricional de alta calidad, que favorece la salud humana y animal. Incluso desde 1967, fue establecida como una “fuente maravillosa de alimento futuro” en la Asociación Internacional de Microbiología Aplicada; teniendo desde la década de 1980, una importante expansión en su comercialización en países como Estados Unidos, India, China y Japón (Habib *et al.*, 2008; Arenas, 2009; Ohmori y Ehira, 2014). En el caso de México, incluso fue comercializada de manera extensiva entre las décadas del 70’s hasta los 90’s, a través de la empresa Sosa Texcoco, S. A., que tenía los permisos para la explotación de salmueras del subsuelo del antiguo vaso del lago de Texcoco (Godínez *et al.*, 2001).

Para 2019, se estimó la tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del mercado de la “espirulina”, calculándose que para el 2025, alcanzará el 9.4 %, con un valor de mercado de 0.63 mil millones de dólares estadouni-

denses, siendo una de las microalgas más reconocidas a nivel mundial, dado que en la producción mundial total de biomasa microalgal, constituye el 30 % (Kaur *et al.* 2023).

Se ha estimado en la composición de polvos de “espirulina” comercial entre 55 - 71% de proteínas, 13 - 20% de carbohidratos, 5 - 7 % de lípidos, 7% de minerales y entre el 3 al 6% de humedad (Salcedo-Olavarrieta *et al.*, 1978a; Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014; Kaur *et al.*, 2023), por lo que es reconocida como un extraordinario recurso vegetal, teniendo un valor adicional, asociado con su digestibilidad, dado que esta es fácilmente absorbida, debido a la ausencia de celulosa en sus paredes celulares, estimándose que pasadas 18 horas, más del 85 por ciento de su proteína se digiere y asimila (Habib *et al.*, 2008).

Con respecto a sus ácidos grasos esenciales, tiene altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), entre los que destacan el ácido gamma-linolénico (AGPI), ácido alfa-linolénico (ALA), ácido linoleico (LA), ácido estearidónico (SDA), ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido araquidónico (AA). También tiene una diversidad de vitaminas, como las B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (nicotinamida), B6 (piridoxina), B9 (ácido fólico), B12 (cianocobalamina), vitamina C, vitamina D y vitamina E. Mientras que

el aporte mineralógico corresponde a K, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Se, Na y Zn. Vale la pena destacar la diversidad de pigmentos fotosintéticos que posee: clorofila a, xantófilas, betacarotenos, equinona, mixoxantofila, zeaxantina, cantaxantina, diatoxantina, 3-hidroxi equinona, beta-criptoxantina, oscilaxantina y ficobiliproteínas (c-ficocianina y aloficocianina) (Salcedo-Olavarrieta *et al.*, 1978b; Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014; Wan *et al.*, 2016).

Y es por el conjunto de todas estos componentes, que la “espirulina” es considerada como el “alimento del futuro” debido a su extraordinaria capacidad de sintetizar nutrientes de alta calidad, que le confieren un reconocimiento por su valor nutricional, pero también un potencial por las diversas propiedades farmacológicas sobre la salud humana (Salcedo-Olavarrieta *et al.*, 1978a; Arenas, 2009; Ohmori y Ehira, 2014; Kaur *et al.*, 2023).

Bioactividad y usos terapéuticos

El objetivo de este apartado es presentar un breve panorama referente a las principales líneas de investigación orientadas a identificar los principales compuestos bioactivos de la “espirulina”, así como su posible aplica-

ción en el campo de la salud humana. Es necesario tener en cuenta:

1. Si bien muchas de las investigaciones son prometedoras, la mayoría de estas se han realizado en modelos animales, tejidos, órganos o líneas celulares, siendo mínimos los estudios clínicos en poblaciones humanas, por lo que los resultados deben tomarse con cautela, dado que aún existen bastantes interrogantes, relacionadas, por ejemplo, con los mecanismos de acción o su inocuidad,

2. Esta información es complementaria de la primera donde se mencionan los usos tradicionales, visibilizando los avances científicos, por lo que tiene un carácter informativo. Los saberes, conocimientos y prácticas realizadas por las personas, culturas o pueblos son un corpus de experiencias, interacciones y conocimientos que tienen lugar entre las poblaciones locales con sus recursos naturales, sumado a procesos cognitivos y perceptivos en un contexto histórico-social determinado. Esto lo convierte en un fenómeno social altamente complejo, que no requiere ninguna validación científica, tal como sostiene la etnobiología.

En la literatura científica existen una amplia diversidad de estudios que han evaluado el potencial de extractos y componentes de “espirulina”, frente a ciertas enfermedades humanas, como alergias, anemia, trastornos inflamatorios y estrés oxidativo (antioxidantes), depuración de intoxicaciones por metales pesados, cáncer, infecciones microbianas y virales, así como agente de prevención y/o tratamiento para hipercolesterolemia, hipertriglicerolemia y estimulador del sistema inmunológico (Habib *et al.*, 2008; Ohmori y Ehira, 2014; Kumar *et al.*, 2015; Wan *et al.*, 2016; Kaur *et al.*, 2023) (Cuadro 1).

Entre los distintos componentes reconocidos de “espirulina” asociados como agentes principales de la actividad biológica, destacan la c-ficocianina, zeaxantina, polisacáridos sulfatados (Calcium spirulan Ca-SP), ácido gamma linolénico (GLA), sulfolípidos y proteína similar a la insulina (McCarty, 2007; Ohmori y Ehira, 2014; Wan *et al.*, 2016).

En el caso de las ficobiliproteínas (ficocianina, aloficocianina y ficoeritrina) se reconocen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias considerables, siendo la c-ficocianina uno de los componentes más estudiados en “espirulina”, dado que se ha registrado efectos neuroprotectores, hepatoprotectores y actividad antiinflamatoria (Raja *et al.*, 2014); actividad hipolipidémica (Ohmori y

Ehira, 2014). Además, ha sido utilizada en el tratamiento de enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson, como en la prevención de cánceres bucales y de piel, así como agente protector frente a padecimientos asociados a la edad (cataratas, degeneración macular y esclerosis múltiple) (Raja *et al.*, 2014).

La “espirulina” suplementada ha sido documentada como un excelente agente terapéutico inmunomodulador, en sentido positivo, estimulando la actividad del sistema inmunológico (Selmi *et al.*, 2011; Finamore *et al.*, 2017), aunado a emplearse en disminuir trastornos motores del Parkinson (Garrido-Acosta *et al.*, 2017) o reacciones adversas de la terapia antituberculosa (Pandey *et al.*, 2022).

Como agente antiviral se ha registrado efectividad frente a los virus *Herpes simplex* tipo 1, *Herpes virus* humano tipo 5 (citomegalovirus humano HCMV), *Morbillivirus* sp. (sarampión), *Rubivirus* (paperas), Virus de la influenza A y el VIH-1 (Wan *et al.*, 2016).

Las actividades biológicas referidas están íntimamente relacionadas con las condiciones de crecimiento y/o cultivo del alga (pH, temperatura, salinidad, nutrientes, luz), el proceso de extracción, cosecha y procesamiento a los que es sometida.

Cuadro 1

Principios bioactivos documentados en la literatura referente a "espirulina"

MODELO EXPERIMENTAL	COMPONENTE	REFERENCIAS
Anticancerígenos		
Línea celular de cáncer de hígado HepG2 y células normales de fibroblastos humanos	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina platensis</i>)	Akbarizare et al. (2020)
Roedores portadores de carcinoma de ascitis de Ehrlich (EAC)	<i>Arthrospira platensis</i>	Hashem et al. (2020)
Línea celular de adenocarcinoma de pulmón de origen humano	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>S. platensis</i>)	Tajvidi et al. (2021)
Antimicrobianos		
Cepas bacterianas patógenas y fúngicas	<i>Arthrospira platensis</i>	Abdel-Moneim et al. (2022)
Cepas bacterianas patógenas y fúngicas (fitopatógenas)	<i>Arthrospira platensis</i>	Bencheikh et al. (2022)
Cepas bacterianas patógenas y fúngicas	<i>Arthrospira platensis</i>	Nabti et al. (2023)
Antiinflamatorios		
Roedores	c-ficocianina obtenida de <i>Limnospira maxima</i> (<i>S. maxima</i>)	Romay et al. (1998)
Roedores	c-ficocianina ingesta total de <i>L. maxima</i> (<i>S. maxima</i>)	McCarty (2007)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>S. platensis</i>)	Pham et al. (2017)

continuación Cuadro 1

MODELO EXPERIMENTAL	COMPONENTE	REFERENCIAS
Antimutagénicos		
Roedores expuestos a Cd	c-ficocianina obtenida de <i>A. platensis</i> (<i>S. platensis</i>)	Aly <i>et al.</i> (2018)
Mutagénicos indirectos Trp-P-1, Trp-P-2, MeIQx y PhIP	c-ficocianina obtenida de <i>A. platensis</i> y <i>L. maxima</i> (<i>A. maxima</i>)	Saengprakai <i>et al.</i> (2018)
Previene acumulación del cadmio y su toxicidad	<i>Arthrospira</i> sp. (" <i>Spirulina</i> ")	Pandey <i>et al.</i> (2022)
Antioxidantes		
Roedores	c-ficocianina obtenida de <i>Limnospira maxima</i> (<i>S. maxima</i>)	Romay <i>et al.</i> (1998)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i>	Mohan <i>et al.</i> (2006)
Roedores	c-ficocianina ingesta total de <i>Arthrospira</i> sp.	McCarty (2007)
Roedores	c-ficocianina obtenida de <i>Limnospira maxima</i> (<i>S. maxima</i>)	Romay <i>et al.</i> (2001)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i>	Finamore <i>et al.</i> (2017)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>S. platensis</i>)	Guldas <i>et al.</i> (2021)
	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>S. platensis</i>)	Tajvidi <i>et al.</i> (2021)
Anemia		
Ensayo clínico con seres humanos mayores a 50 años con diagnóstico de anemia durante el último año	Suplemento de " <i>Spirulina</i> "	Selmi <i>et al.</i> (2011)

continuación Cuadro 1

MODELO EXPERIMENTAL	COMPONENTE	REFERENCIAS
Ensayo clínico con mujeres embarazadas	Tabletas de " <i>Spirulina</i> "	Niang <i>et al.</i> (2017)
Ensayo clínico con seres humanos con colitis ulcerosa	Cápsulas de " <i>Spirulina</i> " <i>Arthrospira platensis</i>	Moradi <i>et al.</i> (2023)
Diabetes		
Roedores (línea celular de músculo esquelético)	<i>Arthrospira platensis</i>	Okechukwu <i>et al.</i> (2019)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina platensis</i>)	Guldás <i>et al.</i> (2021)
Roedores	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina platensis</i>)	Ahda <i>et al.</i> (2023)

Consideraciones finales

La "espirulina" es uno de los principales suplementos de algas comercializados, dado el aporte nutricional y los beneficios que ofrece a la salud, y es una de las algas más conocidas que se comercializa a nivel mundial. Por estas razones ha promovido el cultivo y escalamiento masivo, ofreciendo una diversidad de productos desde la biomasa deshidratada en polvo, cápsulas, comprimidos, extractos líquidos o como un aditivo de alimentos: snacks nutritivos, mazapanes y pastas. Es por ello que se vuelve

indispensable contar con una regulación que permita reconocer la procedencia del producto, pureza y calidad, aunado a análisis de inocuidad, permitiendo evaluar el riesgo-beneficio de su consumo (Arenas y Cortella, 1996a; 1996b; Arenas, 2003; Arenas *et al.*, 2013).

Existen evidencias obtenidas mediante análisis clínicos (hematológicos, uroanálisis, evaluación histológica) que han reconocido que la suplementación de la dieta humana con “espirulina” no produce efectos adversos, ni secundarios; incluso se ha reportado que no genera efectos embriotóxicos (Arenas, 2009; Ohmori y Ehira, 2014).

No obstante, se han registrado bajas concentraciones de algunos metales pesados (Pb y Hg) en “espirulina” cultivada en ambientes abiertos, señalándose que, en cultivos con condiciones controladas, los productos comercializados obtenidos presentan niveles mucho más bajos de ambos metales, y que de acuerdo con la normatividad establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), no generan ningún problema en la salud (Ohmori y Ehira, 2014). En el caso de *Limnospira maxima* obtenida en el antiguo lago de Texcoco, Salcedo-Olavarrieta y colaboradores (1978a) reportaron muy buenas cualidades nutricionales, con contenido de metales pesados casi nulos, señalando

que no es tóxica.

Existe también evidencia de presencia de cianotoxinas presentes en suplementos de “espirulina” comercializados en Grecia, en los que se hallaron microcistinas y cilindrospermopsinas. que de acuerdo con Papadimitriou *et al.* (2021) reportan que la ingesta diaria tolerable establecida para adultos no sobrepasaba los límites recomendados, por lo que no existe riesgo para este grupo de edad. Sin embargo, en el caso de los infantes, sí existe riesgo si el consumo es diario. En este sentido, la presencia de toxinas puede ser explicado por la contaminación de los cultivos, con la presencia de otras cianobacterias, en este estudio en particular, en la identificación se encontraron más de 10 especies distintas, entre las que destacan *Anabaenopsis cf. abijatae*, *Chamaesiphon subglobosus*, *Microcystis wesenbergii* y *Nostoc commune*.

Ambas situaciones referidas, más que preocupar, deben ser áreas de oportunidad para monitorear las condiciones de cultivo y escalamiento de “espirulina”, dado que esto ilustra algunos de los factores que intervienen en una cosecha óptima para la alimentación, y refuerza el argumento de la necesidad de establecer regulaciones y requisitos de seguridad, que permitan el uso de pruebas microbiológicas, moleculares y toxicológicas

para tener calidad en la biomasa de los productos elaborados con “espirulina”. No obstante, existen regiones del mundo en las que hay una estricta regulación como lo es el caso de Estados Unidos, donde productos elaborados con “espirulina” son reconocidos como seguros (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA); por su parte la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda incluir a la “espirulina” en la dieta de los astronautas, dada su excelente calidad y su tamaño compacto (Kaur *et al.*, 2023). Por lo que su consumo puede ser considerado como seguro, dada su larga trayectoria en la alimentación humana, así como su perfil de seguridad favorable, por la diversidad de investigaciones en que se ha utilizado (modelos animales, líneas celulares humanas, pruebas con humanos).

Finalmente, se destaca el trabajo que realizan las y los productores, colectivos, asociaciones civiles, y personas interesadas en la “espirulina”, que, de forma consciente o inconsciente, permiten que las prácticas y saberes asociados al cultivo y cosecha del sagrado “tecuítlatl” se conserven vivas.

Agradecimientos

Al Dr. Carlos A. Durán del laboratorio de Protozoología de la Facultad de Ciencias, UNAM, por el apoyo técnico para la obtención de material microfotográfico de “espirulina”. A la Dra. Patricia Arenas, del Laboratorio de Etnobotánica y Botánica Aplicada (LEBA), Universidad de La Plata, Argentina, por su extraordinaria guía y valiosos comentarios al escrito. A Edgaru C. *ob societatem et amicitiam*. Y a la memoria de la primera etnoficóloga mexicana, Dra. Martha María Ortega González, por su increíble amor y pasión por sus “tan queridas algas”.



Figura 5. *In memoriam* a la Dra. M. M. Ortega

Referencias

Abdel-Moneim, E., M. T. El-Saadony, A. M. Shehata, A. M. Saad, S. A. Aldhumri, S. M. Ouda y N. M. Mesalam. (2022). Antioxidant and antimicrobial activities of *Spirulina platensis* extracts and biogenic selenium nanoparticles against selected pathogenic bacteria and fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences* 29(2): 1197-1209. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X21008470?via%3Dihub>

Abdulqader, G, L. Barsanti y M. R. Tredici. (2000). Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *Journal of Applied Phycology* 12: 493-498.

Ahda, M., I. Suhendra y A. Permadi. (2023). *Spirulina platensis* microalgae as high protein-based products for diabetes treatment. *Food Reviews International*.

Akbarizare, M., H. Ofoghi, M. Hadizadeh y N. Moazami. (2020). *In vitro* assessment of the cytotoxic effects of secondary metabolites from *Spirulina platensis* on hepatocellular carcinoma. *Egyptian Liver Journal* 10(11): 01-08. <https://eglj.springeropen.com/articles/10.1186/s43066-020-0018-3>

Aly, F. M., A. M. Kotb y S. Hammad. (2018). Effects of *Spirulina platensis* on DNA damage and chromosomal aberration against cadmium chloride-induced genotoxicity in rats. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 10829-10836.

Arenas, P.M. (2003). Microalgas (Cyanophyta y Chlorophyta) presentes en suplementos dietéticos utilizados para adelgazar. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 38(1-2): 113-121.

Arenas, P.M. [Ed.]. (2009). *Etnoficología aplicada: estudio de casos con relación a la salud y la alimentación en ambientes rurales y urbanos*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Red Iberoamericana de Saberes y Prácticas Locales sobre el Entorno Vegetal (RISAPRET). Argentina. ISBN. 978-84-96023-76-5.

Arenas, P.M. (2016). Ethnophycology. En: Albuquerque U. P. y R. R. Nóbrega Alves (eds). *Introduction to Ethnobiology*. Springer, Alemania. ISBN: 978-3-319-28155-1.

Arenas, P. M. y A. R. Cortella. (1996a). Análisis microscópico de muestras comerciales de *Spirulina*. *Acta Farmacéutica Bonaerense* **15**(1): 11-19.

Arenas, P. M. y A. R. Cortella. (1996b). Suplementos dietéticos en base a microalgas: *Spirulina* (Cyanophyta). *Alimentación Latinoamericana* **213**: 39-44.

Arenas, P. M., S. Molares, A. Aguilar Contreras, B. Doumecq y F. Gabrielli. (2013). Ethnobotanical, micrographic and pharmacological features of plant-based weight-loss products sold in naturist stores in Mexico City: the need for better quality control. *Acta Botanica Brasilica* **27**(3): 560-579.

Arenas, P. M., B. Doumecq, J. P. Puentes y J. A. Hurrell. (2015). Algas y plantas comercializadas como adelgazantes en el Área Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. *Gaia Scientia* **9**(3): 32-40.

Bencheikh, A., W. Mamache, A. Gharzouli, A. Kouachi, H. Khadidja, D. M. Barkahoum y R. Nouredin. (2022). Evaluation of The *Spirulina* (*Arthrospira platensis* Gomont) Antimicrobial Activity. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* **10**(10): 2051-2055.

Finamore, A., M. Palmery, S. Bensehaila y I. Peluso. (2017). Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly *Spirulina*. *Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity*: 01-14. <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2017/3247528/>

Garrido-Acosta, O., I. D. Limón, E. García, L. Anguiano-Robledo, C. Barrientos-Alvarado y G. Chamorro-Cevallos. (2017). Efecto Protector de *Spirulina maxima* en un modelo experimental de enfermedad de Parkinson inducido con MPP+. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* **48**(1): 56-64. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57956614006.pdf>

Godínez, J. L., M. M. Ortega, G. Garduño, M. G. Oliva y G. Vilaclara. (2001). Traditional knowledge of Mexican continental algae. *Journal of Ethnobiology* **21**(1): 57-88.

Grewe, C. B. y O. Pulz. (2012). The Biotechnology of Cyanobacteria. En: Whitton B. A. (ed.). *The Ecology of Cyanobacteria II. Their Diversity in Space and Time*. Springer Dordrecht. Alemania. ISBN: 978-94-007-3855-3

Guiry, M. D. y G. M. Guiry [en línea]. (2024). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Irlanda. <https://www.algaebase.org> (Consultada el 17 de enero de 2024).

Guldas, M., S. Ziyank-Demirtas, Y. Sahan, E. Yildiz y O. Gurbuz. (2021). Antioxidant and anti-diabetic properties of *Spirulina platensis* produced in Turkey. *Food Science and Technology, Campinas* **41**(3): 615-625.

Habib, M. B., M. Parvin, T. C. Huntington y M. R. Hasan. (2008). *A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish*, FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034. Food and Agriculture Organization. ISBN 978-92-5-106106-0.

Hashem, M. A., S. B. A. Shoeebb, Y. M. Abd-Elhakimc y W. A. M. Mohamed. (2020). The antitumor activity of *Arthrospira platensis* and/or cisplatin in a murine model of Ehrlich ascites carcinoma with hematinic and hepato-renal protective action. *Journal of Functional Foods* **66**: 103831.

Hernández, F. [en línea]. (1949). Tomo III, Historia Natural de la Nueva España 2, Obras completas de Francisco Hernández. Universidad Nacional Autónoma de México. México. http://www.franciscohernandez.unam.mx/03_indice_tomo03.html (Consultado el 01 de noviembre de 2023).

Hindák, F. (2008). *Colour atlas of Cyanophytes*. VEDA, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences. Eslovaquia. ISBN: 978-80-224-1044-1.

Hurrell, J.A., P. M. Arenas y M. L. Pochettino. (2013). *Plantas de dietéticas. Plantas comercializadas en las dietéticas de la Conurbación Buenos Aires-La Plata (Argentina)*. Ed. LOLA. Argentina. ISBN 978-987-26635-2-0.

Kaur, M, S. Bhatia, U. Gupta, E. Decker, Y. Tak, M. Bali, V. Kumar, R. Ahmad y S. Bala. (2023). Microalgal bioactive metabolites as promising implements in nutraceuticals and pharmaceuticals: inspiring therapy for health benefits. *Phytochemistry Reviews* **22**: 903-933.

Komárek, J. y J. Komárková-Legnerová. (2002). Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central Mexico. *Preslia*. **74**: 207-233.

Komárek, J. y K. Anagnostidis. (2007). *Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota. 19/2. Teil: Oscillatoriales*. Elsevier Spektrum Akademischer Verlag. Alemania. ISBN: 978-3-8274-1914-9

Kumar, P., N. Desai y M. Dwivedi. (2015). Multiple Potential Roles of *Spirulina* in Human Health: A Critical Review. *Malaysian Journal of Nutrition* **21**(3): 375 -387.

Lobato, C., P. M. Arenas y L. E. Mateo-Cid. (2018). Etnoficología Mexicana: perspectivas y desafíos. *Ethnoscintia* 3(3): 1-16.

McCarty, M. F. (2007). Clinical potential of *Spirulina* as a source of phycocyanobilin. *Journal of Medicinal Food* 10(4): 566-570.

Mohan, I. K., M. Khan, J. C. Shobha, R. N. Umamaheswara, A. Prayag, P. Kuppusamy y V. Kumar. (2006). Protection against cisplatin-induced nephrotoxicity by *Spirulina* in rats. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology* 58: 802-808.

Molares, S., P. M. Arenas y A. Aguilar. (2012). Etnobotánica urbana de los productos vegetales adelgazantes comercializados en México, DF. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 11(5): 400-412.

Moradi, S., S. Foshati, F. Poorbaferani, S. Talebi, R. Bagheri, P. Amirian, F. Parvizi, M. Nordvall, A. Wong y M Zobeiri. (2023) The effects of *spirulina* supplementation on serum iron and ferritin, anemia parameters, and fecal occult blood in adults with ulcerative colitis: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN* 57: 755-763.

Nabti, B., N. Bammoune, H. Meliani y B. Stambouli. (2023). Antioxidant and antimicrobial activities of *Spirulina* from the region of Tamanrasset, Algeria. *Journal of Herbal Medicine* 41: 100748.

Niang, K., P. Ndiaye, A. Faye, J. A. D. Tine, F. B. Diongue, D. M. Camara, M. M. Leye y A. Tal-Dia. (2017). *Spirulina* Supplementation in Pregnant Women in the Dakar Region (Senegal). *Open Journal of Obstetrics and Gynecology* 7: 147-154.

Novelo, E. y R. Tavera [en línea]. (2024). *bdLACET Base de datos de algas continentales*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. <https://bdlacet.mx>. (Consultada el 22 de enero de 2024).

Nowicka-Krawczyk, P., R. Mühlsteinová y T. Hauer. (2019). Detailed characterization of the *Arthrospira* type species separating commercially grown taxa into the new genus *Limnospira* (Cyanobacteria). *Scientific reports* 9: 694. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36831-0>

Ohmori, M. y S. Ehira. (2014). *Spirulina*: an example of cyanobacteria as nutraceuticals. En: Sharma, N. K., A. K. Rai y L. J. Stal (eds). *Cyanobacte-*

ria: *An Economic Perspective*, Wiley-Blackwell. Estados Unidos. ISBN: 978-1-119-94127-9.

Okechukwu, P. N., S. O. Ekeuku, M. Sharma, C. P. Nee, H. K. Chan, N. Mohamed y G. R. Anisah-Froemming. (2019). In vivo and in vitro antidiabetic and antioxidant activity of *Spirulina*. *Pharmacognosy Magazine* 15 S1:17-29.

Ortega, M. M. (1972). Estudio de las algas comestibles del Valle de México I. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 14: 85-97.

Ortega, M. M. (1984). *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 968-837-271-4.

Ortega, M. M., J. L. Godínez, G. Garduño y M. G. Oliva. (1994). Los usos de las algas continentales. En: Ortega, M. M. (Ed.). *Ficología de México, Algas continentales*. AGT México. México. ISBN: 968-463-073-5.

Papadimitriou, T., K. Kormas y E. Vardaka. (2021). Cyanotoxin contamination in commercial *Spirulina* food supplements. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 16(3): 227-235.

Pandey, P., R. Awasthi, N. Dhiman, B. Sharma y G. T. Kulkarni. (2022). Ethnopharmacological reports on herbs used in the management of tuberculosis. En: Sarwat, M. y H. Siddique (Eds.). *Herbal Medicines*, Academic Press. Estados Unidos. ISBN: 978-0-3239-0572-5.

Pereira, L. (2016). *Edible seaweeds of the world*. Taylor & Francis y CRC. Estados Unidos. ISBN: 978-1-4987-3047-1.

Pham, T. X., Y. K. Park, M. Bae y J. Y. Lee. (2017). The Potential Role of an Endotoxin Tolerance-Like Mechanism for the Anti-inflammatory Effect of *Spirulina platensis* Organic Extract in Macrophages. *Journal of Medicinal Food* 20(3): 201-210.

Priyanka, S., R. Varsha, R. Verma y A. Surendra. (2023). *Spirulina*: A spotlight on its nutraceutical properties and food processing applications. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 12(6): e4785.

Raja, R., S. Hemaiswarya, I. S. Carvalho y V. Ganesan. (2014). Therapeutic applications of cyanobacteria with emphasis on their economics. En: Sharma, N. K., A. K. Rai y L. J. Stal (Eds.). *Cyanobacteria: An Economic Perspective*. Wiley-Blackwell. Estado Unidos. ISBN: 978-1-119-94127-9.

Reynolds, C. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. Estados Unidos. ISBN: 978-0-521-84413-0.

Romay, C., J. Armesto, D. Ramirez, R. González, N. Ledon y I. García. (1998). Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoyanin from blue-green algae. *Inflammation Research* **47**: 36-41.

Romay, C., R. Delgado, D. Ramirez, R. Gonzalez y A. Rojas. (2001). Effects of phycoyanin extract on tumor necrosis factor-alpha and nitrite levels in serum of mice treated with endotoxin. *Arzneimittelforschung* **51**: 733-736.

Salcedo-Olavarrieta, N., M. M. Ortega, M. E. Marín-García y C. Zava-la-Moreno. (1978a). Estudio de las algas comestibles del Valle de México II: Análisis químico comparativo. *Revista Latinoamericana de Microbiología* **20**: 211-214.

Salcedo-Olavarrieta, N., M. M. Ortega, M. E. Marín-García y C. Zava-la-Moreno. (1978b). Estudio de las algas comestibles del Valle de México III: Análisis comparativo de aminoácidos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* **20**: 215-217.

Saengprakai, J., W. Pan-utai y S. Iamtham. (2018). Mutagenicity and Antimutagenicity of Polysaccharide and Phycoyaninextracts of *Arthrospira platensis* (IFRPD 1182) and *Arthrospira maxima* (IFRPD 1183). *The Agricultural Science Society of Thailand* **51**(4): 208-221.

Schopf, J. W. (2012). The Fossil Record of Cyanobacteria. En: Whitton, B. A. (Ed.). *The Ecology of Cyanobacteria II. Their Diversity in Space and Time*. Springer Dordrecht. Alemania. ISBN: 978-94-007-3855-3.

Selmi, C., P. S. C. Leung, L. Fischer, B. German, C. Y. Yang, T. P. Kenny, G. R. Cysewski y M. E. Gershwin. (2011). The effects of *Spirulina* on anemia and immune function in senior citizens. *Cellular & Molecular Immunology* **8**: 248-254.

Suárez, M. E. y P. M. Arenas. (2022). Ethnophycology and ethnomycology: two fields of study with great potential. En: Pochettino, M. L., A. Capparelli, P. C. Stampellaand y D. Andreoni (Eds.). *Nature/s in construction: ethnobiology in the confluence of actors, territories and disciplines*. Ed. Springer. En Prensa.

Tajvidi, E., N. Nahavandizadeh, M. Pournaderi, A. Zargar, F. Bossagh-zadeh y Z. Khoshnood. (2021). Study the antioxidant effects of blue-green

algae *Spirulina* extract on ROS and MDA production in human lung cancer cells. *Biochemistry and Biophysics Reports* **28**: 101139. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405580821002338?via%3DIhub>

Tomaselli, L. (2002). Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira (Spirulina) maxima* and *Arthrospira (Spirulina) platensis*. **En:** Vonshak, A. (Ed.). *Spirulina platensis (Arthrospira) Physiology, cell-biology and biotechnology*. Taylor & Francis Ltd. Reino Unido. ISBN: 0-203-48396-0.

Wan, D., Q. Wu y K. Kuča. (2016). *Spirulina*. **En:** Gupta, R. C. (Ed.). *Nutraceuticals*, Academic Press. Estados Unidos. ISBN: 9780128021477.

Whitton, B. A. y M. Potts. (2012). Introduction to the Cyanobacteria. **En:** Whitton, B. A. (Ed.). *The Ecology of Cyanobacteria II. Their Diversity in Space and Time*. Springer Dordrecht. Alemania. ISBN: 978-94-007-3855-3.



Espirulina PELT

Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco

© Mizrain Sánchez, julio 2022



Espirulina en hojuelas

Col. Nueva Santa Rosa, Atenco

© Mizrain Sánchez, agosto 2023

Capítulo 4

PRESENCIA DE CILIADOS (Alveolata: Ciliophora) ASOCIADOS AL CULTIVO DE ESPIRULINA (*Limnospira maxima*) EN DOS AMBIENTES DEL SISTEMA LACUSTRE DEL LAGO DE TEXCOCO

Carlos Alberto Durán Ramírez^{1,2}

y Rosaura Mayén-Estrada¹

Resumen: Los ciliados son protistas heterótrofos que se caracterizan por la presencia de cilios y dualismo nuclear. Son unicelulares, aunque también hay formas coloniales; su dieta se basa principalmente en el consumo de bacterias, aunque algunas especies se alimentan de microalgas. Habitan en ambientes terrestres y

acuáticos marinos, salobres y epicontinentales. En México, en el Sistema Lacustre del lago de Texcoco (SLLT), el conocimiento de las especies y ecología de las comunidades de ciliados que habitan en él es prácticamente inexistente. El objetivo del presente trabajo fue documentar la presencia de ciliados en una de las zonas de cosecha y en un cultivo experimental de espi-rulina (*Limnospira maxima*) durante agosto de 2023 en el SLLT. La recolecta de las muestras de agua se llevó a cabo en el humedal de la Cié-nega de San Juan y en un cultivo experimental de *L. maxima* en el poblado de Santa Isabel Ix-tapa, Municipio de Atenco, Estado de México. Las muestras de agua se mantuvieron frescas en recipientes de plástico de 1 L de capacidad bajo condiciones de laboratorio. Se realizó la observación en vivo empleando microscopía de contraste diferencial de interferencia y téc-nicas de impregnación argéntica. Se identifica-ron seis morfoespecies de ciliados, cinco de las cuales se clasifican dentro de la clase Oligohy-menophorea y una en la clase Litostomatea. De ellas, *Frontonia* sp. se observó como el úni-

co ciliado algívoro que consume a la espirulina como fuente de alimento, mientras que los dos vorticélidos se observaron adheridos a los filamentos de *L. maxima*. Se concluye que los ciliados son un elemento biótico presente en los cultivos experimentales y en el humedal de la Ciénega de San Juan donde habita *L. maxima* y algunos de ellos consumen los filamentos de esta microalga como parte de su dieta, pero hasta el momento no se cuenta con evidencias que sustenten si existe algún efecto de los ciliados sobre la productividad de la microalga *L. maxima* en el SLLT.

Palabras clave: algívoro, eucarionte, epicontinental, protistas, salobre.

Abstract: *Ciliates are heterotrophic protists characterized by the presence of cilia and nuclear dualism. They are mostly unicellular, but also there are some colonial forms; they feed especially on bacteria, and some genera are adapted to ingest microalgae. Ciliates inhabit in terrestrial and aquatic environments, like marine, brackish lagoons and epicontinental lakes. In relation to the former*

Lake Texcoco in Mexico, the taxonomic and ecological information about their ciliate communities are almost unknown. The objective of this chapter was to record the presence of ciliates in zones where the microalgae spirulina (Limnospira maxima) is harvested and cultured experimentally by local people during August of 2023 in Lake Texcoco. Samples of water with L. maxima were collected in Lake Texcoco, specifically from a wetland named Ciénega de San Juan and from an experimental culture located in Santa Isabel Ixtapa, Municipality of Atenco, Estado de México. Water samples were maintained in plastic flasks with a capacity of 1 L, under laboratory conditions. In vivo observation was carried out by using differential interference contrast microscopy and silver impregnation techniques. Six morphospecies of ciliates were recorded, where five belonged to the class Oligohymenophorea and one is classified into the Class Litostomatea. Frontonia sp. was observed as the only algivorous ciliate, which consumes spirulina as food resource, and two vorticellids were observed attached to the filaments of L. maxima as substrate. We conclude that ciliates are a biotic

element that is present in the culture and the wetland Ciénega de San Juan as well, where L. maxima is grown, and some species consume filaments of this microalgae as part of their diet; however, we do not have enough evidence that support if the presence of ciliates have consequences on the productivity of L. maxima in the Lake Texcoco.

Key words: *algivorous, eukaryotic, epicontinental, protists, brackish*

¹ Laboratorio de Protozoología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito ext. s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, Ciudad de México, México

² Autor de correspondencia: carlosduran_88@ciencias.unam.mx

Introducción

Los ciliados son un grupo de protistas heterótrofos clasificados dentro del clado Alveolata y el Phylum Ciliophora. Se caracterizan por ser unicelulares, aunque también hay especies que son coloniales, cuyas unidades se denominan trofontes o zooides. Presentan cilios por lo menos en alguna etapa de su ciclo de vida, cuya función es la locomoción y la alimentación (Lynn, 2008; 2017; Mayén-Estrada, *et al.* 2014). Poseen uno o varios macronúcleos los cuales son poliploides y uno o varios micronúcleos diploides; esta condición se denomina dualismo nuclear. El macronúcleo controla los mecanismos bioquímicos y metabólicos de la célula, y el micronúcleo interviene en la conjugación, resultando en la recombinación genética (Lynn, 2008; 2017).

Los ciliados presentan diferentes hábitos alimenticios y se catalogan como bacterívoros, algívoros, detritívoros, omnívoros y depredadores (Foissner y Berger, 1996; Mayén-Estrada *et al.*, 2014). La diversidad del phylum comprende aproximadamente 8,000 especies agrupadas en 16 clases (Gao *et al.*, 2016; Lynn, 2017; Fokin *et al.*, 2023). Son de vida libre, y simbioses de animales, plantas y algunas algas. Habitan en una amplia diversidad de ambientes tanto acuáticos como te-

restres; algunos ejemplos de ambientes acuáticos son los lagos, lagunas salobres o el medio marino, así como en suelos, sedimentos, y la fitotelma de plantas epífitas (Foissner, 1987; Petz y Foissner, 1997; Bulit *et al.*, 2011; Lynn, 2017; Durán-Ramírez *et al.*, 2020).

Ubicado al oriente de la Zona Metropolitana del Valle de México, se localiza el Sistema Lacustre lago de Texcoco (SLLT), en el cual se encuentran algunos remanentes de humedales y cuerpos de agua salobres que funcionan como refugio para una notable diversidad de flora y fauna, entre las que destacan las aves migratorias; sin embargo, el permanente crecimiento poblacional ha ejercido una gran presión sobre esta superficie, así como las alteraciones derivadas del establecimiento de nueva infraestructura como el proyecto de ampliación de un aeropuerto y el confinamiento de desechos sólidos urbanos en el Bordo Poniente (Jazcilevich Diamant *et al.*, 2015).

En esta zona ya desde la época precolombina, la cosecha de espirulina realizada por los pobladores locales ha sido una actividad que ha perdurado debido al valor nutritivo de esta microalga como fuente principalmente de proteínas (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006). Sosa Texcoco fue la primera empresa en hacer una explotación industrial de la espirulina (Calleja, 2013). Actualmente,

representa una alternativa de aprovechamiento de los recursos del lago por los pobladores del SLLT, quienes continúan cosechando la espirulina de los humedales remanentes. Algunos de ellos han implementado formas de cultivo artesanal en los traspatios de sus hogares, simulando las condiciones de salinidad y alcalinidad del agua que requiere para su crecimiento bajo condiciones de cultivo al exterior (obs. pers.).

Uno de los principales retos que enfrentan las técnicas actuales de cultivo de microalgas, tanto industriales como artesanales, las cuales limitan su producción de grandes volúmenes de biomasa es la presencia de organismos que colonizan los cultivos tanto en sistemas al aire libre como en interior (Wang *et al.*, 2013), por ejemplo, los protistas que colonizan los cultivos algales por distintas rutas como el agua, el polvo, el viento e incluso los insectos, y en algunos casos son capaces de alterar la producción del cultivo en el transcurso de pocos días (Bacellar Medes y Vermelho, 2013; Peng *et al.*, 2015).

Es conveniente precisar que dentro del ámbito de la biotecnología de las algas se les denomina contaminantes biológicos a las bacterias, hongos, otras algas competidoras y elementos del zooplancton que consumen algas como los microinvertebrados y protistas

como las amebas, flagelados y los ciliados (Kim-Hue 2019). Algunos ejemplos de ciliados los cuales se ha documentado que afectan cultivos de algas son *Stylonychia mytilus* en cultivos de *Chlamydomonas*; *Euplotes* sp. en cultivos de *Nannochloropsis*; *Sterkiella histriomuscorum* y *Vorticella convallaria* en cultivos de *Scenedesmus* y *Frontonia* sp. en cultivos de espirulina (Kim-Hue, 2019). El objetivo del presente trabajo fue documentar la presencia de ciliados (Phylum Ciliophora) presentes en un cultivo experimental de *L. maxima*, así como en un humedal remanente en la Ciénega de San Juan con presencia de la especie, durante el mes de agosto de 2023.

Materiales y métodos

Se recolectó manualmente una muestra de agua con presencia de *Limnospira maxima* en la Ciénega de San Juan en el mes de agosto de 2023, en donde algunos elementos de la flora acuática que predominaron en dicho humedal fueron *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla y *Typha latifolia* L.; la localidad de muestreo se encuentra ubicada a 2 kilómetros al noreste del Parque Ecológico lago de Texcoco (2,2236 m snm, 19°34'4.33" N; 98°58'26.55"

O) y dentro del Sistema Lacustre lago de Texcoco (SLLT). Asimismo, se recolectó una muestra de agua en un cultivo experimental de *L. maxima* ubicado al aire libre en el traspatio de una casa en el poblado de Santa Isabel Ixtapa, Municipio de Atenco, Estado de México (Fig. 1). Ambas muestras de agua fueron almacenadas en recipientes de plástico de boca ancha con capacidad de 1 L. Las muestras fueron transportadas y mantenidas a temperatura ambiente para su observación en el Laboratorio de Protozoología de la Facultad de Ciencias, UNAM.



Figura 1. Localidades de recolecta en el Sistema Lacustre lago de Texcoco. **A)** Ciénega de San Juan; **B)** cultivo experimental al aire libre de *Limnospira maxima* en el traspatio de una casa, en el poblado de Santa Isabel Ixtapan.

Para la identificación de los ciliados, se llevó a cabo la observación en vivo de las muestras durante las siguientes dos semanas posteriores a la fecha de recolecta, empleando un microscopio de contraste diferencial de interferencia Nikon Labophot-2 con una cámara adaptada RisingTech C3-CMOS-10000-KPA para el registro microfotográfico. Se aplicaron técnicas de impregnación argéntica de acuerdo con los protocolos de Foissner (2014) para destacar las características de la infraciliatura, la ciliatura oral, el macronúcleo y el micronúcleo entre otros caracteres de relevancia taxonómica. Las preparaciones permanentes obtenidas se encuentran resguardadas en el Laboratorio de Protozoología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Resultados

Se identificaron seis morfoespecies de ciliados, cinco de las cuales pertenecen a la clase Oligohymenophorea y una a la clase Litostomatea (Fig. 2A-H y 3A-D). De las morfoespecies observadas, *Frontonia* sp. fue el único ciliado en el cual se observaron segmentos de filamentos de *L. maxima* en sus vacuolas digestivas, los cuales

fragmenta a medida que se ingiere (Fig. 2B y C); Vorticellidae 1 y Vorticellidae 2 (Fig 2F y G, y Fig. 3A-D) fueron observados como epibiontes sobre los filamentos de *L. maxima*. Cuatro morfoespecies fueron observadas en la Ciénega de San Juan y tres en el cultivo experimental de *L. maxima* en Santa Isabel Ixtapan.



Figura 2. Ciliados identificados en la Ciénega de San Juan y en el cultivo experimental de *Limnospira maxima*. **A-C)** *Frontonia* sp., los asteriscos en B y C señalan los fragmentos ingeridos de *L. maxima*; **D)** Scuticociliatia 1; **E)** Litostomatea; **F)** Vorticellidae 1 epibionte en un filamento de *L. maxima*; **G)** Vorticellidae 2; **H)** Scuticociliatia 2. **A-H)** Observación en vivo con microscopía de contraste diferencial de interferencia. A-C y E-G: 20 X. D y H: 40 X. Barra de escala: 10 μ m.

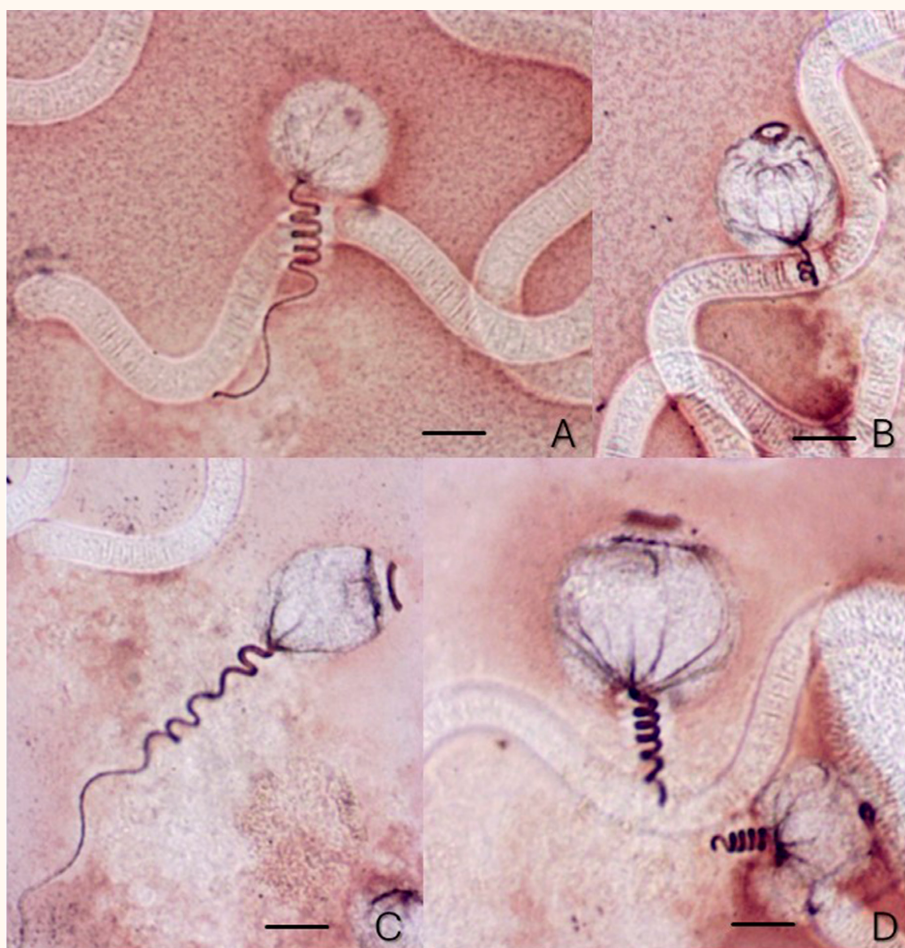


Figura 3. A-D) Vorticellidae 1, en técnica de proteinato de plata de Foissner (2014), las cuales se observaron como epibiontes de los filamentos de *Limnospira maxima*. 40 X. Barra de escala: 10 μ m.

A continuación, se enlistan las morfoespecies registradas de acuerdo con el sistema de clasificación de Lynn (2008).

Morfoespecies registradas de acuerdo
con el sistema de clasificación de Lynn (2008)

Phylum Ciliophora Doflein, 1901

Subphylum Intramacronucleata Lynn, 1996

Clase Litostomatea Small y Lynn, 1981

Litostomatea 1¹

Clase Oligohymenophorea de Puytorac, Batisse, Bohatier, Corliss, Deroux, Didier, Dragesco, Fryd-Versavel, Grain, Grolière, Hovasse, Iftode, Laval, Roque, Savoie y Tuffrau, 1974

Subclase Peniculia Faurè-Fremiet en Corliss, 1956

Orden Peniculida Faurè-Fremiet en Corliss, 1956

Familia Frontoniidae Kahl, 1926

Género Frontonia Ehrenberg, 1838

Frontonia sp.^{1,2}

Subclase Peritrichia Stein, 1859

Orden Sessilida Kahl, 1933

Familia Vorticellidae Ehrenberg, 1838

Vorticellidae 1²

Vorticellidae 2²

Subclase Scuticociliatia Small, 1967

Scuticociliatia¹

Scuticociliatia¹

¹ Registros de ciliados presentes en el humedal de la Ciénega de San Juan, Texcoco, Estado de México.

² Registros de ciliados presentes en el cultivo experimental de *L. maxima* en Santa Isabel Ixtapan, Atenco, Estado de México.

Discusión

Los resultados obtenidos son coincidentes con las observaciones de Kim-Hue (2019) quien reportó la presencia de una especie de *Frontonia* en cultivos de espirulina. Las especies del género *Frontonia* poseen una estructura bucal compleja que les permite la ingestión de los filamentos de *L. maxima*. Hasta el momento, no se cuenta con evidencias que permitan sustentar si hay algún tipo de impacto provocado por esta especie sobre la productividad algal, sin embargo, observamos que este ciliado consume a *L. maxima* como parte de su dieta tanto en el SLLT como en el cultivo experimental.

La presencia de vorticélicos epibiontes en los filamentos, se observó con mayor frecuencia en la muestra del cultivo experimental, a medida que transcurrieron los días después de la fecha del muestreo. Los vorticélicos no ingieren filamentos de *L. maxima* debido a que poseen una estrategia de alimentación distinta a *Frontonia* sp., filtrando bacterias del medio. Tampoco se ha demostrado qué tipo de daño o afectación al cultivo podría ocasionar este grupo de ciliados al utilizar como sustrato los filamentos de *L. maxima*.

Los ciliados tienen tasas de crecimiento más altas en

comparación con las microalgas en un cultivo, ya que estas son dependientes de la intensidad de la luz debido a la concentración de la biomasa (Strom y Morello, 1998; Moreno-Garrido y Cañavate, 2001). Las diferencias en la forma de reproducción de los ciliados en comparación con la de las microalgas, representa una evidencia para responder cómo la presencia de algunos ciliados afecta negativamente los cultivos artesanales e industriales de microalgas. Por ejemplo, Moreno-Garrido y Canavate (2001) reportaron para un cultivo de *Dunaliella salina* haber sido consumido en dos días a causa de la presencia de ciliados. Wang *et al.* (2017) observaron que más del 90% de la biomasa de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* fue consumida por *Colpoda* sp. y *Vorticella* sp. en un cultivo al aire libre. A diferencia de los filamentos de *L. maxima*, la talla y la condición unicelular de *C. vulgaris* y *S. acutus* hace posible que puedan ser ingeridos por algunas especies de *Vorticella*. En la India, Karuppasamy *et al.* (2018) identificaron a *Euplotes* sp. como causante del deterioro de un cultivo de *C. vulgaris* en el cual fue notable un cambio de coloración de verde a café. Los cultivos de cianoprocariontes filamentosas también se ven afectados por los ciliados. Day (2013) observó como *Nassula* sp. ocasionó una marcada disminución de la concentración de

Oscillatoria en un cultivo experimental con capacidad de mil litros.

La prevención de la colonización de ciliados en los cultivos microalgales representa un desafío para los productores debido, por un lado, a su baja tasa de crecimiento en el cultivo y, por otra parte, a que se requiere de grandes volúmenes de agua para la preparación del medio. Incluso aplicar tratamientos químicos no siempre es factible, ya que algunos ciliados como *Paracolpoda steinii* puede sobrevivir a la aplicación del hipoclorito de sodio. Kim-Hue (2019) refirió distintos métodos de control implementados como la filtración, el aumento de la temperatura, alterar el pH y la salinidad del agua, sin embargo, los resultados no siempre han sido satisfactorios. Algunas alternativas recientemente descritas, como el uso de químicos naturales producidos por microalgas marinas como el DMSP (trans trans-2, 4-decadialenal dimetil sulfoniopropionato) o el MMP (metil 3-(metiltio) propionato), prometen ofrecer una mayor efectividad en el control de ciliados en cultivos de micoalgas a nivel industrial (Kim-Hue *et al.*, 2018).

Además de ser necesario llevar a cabo un mayor número de muestreos en los humedales del SLLT para documentar la composición de las especies en las co-

comunidades de ciliados, es de gran importancia implementar estudios que abarquen el análisis de un mayor número de cultivos de *L. maxima* tanto artesanales como experimentales que presenten distintas características. Asimismo, se recomienda realizar estudios experimentales con diferentes especies de ciliados que aporten elementos para mejorar las condiciones de producción de *L. maxima*, y que permitan determinar si existe o no un efecto negativo por parte de algunas especies de ciliados en relación a la productividad algal. A partir de ello, se podrá explorar el uso de algunas alternativas como medidas preventivas o de tratamiento de los cultivos cuando su producción se vea alterada, entre otros por la presencia de ciliados en el medio.

Referencias

- Bacellar** Mendes, L.B. y A. B. Vermelho. (2013). Allelopathy as a potential strategy to improve microalgae cultivation. *Biotechnology for Biofuels*. **6**(1): 1-14.
- Bulit**, C., C. Diaz-Avalos y D. J. S. Montagnes. (2011). Spatial structure of abundance and diversity of microplanktic ciliates in a coastal lagoon. *Interciencia*. **36**(8): 593-599. https://www.researchgate.net/publication/286043792_Spatial_structure_of_abundance_and_diversity_of_microplanktic_ciliates_in_a_coastal_lagoon
- Calleja**, P. (2013). L'exploitation industrielle des micro-algues. *Responsabilité et Environnement*. **70**: 36-41.
- Day**, J. G. (2013). Predators: the overlooked threat to the sustained production of future algal biofuels. *Biofuels*. **4**: 459-461.
- Durán-Ramírez**, C. A., R. J. Pedroso Dias y R Mayén-Estrada. (2020). Checklist of ciliates (Alveolata: Ciliophora) that inhabit in bromeliads from the Neotropical Region. *Zootaxa*. **4895**(1): 1-36.
- Foissner**, W. (1987). Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progress in Protistology*. **2**: 69-212.
- Foissner**, W. (2014). An update of 'basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa'. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. **64**: 271-292.
- Foissner**, W. y H. Berger. (1996). A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology*. **35**(2): 375-482.
- Fokin**, S. I., V. Serra, L. Gammuto, A. Allievi, G. Petroni y L. Modeo. (2023). Multidisciplinary characterization of the new species *Copemetopus mystakophoros* and its symbionts with a proposal for the new class Cope-metopea (Alveolata: Ciliophora). *Zoological Journal of the Linnean Society*. **198**: 1171-1200.

Gao, F., J. Li, W. Song, D. Xu, A. Warren, Z. Yi y S. Gao. (2016). Multi-gene-based phylogenetic analysis of oligotrich ciliates with emphasis on two dominant groups: cyrtostrombidiids and strombidiids (Protozoa, Ciliophora). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **105**: 241-250.

Jazcilevich Diamant, A., C. Siebe, C. Estrada, J. Aguillón, A. Rojas, E. Chávez García y C. Sheinbaum Pardo. (2015). Retos y oportunidades para el aprovechamiento y manejo ambiental del ex lago de Texcoco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **67**(2): 145-166. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v67n2/v67n2a3.pdf>

Karupphasamy, S., A. S. Musale, B. Soni, B. Bhadra, N. Gujarathi, M. Sundaram, A. Sapre, S. Dasgupta y C. Kumar. (2018). Integrated grazer management mediated by chemicals for sustainable cultivation of algae in open ponds. *Algal Research*. **35**: 439-448.

Kim Hue, N. T. (2019). *Isolation, identification and ecological control ciliates in microalgal cultures*. Doctoral Thesis. Ku Leuven Kulak, Arenberg Doctoral School, Faculty of Science. Bélgica.

Kim Hue, N. T., B. Deruyck, E. Decaestecker, D. Vandamme y K. Muylaert. (2018). Natural chemicals produced by marine microalgae as grazer deterrents can be used to control ciliate contamination in microalgal cultures. *Algal Research*. **29**: 297-303.

Lynn, D. H. (2008). *The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature*. Springer. Alemania. ISBN: 78-1-4020-8238-2.

Lynn, D. H. (2017). Ciliophora. En: Archibald, J., A. Simpson y C. Slavovits (Eds.) *Handbook of the protists*. Springer. Suiza. ISBN: 978-3-319-28147-6.

Mayén-Estrada R, M. Reyes-Santos y R. Aguilar-Aguilar. (2014). Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **85**: 34-43. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532014000200004

Moreno-Garrido, I. y J. P. Cañavate. (2001). Assessing chemical compounds for controlling predator ciliates in outdoor mass cultures of the green algae *Dunaliella salina*. *Aquacultural Engineering*. **24**(2): 107-114.

Peng, L., C. Q. Lan, Z. Zhang, C. Sarch y M. Laporte. (2015). Control of protozoa contamination and lipid accumulation in *Neochloris oleoabun-*

dans culture: effects of pH and dissolved inorganic carbon. *Bioresource Technology*. **197**: 143-151.

Petz, W. y W. Foissner. (1997). Morphology and infraciliature of some soil ciliates (Protozoa, Ciliophora) from continental Antarctica, with notes on the morphogenesis of *Sterkiella histriomuscorum*. *Polar Record*. **33**(187): 307-326.

Ramírez-Moreno, L. y R. Olvera-Ramírez. (2006). Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia*. **31**(9): 657-663.

Strom, S. L. y T. A. Morello. (1998). Comparative growth rates and yields of ciliates and heterotrophic dinoflagellates. *Journal of Plankton Research*. **20**(3): 571-584.

Wang, H., W. Zhang, L. Chen, J. Wang y T. Liu. (2013). The contamination and control of biological pollutants in mass cultivation of microalgae. *Bioresource Technology*. **128**: 745-750.

Wang, Y., E. Eustance, M. Castillo-Keller y M. Sommerfeld. (2017). Evaluation of chemical treatments for control of ciliate grazers in algae cultures: a site study. *Journal of Applied Phycology*. **29**: 2761-2770.



De las casas a la ciénega
Canal Salado, Atenco / Acolman
© Mizrain Sánchez, abril 2022



Río San Juan
Río San Juan Teotihuacan, Ixtapan / Nexquipayac
© Mizrain Sánchez, mayo 2023

Capítulo 5

CILIADOS Y ALGAS DE LA ZONA DEL LAGO DE TEXCOCO

Rosaura Mayén-Estrada^{1,3}, Eberto Novelo², Alejandra Mireles Vázquez², Eleonor Cortés-López² y Margarita Reyes-Santos^{1,†}

Resumen: Se enlistan los ciliados y algas de tres cuerpos de agua de la zona del lago de Texcoco recolectados en 2011 – 2012 (15 ciliados y 19 algas). Los registros de algas para la zona del periodo 1917 – 2018 reúnen un total de 263 taxones. Las listas de las recolecciones muestran la presencia de organismos considerados como cosmopolitas por su amplia distribución, aunque algunos son registrados por primera vez en la zona. La importancia de mantener actualizados los registros de la zona está relacionada con la conservación de la biota y con los cambios en el origen y uso del agua en el periodo 1917 a la fecha.

Palabras clave: algas, ciliados, lagos, microbiota, recursos acuáticos.

Abstract: *The ciliates and algae from three bodies of water in the Lake Texcoco area collected in 2011 - 2012 are listed (15 ciliates and 19 algae). The algae records for the area from the period 1917 - 2018 bring together a total of 263 taxa. The lists of the collections show the presence of organisms considered cosmopolitan due to their wide distribution, although some are recorded for the first time in the area. The importance of keeping the records of the area updated is related to the conservation of the biota and the changes in the origin and use of water in the period 1917 to date.*

Key words: *algae, aquatic resources, ciliates, lakes, microbiota.*

¹ Laboratorio de Protozoología, Depto. Biol. Comparada, Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior s/núm. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C. P. 04510.

² Laboratorio de Algas Continentales, Ecología y Taxonomía, Depto. Biol. Comparada, Fac. Ciencias, UNAM. Circuito Exterior s/núm. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C. P. 04510.

³ Autor de correspondencia: rme2@ciencias.unam.mx

Introducción

Las algas y ciliados son dos de los elementos más importantes de la microbiota de cualquier cuerpo de agua, corriente o estancado. Las primeras, son productoras primarias y los ciliados son consumidores primarios, es decir, ambos son la base de las cadenas tróficas de los cuerpos de agua.

Lynn (2017) indicó que existen aproximadamente 8,000 especies incluidas en el phylum Ciliophora, que poseen cilios al menos en una etapa de su ciclo de vida, un dualismo nuclear (un macronúcleo y un micronúcleo) y el proceso sexual denominado conjugación. La ciliatura se organiza alrededor de la boca (ciliatura bucal) y en la célula (ciliatura somática); son fagótrofos con algunas especies mixótrofas; sus tallas varían entre 10-3000 μm , sin embargo, en el caso de las especies del picoplancton son menores a 10 μm (Jones 1974). Son de formas variables y las más comunes son ovoide, alargada y esférica en los organismos de nado libre, y forma de campana invertida en la mayoría de las especies sésiles pedunculadas. En México, se cuenta con un registro de 1,026 especies de vida libre como planctónicas y bentónicas en aguas continentales, salobres y marinas, y en ambientes terrestres

como el suelo y musgos (Mayén-Estrada *et al.*, 2020).

Por su parte, las algas son un conjunto no emparentado filogenéticamente y en el caso de las de aguas continentales están reunidas en 10 Divisiones con más de 40,000 especies registradas en todo el mundo. Son organismos fotosintéticos aerobios, aunque existen especies mixótrofas. La organización celular es diversa y con características particulares a nivel de División. En México se han registrado más de 4,260 nombres específicos e infraespecíficos en aguas continentales, distribuidos en todo tipo de ambientes acuáticos y subaéreos (Novelo y Tavera, 2022).

La biota microscópica actual de la zona de Texcoco es poco conocida y aunque existen publicaciones que registran organismos acuáticos microscópicos como parte de las reconstrucciones paleoambientales de la cuenca (Díaz Lozano, 1917; Bradbury, 1970; 1971; Ramírez Nava, 2002; 2005), no hay un registro sistemático de las microfloras y las microfaunas actuales de la zona. Por ello, es necesario contar con una línea base de conocimiento para evaluar los cambios que seguramente sucederán con las modificaciones propuestas para el uso del suelo y del agua de la zona así como los efectos del cambio climático.

Materiales y métodos

Área de estudio. Durante junio y septiembre de 2011 y febrero, junio y agosto de 2012 se recolectaron de manera manual muestras de agua en las áreas someras del lago Nabor Carrillo ($19^{\circ} 27' 08.45''$ - $19^{\circ} 28' 53.32''$ N, $98^{\circ} 56' 57.98''$ - $98^{\circ} 59' 26.91''$ O), Canal N - O ($19^{\circ} 27' 18.420''$ - $98^{\circ} 55' 25.140''$) y Lago Recreativo ($19^{\circ} 27' 54.360''$ - $98^{\circ} 59' 35.580''$) del área de Texcoco, Estado de México (GPS Logger para Android). En los tres sitios se registraron durante el muestreo de febrero de 2012, los valores de temperatura, pH y conductividad eléctrica con un potenciómetro-conductímetro portátil (Conductronic PC18).

Ciliados. Se obtuvieron muestras de agua con fragmentos de raíces y sedimento y se colocaron en frascos de boca ancha. Para la identificación, se realizaron observaciones en vivo en microscopios ópticos Nikon (Nikon Labophot-2 y Nikon Optiphot) en campo claro y contraste diferencial de interferencia. Posteriormente se procedió a la fijación y aplicación de técnicas de tinción e impregnación que correspondieron a hematoxilina de Harris y protargol según Foissner (2014) para su identificación específica. El registro microfotográfico se realizó con la cámara Nikon, DS-2Mv.

Algas. Se filtraron 10 L de agua en una red de fitoplancton con una apertura de malla de 10 μm en un frasco de 250 mL, de ahí se tomaron 2 alícuotas de 20 mL, una para muestras de herbario (fijado con formol al 2.5% en concentración final) y otra para observación en vivo. De las muestras fijadas, se montaron preparaciones semipermanentes con gelatina glicerizada. Se observaron con un microscopio Nikon Optiphot con contraste diferencial de interferencia. Los ejemplares se fotografiaron con una cámara Nikon Coolpix S10.

Registros previos de algas. Se consultaron las fuentes bibliográficas con registros de especies de algas en el área de Texcoco del periodo 1917 - 2018: Sámano Bishop (1934), Ortega (1972), Desikachary y Jeegi Bai (1996), Galicia-García y Novelo (2000), Godínez-Ortega *et al.* (2014), Sacristán-de-Alva *et al.* (2014), Ballot *et al.* (2018) y De Souza Santos *et al.* (2018).

Resultados

Los datos ambientales registrados en los sitios de recolección se anotan en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Datos del agua de tres sitios en la zona de Texcoco

SITIO	TEMPERATURA	pH	CONDUCTIVIDAD $\mu\text{S cm}^{-1}\text{s}^{-1}$
Lago Nabor Carrillo	17.3 °C	9.6	472
Canal N - O	16.3 °C	9.8	984
Lago Recreativo	17.4 °C	10.3	1274

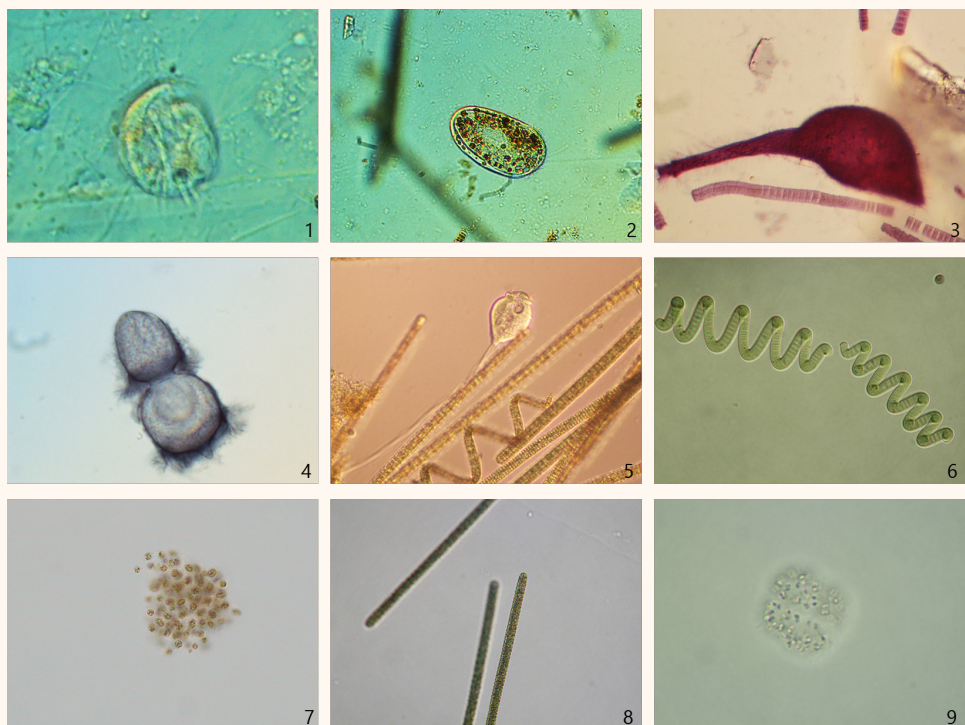


Figura 1. 1) *Aspidisca lynceus*; 2) *Chlamydonon mnemosyne*; 3) *Lacrymaria olor*; 4) *Monodinium balbiani*; 5) *Vorticella striata*; 6) *Limnospira maxima*; 7) *Microcystis flosaquae*; 8) *Planktothrix agardhii*, 9) *Snowella lacustris*.

Se identificaron 15 especies de ciliados y 19 especies de algas en la zona de Texcoco (Cuadro 2, Figura 1).

Cuadro 2

Lista de especies de ciliados y algas en Texcoco en 2011 y 2012

Phylum Ciliophora

Clase Spirotrichea

Aspidisca lynceus (Müller, 1773) Fig. 1.1

Euplotes affinis (Dujardin, 1841)

Euplotes moebiusi Kahl, 1932

Clase Litostomatea

Monodinium balbianii Fabr -Domergue, 1888 Fig. 1.4

Lacrymaria olor (Müller, 1776) Fig. 1.3

Litonotus lamella (Müller, 1776)

Clase Phyllopharyngea

Chilodonella uncinata (Ehrenberg, 1838)

Chlamydodon mnemosyne Ehrenberg, 1835 Fig. 1.2

Clase Oligohymenophorea

Paramecium caudatum Ehrenberg, 1833

Cinetochilum margaritaceum (Ehrenberg, 1831)

Cyclidium glaucoma Müller, 1773

Epistylis plicatilis Ehrenberg, 1831

Vorticella convallaria (Linnaeus, 1758)

Vorticella microstoma Ehrenberg, 1830

Vorticella striata Dujardin, 1841 Fig. 1.5

Cyanoprokaryota

División Cyanoprokaryota

Clase Cyanophyceae

Anabaenopsis elenkinii V. Miller 1923

continuación Cuadro 2

- Aphanocapsa nubila* Komárek et Kling 1991
Coelomoron pusillum (Van Goor) Komárek 1988
Limnospira maxima (Setchell et Gardner)
Nowicka-Krawczyk et al. 2019 Fig. 1.6
Limnothrix redekei (Goor) Meffert 1988
Merismopedia glauca (Ehrenberg) Kützing 1849
Merismopedia tenuissima Lemmermann 1898
Microcystis flosaquae (Wittrock) Kirchner 1898 Fig. 1.7
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek ex Komárek 2006
Planktothrix agardhii (Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988 Fig. 1.8
Snowella lacustris (Chodat) Komárek et Hindák 1988 Fig. 1.9

División Chlorophyta

Clase Chlorophyceae

- Desmodesmus opoliensis* (Richter) Hegewald 2000
Korshikoviella limnetica (Lemmerman) Silva 1959
Monoraphidium contortum (Thuret) Komarková-Legenerová 1969
Oocystis lacustris Chodat 1897

Clase Ulvophyceae

- Rhizoclonium hieroglyphicum* (C. Agardh) Kützing 1845

División Bacillariophyta

Clase Mediophyceae

- Stephanocyclus meneguianus* (Kützing) Kulikovskiy et al. 2022

Clase Bacillariophyceae

- Halamphora veneta* (Kützing) Levkov 2009

División Dinophyta

Clase Dinophyceae

- Peridinium cinctum* (O.F. Müller) Ehrenberg 1832
-

Lista actualizada de la ficoflora de Texcoco. En la bibliografía sobre algas de Texcoco se encontraron 276 nombres de especies y categorías infraespecíficas, de los cuales 155 nombres son correctos y 121 sinónimos. En el Cuadro 3 se muestran los 263 nombres correctos y actualmente utilizados de todas las especies y variedades registradas. El conjunto está formado por 221 Bacillariophyta (diatomeas), 9 Cyanoprokaryota, 20 Chlorophyta, 10 Charophyta y 3 Euglenophyta.

Cuadro 3

Especies de algas registradas en la bibliografía
en el periodo 1917 – 2018

Bacillariophyta

- Achnantheiopsis dubia* (Grunow) Lange-Bertalot 1997
- Achnanthidium neomicrocephalum* Lange-Bertalot et F. Stabb 2004
- Adlafia minuscula* (Grunow) Lange-Bertalot 1999
- Adlafia minuscula* var. *muralis* (Grunow) Lange-Bertalot 1999
- Amphora copulata* (Kützing) Schoeman et Archibald 1986
- Amphora ovalis* (Kützing) Kützing 1844
- Amphora pediculus* (Kützing) Grunow 1875
- Anomoeoneis costata* (Kützing) Hustedt 1959
- Anomoeoneis sphaerophora* var. *sculpta* (Ehrenberg) Müller 1900
- Anomoeoneis sphaerophora* Pfitzer 1871
- Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979
- Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen 1979
- Caloneis bacillum* (Grunow) P.T. Cleve 1894
- Caloneis lewisii* var. *inflata* (Schultze) Patrick 1966
- Caloneis limosa* (Kützing) Patrick 1966
- Caloneis oregonica* (Ehrenberg) Patrick 1966

continuación Cuadro 3

Caloneis permagna (Bailey) Cleve 1894
Caloneis ventricosa var. *subundulata* (Grunow) Patrick 1966
Campylodiscus clypeus (Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing 1844
Campylodiscus noricus Ehrenberg ex Kützing 1844
Cavinula cocconeiformis (Gregory ex Greville) D.G. Mann et Stickle 1990
Chaetoceros muelleri Lemmermann 1898
Cocconeis lineata Ehrenberg 1849
Cocconeis neodiminuta Krammer 1990
Cocconeis neothumensis Krammer 1990
Cocconeis placentula Ehrenberg 1838
Cocconeis placentula var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow 1884
Cavinula pseudoscutiformis (Hustedt) D.G. Mann et Stickle 1990
Craticula accomoda (Hustedt) D.G. Mann 1990
Craticula ambigua (Ehrenberg) D.G. Mann 1990
Craticula cuspidata (Kützing) D.G. Mann 1990
Craticula cuspidata var. *heribaudii* (Peragallo) Li et Qi 2018
Craticula elkab (O. Müller) Lange-Bertalot et al. 2007
Craticula halophila (Grunow) Mann 1990
Craticula halophila f. *tenuirostris* (Hustedt) Czarnecki 1994
Cyclotella quillensis Bailey 1922
Cyclotella striata (Kützing) Grunow 1880
Cymbella affinis Kützing 1844
Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878
Cymbella helvetica Kützing 1844
Cymbella mexicana (Ehrenberg) Cleve 1894
Cymbella ventricosa Kützing 1844 *Denticula elegans* Kützing 1844
Denticula kuetzingii Grunow 1862
Denticula valida (Pedicino) Grunow 1885
Diadsmis laevisissima (Cleve) D.G. Mann 1990
Dickieia legleri (Hustedt) Clavero et Hernández-Mariné 2012
Diploneis elliptica (Kützing) Cleve 1894
Diploneis oblongella (Nägeli) Cleve-Euler 1922
Diploneis parma Cleve 1891
Diploneis pseudovalis Hustedt 1930
Diploneis puella (Schumann) Cleve 1894
Diploneis smithii (Brébisson ex W. Smith) Cleve 1894
Dorofeyukea grimmei (Krasske) Kulikovskiy et Kociolek 2019

continuación Cuadro 3

Dorofeyukea texana (Patrick) Kulikovskiy et Kociolek 2019
Encyonema elginense (Krammer) D.G. Mann 1990
Encyonema mesianum (Cholnoky) D.G. Mann 1990
Encyonema triangulum (Ehrenberg) Kützing 1849
Encyonopsis ruttneri (Hustedt) Krammer 1997
Entomoneis alata (Ehrenberg) Ehrenberg 1845
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson 1838
Epithemia frickei Krammer 1987
Epithemia hyndmanni W. Smith 1850
Epithemia sores Kützing 1844
Epithemia turgida (Ehrenberg) Kützing 1844
Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Mills 1934
Eunotia diadema Ehrenberg 1837
Eunotia diodon Ehrenberg 1837
Eunotia flexuosa (Brébisson) Kützing 1849
Eunotia glacialis Meister 1912
Eunotia incisa W. Smith ex Gregory 1854
Eunotia major (W. Smith) Rabenhorst 1864
Eunotia pectinalis (Kützing) Rabenhorst 1864
Fallacia pygmaea (Kützing) Stickle et D.G. Mann 1990
Fallacia subhamulata (Grunow) D.G. Mann 1990
Fallacia vitrea (Østrup) D.G. Mann 1990
Fragilaria capucina Desmazières 1830
Fragilaria socia (Wallace) Lange-Bertalot 1980
Fragilaria vaucheriae (Kützing) Petersen 1938
Frustulia amphipleuroides (Grunow) Cleve-Euler 1934
Geissleria acceptata (Hustedt) Lange-Bertalot et Metzeltin 1996
Gogorevia exilis (Kützing) Kulikovskiy et Kociolek 2020
Gomphonella olivacea (Hornemann) Rabenhorst 1853
Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst 1864
Gomphonema clavatum Ehrenberg 1832
Gomphonema coronatum Ehrenberg 1841
Gomphonema dubraviscense Pantocsek 1892
Gomphonema gracile C.G. Ehrenberg 1838
Gomphonema insigne Gregory 1856
Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brébisson 1838
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing 1849

continuación Cuadro 3

Gomphonema sphaerophorum Ehrenberg 1845
Gomphonema tergestinum (Grunow) Fricke 1902
Gomphonema truncatum Ehrenberg 1832
Gomphonema ventricosum Gregory 1856
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst 1853
Gyrosigma obtusatum (Sullivant et Wormley) Boyer 1922
Halamphora acutiuscula (Kützing) Levkov 2009
Halamphora coffeaeformis (C. Agardh) Mereschkowsky 1903
Halamphora veneta (Kützing) Levkov 2009
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow 1880
Hantzschia vivax (W. Smith) Grunow 1877
Iconella tenera (Gregory) Ruck et Nakov 2016
Hippodonta hungarica (Grunow) Lange-Bertalot *et al.* 1996
Hippodonta subsalsa (Grunow) Pomazkina et Radionova 2019
Lemnicola hungarica (Grunow) Round et Basson 1997
Luticola lagerheimii (Cleve) D.G. Mann 1990
Mastogloia lacustris (Grunow) Grunow 1880
Mayamaea agrestis (Hustedt) Lange-Bertalot 2001
Melosira varians C.A. Agardh 1827
Navicula cari Ehrenberg 1836
Navicula cincta (Ehrenberg) Ralfs 1861
Navicula circumtexta Meister ex Hustedt 1934
Navicula consentanea Hustedt 1939
Navicula cryptocephala Kützing 1844
Navicula erifuga Lange-Bertalot 1985
Navicula germanii Wallace 1960
Navicula gregaria Donkin 1861
Navicula heufleri Grunow 1860
Navicula lanceolata (Agardh) Kützing 1844
Navicula minima Grunow 1880
Navicula oblonga (Kützing) Kützing 1844
Navicula peregrina (Ehrenberg) Kützing 1844
Navicula radiosa Kützing 1844
Navicula rhyngocephala Kützing 1844
Navicula salinarum Grunow 1880
Navicula seminuloides Hustedt 1937
Navicula tripunctata (O.F. Müller) Bory 1822

continuación Cuadro 3

Navicula veneta Kützing 1844
Navicymbula pusilla (Grunow) Krammer 2003
Neidium affine (Ehrenberg) Pfitzer 1871
Neidium iridis (Ehrenberg) Cleve 1894
Nitzschia acuta Hantzsch in Hustedt 1930
Nitzschia amphibia Grunow 1862
Nitzschia amphibioides Hustedt 1942
Nitzschia capitellata Hustedt 1922
Nitzschia clausii Hantzsch 1860
Nitzschia communis Rabenhorst 1860
Nitzschia confinis Hustedt 1949
Nitzschia dissipata (Kützing) Rabenhorst 1860
Nitzschia epithemoides Grunow 1880
Nitzschia filiformis (W. Smith) Van Heurck 1896
Nitzschia fonticola (Grunow) Grunow 1881
Nitzschia frustulum (Kützing) Grunow 1880
Nitzschia gracilis Hantzsch 1860
Nitzschia hantzschiana Rabenhorst 1860
Nitzschia intermedia Hantzsch 1880
Nitzschia kuetzingiana Hilse 1861
Nitzschia liebetruthii Rabenhorst 1864
Nitzschia linearis W. Smith 1853
Nitzschia microcephala Grunow 1878
Nitzschia obtusa W. Smith 1853
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith 1856
Nitzschia paleacea Grunow 1881
Nitzschia subtilis (Kützing) Grunow 1880
Nitzschia tarda Hustedt 1949
Nitzschia tubicola Grunow 1880
Nitzschia umbonata (Ehrenberg) Lange Bertalot 1978
Nitzschia vitrea Norman 1861
Odontidium hyemale (Roth) Kützing 1844
Pantocsekiella comensis (Grunow) Kiss et Ács 2016
Pantocsekiella kuetzingiana (Thwaites) Kiss et Ács 2016
Pinnularia acrosphaeria W. Smith 1853
Pinnularia appendiculata (Agardh) Schaarschmidt 1881
Pinnularia bogotensis (Grunow) Cleve 1895

continuación Cuadro 3

- Pinnularia borealis* Ehrenberg 1843
Pinnularia brauniana (Grunow) Studnicka 1888
Pinnularia divergentissima (Grunow) Cleve 1895
Pinnularia globiceps Gregory 1856
Pinnularia major (Kützing) Rabenhorst 1853
Pinnularia mayeri Krammer 1992
Pinnularia microstauron (Ehrenberg) Cleve 1891
Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1843
Placoneis exigua (Gregory) Mereschowky 1903
Planothidium hauckianum (Grunow) Bukhtiyarova 1999
Planothidium lanceolatum (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot 1999
Pleurosigma delicatulum W. Smith 1852
Prestauroneis protracta (Grunow) Kulikovskiy et Glushchenko 2016
Psammothidium marginulatum (Grunow) Bukhtiyarova et Round 1996
Pseudostaurosira brevistriata (Grunow) D.M. Williams et Round 1988
Rexlowea navicularis (Ehrenberg) Kociolek et Thomas 2010
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot 1980
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O.F. Müller 1895
Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O.F. Müller 1895
Rhopalodia gibberula var. *margaritifera* (Rabenhorst) Fricke 1905
Rhopalodia gibberula var. *protracta* (Grunow) O.F. Müller 1900
Rhopalodia musculus (Kützing) O.F. Müller 1900
Sellaphora laevissima (Kützing) D.G. Mann 1989
Sellaphora rectangularis (Gregory) Lange-Bertalot et Metzeltin 1996
Sellaphora submuralis (Hustedt) C.E. Wetzel et al. 2015
Seminavis macilenta (Gregory) Danielidis et D.G. Mann 2002
Scoliopleura peisonis Grunow 1860
Stauroneis acuta W. Smith 1853
Stauroneis anceps Ehrenberg 1843
Stauroneis kriegeri Patrick 1945
Stauroneis obtusa Lagerstedt 1873
Stauroneis phoenicenteron (Nitzsch) Ehrenberg 1843
Stauroneis smithii Grunow 1860
Staurosira construens Ehrenberg 1843
Staurosira dubia Grunow 1879
Staurosira venter (Ehrenberg) Cleve et Möller 1879
Staurosirella harrisonii (W. Smith) E. Morales et C.E. Wetzel 2015

continuación Cuadro 3

Staurosirella pinnata (Ehrenberg) Williams et Round 1998
Stephanocyclus meneguianus (Kützing) Kulikovskiy et al. 2022
Stephanodiscus niagarae Ehrenberg 1845
Surirella angustata Kützing 1844
Surirella librile (Ehrenberg) Ehrenberg 1845
Surirella ovalis Brébisson 1938
Surirella ovata var. *pinnata* (W. Smith) J.-J. Brun 1880
Surirella peisonis Pantocsek 1902
Surirella striatula Turpin 1828
Surirella utahensis (Grunow) Hanna et Grant 1929
Synedra familiaris Kützing 1844
Synedra rumpens var. *scotica* Grunow 1881
Tryblionella angustata W. Smith 1853
Tryblionella apiculata Gregory 1857
Tryblionella hantzschiana Grunow 1862
Tryblionella hungarica (Grunow) Frenguelli 1942
Tryblionella victoriae Grunow 1862
Ulnaria acus (Kützing) Aboal 2003
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère 2001

Cyanoprokariota

Anabaenopsis elenkini V. Miller 1923
Arthrospira platensis Gomont 1892
Chroococcus turgidus (Kützing) Nägeli 1849
Limnospira fusiformis (Voronichin) Nowicka-Krawczyk et al. 2019
Limnospira maxima (Setchell et N.L. Gardner) Nowicka-Krawczyk et al. 2019
Microcoleus vaginatus (Vaucher) Gomont 1892
Phormidium breve (Kützing) Anagnostidis et Komárek 1988
Phormidium tergestinum (Kützing) Anagnostidis et Komárek 1988
Porphyrosiphon notarisii (Meneghini) Kützing ex Gomont 1892

Chlorophyta

Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs 1848
Chlorella miniata (Kützing) Oltmanns 1904
Coelastrum microporum Nägeli 1855

continuación Cuadro 3

Ctenocladus circinnatus Borzi 1883
Desmodesmus armatus var. *longispina* (Chodat) Hegewald 2000
Desmodesmus armatus var. *subalternans* (G.M. Smith) Hegewald 2000
Desmodesmus intermedius (Chodat) Hegewald 2000
Desmodesmus opoliensis (Richter) Hegewald 2000
Desmodesmus protuberans (Fritsch et Rich) Hegewald 2000
Desmodesmus subspicatus (R. Chodat) Hegewald et Schmidt 2000
Desmodesmus spinosus (R. Chodat) Hegewald 2000
Hariotina reticulata Dangeard 1889
Hydrodictyon reticulatum (Linneaus) Bory 1824
Kirchneriella contorta (Schmidle) Bohlin 1897
Kirchneriella obesa (W. West) G.S. West et W. West 1894
Scenedesmus ecornis (Ehrenberg ex Ralfs) Chodat 1926
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson 1835
Scenedesmus subspicatus Chodat
Tetradesmus lagerheimii Wynne et Guiry 2016
Wittrockiella netzahualpillii (Galicia et Novelo) Boedeker 2012

Charophyta

Closterium aciculare T. West 1860
Closterium acutum Brébisson ex Ralfs 1848
Closterium gracile Brébisson ex Ralfs 1848
Closterium jenneri Ralfs 1848
Closterium leiblenii Kützing ex Ralfs 1848
Closterium lineatum Ehrenberg ex Ralfs 1848
Closterium moniliferum (Bory) Ehrenberg ex Ralfs 1848
Closterium parvulum Nägeli 1849
Pleurotaenium ehrenbergii (Brébisson) De Bary 1858
Pleurotaenium trabecula (Ehrenberg) Nägeli 1849

Euglenophyta

Euglena cyclopicola Glickhorn 1925
Euglena sanguinea Ehrenberg 1832
Euglena viridis (O.F. Müller) Ehrenberg 1830

Discusión

Las poblaciones de ciliados fueron escasas en las muestras de algas, en cambio, en las muestras de ciliados las algas fueron poblaciones de una sola especie.

Es de notar que, en las muestras mantenidas vivas en el laboratorio, siempre se observaron ciliados con algas en sus vacuolas alimenticias, lo que no se observó en las muestras fijadas.

Ciliados. Los peritricos como las especies de *Vorticella* son sésiles y se alimentan principalmente de bacterias y algas por filtración (Foissner *et al.*, 1999), se adhieren a diversas superficies incluyendo flóculos de materia orgánica, formando parte del perifiton, en este caso del lago Nabor Carrillo.

Monodinium balbianii es un ciliado depredador y *Cyclidium glaucoma*, *Chilodonella uncinata* y *Aspidisca lynceus* son bacterívoros (Mironova *et al.*, 2012), contribuyendo de manera significativa en la transferencia de energía y formando parte de la dieta de invertebrados.

Las especies de ciliados incluídas en este capítulo tienen una distribución cosmopolita a nivel mundial de acuerdo con Finlay *et al.* (2006) quienes señalaron que la presencia de una especie en al menos dos regiones bio-

geográficas la definen como cosmopolita. Como ejemplo, *Cinetochilum margaritaceum* ha sido registrada en Alemania (Wörner *et al.*, 2000), Canadá (Andrushchyshyn *et al.*, 2007), Cuba (Ymas-González *et al.*, 2009), España (Martín-Cereceda *et al.*, 2001), Finlandia (Wiackowski *et al.*, 2001), Italia (Madoni, 2000), Nueva Zelanda (Stout, 1978), Polonia (Mieczan, 2008). Y en México en: Ciudad de México (Aladro-Lubel *et al.*, 1987; 1990; 2006; 2007; 2009; López-Ochotereña y Roure-Cane, 1970), Nayarit (Aladro-Lubel *et al.*, 1987; 1990), Puebla (Aladro-Lubel *et al.*, 2006; Macek *et al.*, 2008) y Veracruz (Aladro-Lubel *et al.*, 1987; 1990). Esta distribución cosmopolita de la especie refleja las condiciones ambientales propicias para su presencia. Asimismo, Finlay *et al.* (2006) catalogaron a *Cyclidium glaucoma* como cosmopolita.

Abela-Posada (2013) registró tres especies de peritricos (*Opercularia longigula*, *Opercularia microdiscum* y *Vorticella convallaria*) como epibiontes de coríxidos y notonéctidos, que representan junto con los presentes datos, un total de 18 especies de ciliados identificadas para este lago.

Ficoflora. Las algas encontradas en el periodo 2011-2012 son frecuentes en los lagos urbanos de México que tienen una carga de nutrientes relativamente alta, generalmente son aguas provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Todas las especies son de distribución amplia y con un espectro ecológico

muy diverso. Excepto en 5 casos (*Anabaenopsis elenkii*, *Limnospira maxima*, *Desmodesmus opoliensis*, *Stephanocyclus meneguianus* y *Halamphora veneta*) todas las demás especies no habían sido registradas en Texcoco lo que nos indica que los cambios del hábitat han generado también cambios en las comunidades que se desarrollan, tal y como lo señala la primera observación de algas en 1917. Los resultados de la ficoflora analizada durante 2011-2012 indican la presencia dominante de 11 Cyanoprokaryota, en contraste sólo tuvimos el registro de cinco algas verdes, versus el registro de 30 especies durante el periodo 1917-2018; por tanto, no se observaron numerosas especies de Chlorophyta y ninguno de los representantes de Charophyta.

Resaltan algunos casos que discutiremos brevemente tomando en cuenta la información disponible en bdLACET (Novelo y Tavera, 2022):

Aphanocapsa nubila ha sido registrada en Puebla, Veracruz, Quintana Roo y Yucatán; y en Europa central. Generalmente se asocia con aguas oligo a mesotróficas y su presencia en Texcoco podría indicar una ampliación en su espectro ecológico.

Limnospira maxima es el nombre actual de la Cyanoprokaryota dominante en la mayoría de los cuerpos

de agua de la zona. El nombre previo, *Arthrospira maxima*, ha sido objeto de explotación para uso comercial y como complemento alimenticio bajo el nombre comercial de espirulina.

Microcystis flosaquae es formadora de florecimientos algales que pueden desplazar las comunidades por la alta densidad que alcanza. Tiene una distribución muy amplia en México y en el mundo; se ha documentado como productora de microcystina, un compuesto tóxico que afecta a organismos consumidores y a los vertebrados que beben agua que contiene este organismo (Vasconcelos *et al.*, 2010).

Peridinium cinctum es el primer registro de Dinophyta en la zona Texcoco. Hay registros de esta especie en cuerpos de agua cercanos del Estado y la Ciudad de México y en casi todos los estados de la región central de México. Es frecuente en aguas eutróficas.

Planktothrix agardhii también es formadora de florecimientos densos y potencialmente tóxica por la microcystina que produce. La distribución conocida en México incluye 10 estados desde Querétaro a Yucatán, siempre en aguas eutróficas.

De los registros previos resalta el número de diatomeas (220) y es debido al origen de estas como sedimen-

tos semifósiles o recientes, mientras que el resto de las algas (43) son parte de una flora que prácticamente ha desaparecido por los cambios en el uso del agua de los lagos y otros cuerpos de agua. Algunas de las especies registradas nunca se han vuelto a encontrar, como *Wittrockiella netzahualpillii* o *Euglena cyclopicola*, o con observaciones en lugares muy distantes. El cambio de una flora de algas no es un fenómeno común en condiciones estables, pero en los últimos 100 años en Texcoco ha habido un cambio en la forma como se adquiere el agua y también en el uso que se hace de ella, mantener su monitoreo nos permitirá ofrecer vías para la conservación de las especies y de la posible restauración del ambiente acuático a largo plazo.

Agradecimientos

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (DGAPA-PAPIIT-UNAM) por su apoyo al Proyecto IN229811. A Guadalupe Vidal de la Facultad de Ciencias por el curado de muestras, montaje de preparaciones semipermanentes y mantenimiento de los cultivos de algas.

Referencias

Abela Posada, LA. (2013). *Estudio taxonómico de ciliados epibiontes (Peritrichia y Suctorina) de insectos acuáticos de subcuencas endorreicas de la Faja Volcánica Transmexicana*. Fac. Ciencias, UNAM. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Aladro-Lubel, M. A., M. E. Martínez-Murillo y R. Mayén-Estrada. (1987). Lista de los ciliados bentónicos salobres y marinos registrados en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 58:403-448.

Aladro-Lubel, M.A., M. E. Martínez Murillo y R. Mayén Estrada. (1990). *Manual de ciliados psamófilos marinos y salobres de México (Cuadernos 9)*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 968-36-1632-1.

Aladro-Lubel, M. A., R. Mayén-Estrada y M. Reyes-Santos. (2006). Registro actualizado de ciliados, *Listados faunísticos de México*. (XI) agosto.

Aladro-Lubel, M. A., M. Reyes-Santos, F. Olvera-Bautista y M. N. Robles Briones. (2007). Ciliados y otros protozoos. En: A. Lot (Coord.) *Guía ilustrada de la Cantero Oriente: caracterización ambiental e inventario biológico*, Universidad Nacional Autónoma de México, México. p. 97-122.

Aladro-Lubel, M. A., M. Reyes-Santos y F. Olvera-Bautista. (2009). Diversidad de los protozoos ciliados. En: A. Lot y Z. Cano- Santana (eds.) *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*, Universidad Nacional Autónoma de México, México. p. 63-70.

Andruschchyshyn, O.P., K. Wilson y D. D. Williams. (2007). Ciliate communities in shallow groundwater season and spatial characteristics. *Freshwater Biology*. 52: 1745-1761.

Ballot, A., P. K. Dadheech, S. Haande y L. Krienitz. (2008). Morphological and phylogenetic analysis of *Anabaenopsis abijatae* and *Anabaenopsis elenkinii* (Nostocales, Cyanobacteria) from tropical inland water bodies. *Microbial Ecology*. 55: 608-618. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9304-4>

Bradbury, J. P. (1970). Diatoms from the Pleistocene sediments of Lake Texcoco, México. *Revue de Géographie physique et de géologie dynamique*. **12**: 161-168.

Bradbury, J. P. (1971). Paleolimnology of lake Texcoco, México. Evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography*. **16**: 180-200.

De Souza Santos, K. R., G. Scotta Hentschke, A. P. Dini Andreote, H. Dail Laughinghouse IV, A. Ballot, E. Novelo, M. F. Fiore y C. L. Sant'Anna. (2018). Polyphasic characterization of newly isolated *Anabaenopsis* (Cyanobacteria) strains from tropical Brazil and Mexico. *Phytotaxa*. **367**:1-12.

Desikachary, T.V. y N. Jeeji Bai. (1996). Taxonomic studies in *Spirulina* II. The identification of *Arthrospira* ("*Spirulina*") strains and natural samples of different geographical origins. *Algological Studies*. **83**: 163-178.

Díaz Lozano, E. (1917). Diatomeas fósiles del subsuelo del lago de Texcoco. *Anales del Instituto Geológico Nacional*. **4**: 24-27 + 22 lams.

Finlay, B. J., G. F. Esteban, S. Brown, T. Fenchel y K. Hoef-Emden. (2006). Multiple Cosmopolitan ecotypes within a microbial eukaryote morphospecies. *Protist*. **157**: 377-390.

Foissner, W. (2014). An update of "basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. **64**: 271-292.

Foissner, W., H. Berger y J. Schaumburg. (1999). *Identification and ecology of limnetic plankton ciliates*. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Alemania. ISBN 3-930253-79-8.

Galicia-García, C. y E. Novelo. (2000). *Cladophorella netzahualpillii* sp. nov. (Cladophorales, Ulvophyceae), a species reproducing by spores. *Phycologia*. **39**: 288-295.

Godínez Ortega, J. L., M. G. Oliva Martínez y M. A. Escobar Oliva. (2014). Presencia de *Ctenocladus* en el lago de Texcoco, México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Ficología*. **5**: 46-52. <http://boletin-sociedad-mexicana-ficologia.meridion.mx/Numeros/Num05.pdf>

Jones, A. R. (1974). *The Ciliates*. Hutchinson University Library, Reino Unido. ISBN: 978-0091173005.

López-Ochoterena, E. y M. T. Roure-Cane. (1970). Lista taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* **31**:23-68.

Lynn, D. H. (2017). Ciliophora. En: Archibald, J. M.; A. G. B. Simpson y C. H. Slamovits (Eds.). *Handbook of the protists*, Springer, Alemania. ISBN 978-3-319-28147-6.

Macek, M., D. Pestová y M. E. Martínez-Pérez. (2008). Seasonal and spatial dynamics of a ciliate assemblage in a warm monomictic Lake Alchichica. *Hidrobiológica*. **18**:25-35.

Madoni, P. (2000). The allocation of the ciliate *Drepanomonas revoluta* to its correct functional group in evaluating the sludge biotic index. *European Journal of Protistology*. **36**:465-471.

Martín-Cereceda, M., A. M. Álvarez, S. Serrano y A. Guinea. (2001). Confocal and light microscope examination of Protozoa and other microorganism in the biofilms from a rotating biological contactor wastewater treatment plant. *Acta Protozoologica*. **40**:263-272.

Mayén-Estrada, R., M. Reyes-Santos, C. Durán-Ramírez, F. Olvera-Bautista, M. Vicencio-Aguilar y V. Romero-Niembro. (2020). Protistas ciliados y flagelados heterótrofos (Informe final, proyecto no. KT003) SNIB-CONABIO. México. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfKT003.pdf>

Mieczan, T. (2008). Influence of emergent and submerged macrophytes on the structure of planktonic ciliate communities in shallow freshwater lakes (Eastern Poland). *International Review of Hydrobiology*. **93**: 269-283.

Mironova, E., I. Telesh y S. Skarlato. (2012). Diversity and seasonality in structure of ciliate communities in the Neva Estuary (Baltic Sea). *Journal of Plankton Research*. **34**:208-220.

Novelo, E. y R. Tavera [en línea]. (2022). *bdLACET Base de datos de algas continentales*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. <https://bdlacet.mx>. (Consultada el 22 de octubre de 2022).

Ortega, M. M. (1972). Estudio de las algas comestibles del Valle de México. *Revista Latinoamericana de de Microbiología* **14**: 85-97.

Ramírez Nava, M. (2002). *Cambios paleolimnológicos en el lago de Texcoco durante los últimos ca. 34,000 años con base al análisis de diatomeas*. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Ramírez Nava, M. (2005). *Modelo de una base de datos biológica aplicado al análisis de la distribución ambiental de las diatomeas de un registro paleolimnológico del lago de Texcoco*. Tesis para obtener el Grado de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Sacristán-de Alva, M., V. M. Luna-Pabello, E. Cadena-Martínez y A. F. Alva-Martínez. (2014). Producción de biodiésel a partir de microalgas y una cianobacteria cultivadas en diferentes calidades de agua. *Agrociencia*. **48**: 271-284. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000300003

Sámamo Bishop, A. (1934). Contribución al conocimiento de las algas verdes de los lagos del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México*. **5**: 149-173.

Stout, J. D. (1978). Effect of irrigation with municipal water or sewage effluent on the biology of soil cores. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. **21**: 11-20.

Vasconcelos, V., A. Martins, M. Vale, A. Antunes, J. Azevedo, M. Welker, O. Lopez y G. Montejano. (2010). First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon*. **56**(3):1-7.

Wiackowski, K., A. N. Ventela, M. Moilanen, V. Saarikari, K. Vuorio y J. Sarvala. (2001). What factors control planktonic ciliates during summer in a highly eutrophic lake?. *Hydrobiologia*. **443**: 43-57.

Wörner, U., H. Zimmermann-Timm y H. Kausch. (2000). Succession of protists on estuarine aggregates. *Microbial Ecology*. **40**: 209-222.

Ymas González, I., I. Revilla Alcázar y D. Prieto Trueba. (2009). Evaluación de la contaminación de la Presa Ejército Rebelde, Ciudad de La Habana, Cuba, mediante el empleo de protozoos como bioindicadores. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. **26**: 37-42.



Colores en el PELT

Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco

© Mizrain Sánchez, mayo 2023

Lista de fotografías

Mizrain Sánchez

- | | |
|---|------------|
| Lago de Texcoco y el cambio climático
Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
octubre 2023 | <u>6</u> |
| Los Amealcos
Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
marzo 2024 | <u>10</u> |
| Tequesquite tepalcate
El Amealco, Sta. Isabel Ixtapan, Atenco
enero 2023 | <u>14</u> |
| Recolectores de tequesquite
Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
febrero 2024 | |
| Pan de muerto masa / horno / cocido
Col. Nueva Santa Rosa, Atenco
octubre 2023 | <u>109</u> |
| Espirulina PELT
Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
julio 2022 | <u>156</u> |
| Espirulina en hojuelas
Col. Nueva Santa Rosa, Atenco
agosto 2023 | |

De las casas a la ciénega

Canal Salado, Atenco / Acolman
abril 2022

178

Río San Juan

Río San Juan Teotihuacan,
Ixtapan / Nexquipayac
febrero 2024

Colores en el PELT

Parque Ecológico Lago de Texcoco, Atenco
mayo 2023

205

El cuidado de la edición de la presente
obra se realizó en Malacachtepec Momoxco
(Milpa Alta), Ciudad de México.

Diciembre 2024

El tiraje constó de 1 ejemplar.

ISBN: 978-607-99588-5-5



9 786079 958855

ISBN: 978-607-99588-4-8



9 786079 958848



Universidad Autónoma
CHAPINGO



KIKULTICH
FUNDACIÓN DE NUESTRAS RAÍCES A.C.

