



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación



SECRETARIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PRESENCIA FÚNGICA EN AGUA DE LA LAGUNA DE MANDINGA
VERACRUZ Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE
CONTAMINACIÓN.**

TESIS

QUE COMO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

ESCALANTE MARTÍNEZ ERIKA GRISSELL

DIRECTOR DE TESIS

DRA. ITZEL GALAVIZ VILLA

CO-DIRECTOR

DRA. ROSA IRENE LAGUNES APODACA

ASESORES

DRA. MARÍA LAURA NAVARRO DE LA FUENTE

DRA. ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO

NOVIEMBRE, 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 ext. 113 depi_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL RÍO



ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-01408-170122

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:00 horas del día 17 del mes de noviembre de 2023 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

“PRESENCIA FUNGICA EN AGUA DE LA LAGUNA DE MANDINGA VERACRUZ Y SU RELACION CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACION”

Que presenta el (la) alumno(a):

ESCALANTE MARTINEZ ERIKA GRISELL

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

DRA. ITZEL GALAVIZ VILLA
Director

DRA. ROSA IRENE LAGUNES APODACA
Co-Director

DRA. MARÍA LAURA NAVARRO DE LA FUENTE
Asesor

DRA. ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO
Asesor





Boca del Río, Ver **23/NOVIEMBRE/2023**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**ESCALANTE MARTINEZ ERIKA GRISSELL
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

**“PRESENCIA FUNGICA EN AGUA DE LA LAGUNA DE MANDINGA VERACRUZ Y SU
RELACION CON LAS FUENTES PUNTALES DE CONTAMINACION”**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente





Boca del Río, Veracruz, **21/noviembre/2023**

Asunto: **CESIÓN DE DERECHOS Y NO PLAGIO.**

H. CONSEJO DE POSGRADO

PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO PRESENTE

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los **21** días del mes **noviembre** de **2023**. El que suscribe **Erika Grissell Escalante Martínez** por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: **Presencia fúngica en agua de la laguna de Mandinga Veracruz, y su relación con las fuentes puntuales de contaminación** (en lo sucesivo la "TESIS") manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el "TecNM"). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la "TESIS" se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la "TESIS" es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la "TESIS" en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del "TecNM", adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.





- IV. El TecNM podrá exhibir la “TESIS” a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la “TESIS” por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el “TecNM”.
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: grissell_escalante@hotmail.com.

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

Erika Grissell Escalante Martínez

c.c.p. Archivo



RESUMEN

Los hongos desempeñan un papel importante en el ciclo de los nutrientes. El objetivo estudio en determinar la relación entre la presencia de hongos potencial toxigénico en agua de la Laguna de Mandinga Veracruz asociada a las fuentes puntuales de contaminación. La identificación se realizó mediante aislamiento directo y por métodos moleculares. Se aislaron los géneros *Cladosporium*, *Fusarium*, *Purpureocillium*, *Penicillium*; *Neopestalotiopsis* y *Cladosporium* y 4 especies se determinaron mediante secuenciación, *Cladosporium xanthochromaticum*, *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Purpureocillium lavendulum*. El mayor número de especies fúngicas aisladas pertenece al género *Cladosporium* sp., el cual al igual que *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp., producen esporas que pueden ser incorporados vía tracto respiratorio, causando problemas de salud como alergias, asma y micosis a pobladores de la zona.

Palabras clave: hongos filamentosos, fuentes puntuales de contaminación, micotoxinas.

ABSTRACT

Fungi play an important role in nutrient cycling. The aim of this study was to determine the relationship between the presence of potentially toxigenic fungi in the water of the Mandinga Veracruz Lagoon associated with point sources of contamination. Identification was carried out by direct isolation and by molecular methods. The genera *Cladosporium*, *Fusarium*, *Purpureocillium*, *Penicillium* were isolated; *Neopestalotiopsis* and *Cladosporium* and 4 species were determined by DNA sequencing, *Cladosporium xanthochromaticum*, *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Purpureocillium lavendulum*. The largest number of isolated fungal species belongs to the genus *Cladosporium* sp., which, like *Penicillium* sp. and *Fusarium* sp., produce spores that can be incorporated via the respiratory tract, causing health problems such as allergies, asthma and mycosis to residents of the area.

DEDICATORIA

A mi Mamá Cholita† y mi Papá Chino, por su inmensurable amor.

A mi esposo, César Isaac, por su motivación y amor infinitos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca número 1149486 otorgada para la realización de mis estudios de Posgrado.

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) - Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero, por la Licencia-Beca-Comisión otorgada realizar mis estudios de Posgrado y contribuir a mi formación profesional.

Al Comité de Posgrado del TecNM - Instituto Tecnológico de Boca del Río, por la oportunidad para realizar mis estudios de Posgrado en la generación 2021-2023.

Al Centro de Investigación en Micología Aplicada (CIMA) de la Universidad Veracruzana, por el apoyo recibido durante el desarrollo de la parte experimental de mi Tesis.

A mi Comité Tutorial, Dra. Itzel Galaviz Villa, Dra. Irene Lagunes Apodaca y Dra. Laura Navarro de la Fuente, por su guía, enseñanzas, motivación y paciencia para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Ing. Limni Ramírez por su acompañamiento durante desarrollo de la parte experimental de este proyecto.

A la familia Valencia-López, Madrina Socorro, Enrique y Pepe, por que siempre me hicieron sentir como una hija más.

A la familia Bazán-Méndez, Papá Pepe y Mamá Male[†], Magda y Saúl Núñez Méndez, Iara Nara, Fermio y Adriana., por incluirme en su familia.

A mi suegra, Guadalupe Bazán, por su amor de madre.

A mis primos Saúl, Natalia, José Francisco, Said y Nara Aixa, sigan creciendo en valores, sean las mejores personas que puedan ser, los quiero.

A mi madre, Isabel Martínez, y mis hermanas Jasmine e Irma, mis sobrinos, Andrew, Helena y Emiliano, por su amor.

A mis amigas, Erika y Liz, a mis amigos de generación Fernanda, Uriel, David y Siuly, a mis amigos del laboratorio, Erika Michel y Paola y a todos los que me dieron una palabra de aliento durante este proceso.

ÍNDICE GENERAL

	Página.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	3
2.1 Lagunas Costeras	3
2.2 Lagunas Costeras del Golfo de México	4
2.2.1. Contaminación de lagunas costeras	6
2.2.2 Tipos de contaminación	6
2.2.2.1 Contaminación por nutrientes	7
2.2.2.2 Contaminación por sedimentos	7
2.2.2.3 Contaminación por aguas residuales	8
2.2.3 Fuentes puntuales de contaminación	8
2.2.4 Vulnerabilidad de los recursos pesqueros a la contaminación	9
2.3 Los hongos y el medio ambiente	10
2.3.1 Importancia de los hongos en los ecosistemas acuáticos	11
2.3.2 Condiciones de crecimiento o proliferación	12
2.3.3 Micotoxinas	12
2.3.3.1 Riesgos para la salud	13
III. MARCO DE REFERENCIA	15
3.1 Antecedentes	15
3.1.1 Sistema Lagunar Mandinga	15
3.1.2 Hongos asociados a fuentes puntuales de contaminación y sus efectos.	16
3.1.2.1 Producción de micotoxinas	17
IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
4.1 Situación problemática	18
4.2 Planteamiento del problema	19
4.3 Pregunta de investigación	19
4.4 Justificación	19
V. HIPÓTESIS	22
VI. OBJETIVOS	22
6.1 Objetivo General	22
6.2 Objetivos particulares	22

VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
	7.1 Sitios de muestreo	23
	7.2 Recolección de muestra	24
	7.2.1 Aislamiento y crecimiento micelial	25
	7.2.2 Cultivo monospórico	25
	7.2.3 Identificación morfológica	25
	7.2.4 Identificación molecular	26
VIII.	Resultados y discusiones	28
	8.1 Identificación morfológica de cepas fúngicas	28
	8.2 Identificación molecular de aislados fúngicos	35
IX.	CONCLUSIONES	36
X.	REFERENCIAS	38
XI.	APÉNDICE	49
	Apéndice I. Secuenciación de aislados.	49
	Apéndice II. Protocolo de extracción de ADN del Centro de Investigación en Micología Aplicada.	52
	Apéndice III. Protocolo de purificación de ADN.	54
	Apéndice IV. Memoria fotográfica.	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Calidad fisicoquímica del agua del Sistema Lagunar de Mandinga (Vázquez-Botello et al., 2019).	16
Cuadro 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el Sistema Lagunar Mandinga, Veracruz.	23
Cuadro 3. Identificación molecular de los aislamientos fúngicos. Se muestran los números de acceso de las secuencias del GenBank que dieron mayor porcentaje de identidad.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. a) Lagunas costeras por regiones en México según de Lankford (1977). b) Lagunas costeras por vertiente según Castañeda & Contreras (2003).	4
Figura 2. Lagunas costeras del Golfo de México Contreras-Espinosa et al. (1994).	5
Figura 3. Diversidad de estructuras de las esporas de los hongos (INECOL, 2023).	11
Figura 4. Localización del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz (Aldeco et al., 2015).	15
Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo dentro del Sistema Lagunar Mandinga, Veracruz.	24
Figura 6. Aislado CIMA_IL001 identificado como género <i>Neopestalotiopsis</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de <i>Neopestalotiopsis</i> sp. (100X).	28
Figura 7. Aislado CIMA_IL002 identificado como género <i>Cladosporium</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Frente, c) Estructuras reproductivas de <i>Cladosporium</i> sp. (100X).	29
Figura 8. Aislado CIMA_IL003 identificado como género <i>Fusarium</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de <i>Fusarium</i> sp. (100X).	30
Figura 9. Aislado CIMA_IL004 identificado como género <i>Cladosporium</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de <i>Cladosporium</i> sp. (100X).	30
Figura 10. Aislado CIMA_IL005 identificado como género <i>Cladosporium</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de <i>Cladosporium</i> sp. (100X).	31
Figura 11. Aislado CIMA_IL006 identificado como género <i>Purpureocillium</i> . Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Estructuras reproductivas de <i>Purpureocillium</i> sp. (100X).	31
Figura 12. Crecimiento de aislado CIMA_IL007 en medio PDA. a) Frente, b) Reverso.	31

Figura 13. Aislado CIMA_IL008 identificado como género *Penicillium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Estructuras reproductivas de *Penicillium* sp. (100X). 33

I. INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es una región marina única en la que se llevan a cabo procesos muy complejos y dinámicos que relacionan la atmósfera y el océano, como los frentes fríos o “nortes” y huracanes, que modifican constantemente los ecosistemas costeros contenidos en el golfo, haciéndolo un sistema ambientalmente heterogéneo, con gran riqueza de formas de vida e importantes recursos energéticos y pesqueros (Ortiz-Lozano et al., 2010).

Las lagunas costeras son importantes por la diversidad biológica que albergan y por sus características físicas y ambientales particulares. Las funciones de un humedal costero son los procesos ecológicos naturales y su importancia en el balance dinámico biogeoquímico de la cuenca o de la zona geográfica donde se encuentran. Son ecosistemas cambiantes, con gran biodiversidad y altamente productivos, brindan importantes servicios ambientales al ser humano, ayudan a mitigar inundaciones, controlan la erosión, retienen sedimentos, sustancias tóxicas y nutrientes, almacenan carbono y proveen servicios de transporte y recreación, productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas, y retención de dióxido de carbono. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) destacan a los ecosistemas costeros como uno de los más valiosos a nivel mundial, debido a sus funciones ecológicas y por ser hábitat de una alta biodiversidad (Ortiz-Lozano et al., 2010; Rivera Arriaga et al., 2010; Sánchez et al., 2007).

La alteración en la calidad del agua de los ecosistemas costeros puede ocasionar serios problemas de salud pública y afectación de actividades como la acuicultura, la pesca y el turismo, considerando que el nivel de contaminación microbiológica registrada rebasa considerablemente en muchos casos, los niveles permisibles establecidos por la normatividad mexicana (Botello et al., 2005; Moreno-Casasola et al., 2002).

El Sistema Lagunar Mandinga se encuentra ubicado en el estado de Veracruz, en el Golfo de México; este ecosistema sufre de una fuerte presión demográfica debida al crecimiento de la mancha urbana de los municipios colindantes (Boca del Río, Medellín y Alvarado) que están prácticamente rodeando a este ecosistema con actividades de desarrollos urbano y desarrollo turísticos lo que ha traído consigo el cambio de uso de suelo del área aledaña al manglar para la construcción de centros comerciales, fraccionamientos y la ampliación de los asentamientos humanos. Como consecuencia, esta zona sufre de problemas de contaminación del agua por descargas de aguas negras, lixiviados de los desechos sólidos, y contaminación difusa, además de la sobreexplotación pesquera (Lara-Domínguez et al., 2009). La presencia de hongos en

aguas residuales indica una contaminación significativa y puede representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Samson et al., 2004).

La presencia de hongos en los ecosistemas acuáticos puede alterar el equilibrio ecológico y la diversidad de especies; al competir con otras formas de vida acuática, los hongos pueden afectar negativamente la biodiversidad y la estructura del ecosistema (Gleason et al., 2017; Smaoui et al., 2023). Así también, la presencia de hongos puede generar riesgos a la salud humana debido a que algunas especies producen toxinas que son perjudiciales para la salud humana al consumirse (Samson et al., 2004). El riesgo biológico de las aguas residuales está relacionado con los agentes patógenos susceptibles de ser transportados por las aguas residuales, cuya naturaleza depende de su origen, condiciones climáticas, y de las enfermedades endémicas de las personas y animales de la zona.

Existe un vacío crucial de información acerca de la presencia de toxinas vegetales y la ocurrencia de micotoxinas en aguas naturales y embalses de agua potable (Pierce & Ward, 2019). Aunque las comunidades de hongos acuáticos responden a la contaminación, solo algunos estudios han evaluado cuantitativamente el efecto de la contaminación del agua dulce en la diversidad y composición de hongos en los sistemas tropicales (Ortiz-Vera et al., 2018).

II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Lagunas Costeras

La República Mexicana está rodeada por un litoral de 12,018 Km, de los cuales 3 294 Km pertenecen al litoral del Golfo de México y Mar Caribe (CONABIO, 2023). Las costas se encuentran en constante transformación debido a la dinámica natural de la Tierra como las corrientes marinas, el viento, el oleaje e incluso por la actividad humana. La importancia de las zonas costeras es estratégica, albergan una alta diversidad de actividades económicas que suelen presentar conflictos por el uso y apropiamiento de los recursos naturales como el agua, suelo y paisaje; siendo las lagunas costeras uno de los ecosistemas más importantes.

Las lagunas costeras se definen geomorfológicamente como depresiones por debajo del promedio máximo de las mareas más altas, siempre protegidas de las fuerzas del mar por algún tipo de barrera de tipo hidrodinámica o física; esto es con comunicación permanente o efímera con el mar. Debido a la influencia de agua dulce y salada, son generalmente ambientes salobres, con un gradiente salino que disminuye de la comunicación con el mar hacia las desembocaduras internas de los ríos. Los patrones de corrientes internas ocasionan la acumulación de los materiales orgánicos e inorgánicos, esto favorece la permanencia de material autóctono con el cual las lagunas costeras se convierten en trampas de materia y por tanto, en términos geológicos, se asolvan (Castañeda-López & Contreras-Espinosa, 2003; Contreras-Espinosa & Castañeda-López, 2004; de la Lanza et al., 2013; Lankford, 1977). En México, se ha reportado la existencia de entre 123 y 128 lagunas costeras que de acuerdo con sus orígenes han sido ubicadas en 7 regiones (A-G) (Figura 1a). Sin embargo, estos sistemas costeros se encuentran conformados y/o asociados a cuerpos acuáticos más pequeños que a la fecha suman 639 (Figura 1b).

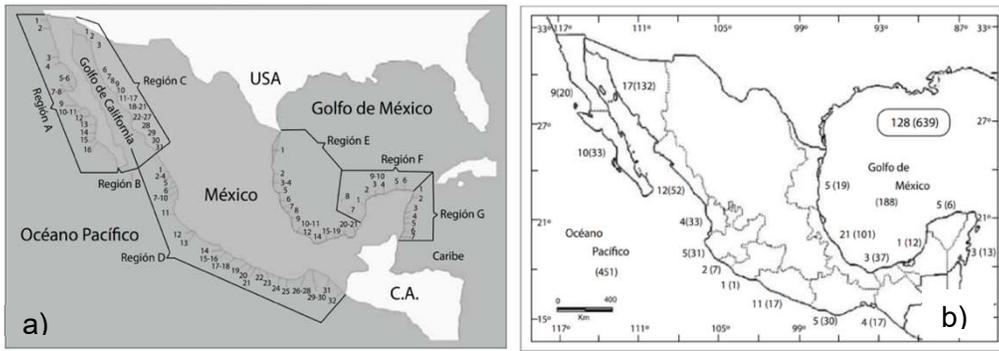


Figura 1. a) Lagunas costeras por regiones en México según de Lankford (1977). b) Lagunas costeras por vertiente según Castañeda-López & Contreras-Espinosa (2003).

2.2 Lagunas Costeras del Golfo de México

Algunas de las lagunas más importantes del Golfo de México (Figura 2), son: laguna Madre en Tamaulipas; lagunas de Pueblo Viejo, El Llano, Tamiahua, Tampamachoco, Casitas, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapa en Veracruz; laguna de El Carmen-Machona y Mecoacán y la zona pantanosa más importante del país: Centla (declarada como Reserva de la Biosfera en 1993) en Tabasco; laguna de Términos en Campeche; laguna de Celestún y Río Lagartos en Yucatán (Castañeda-López & Contreras-Espinosa, 2003; Cruz, 2011).

El estado de Veracruz cuenta con múltiples sistemas lagunares y estuarios costeros que son altamente aprovechados por la población. Uno de los ecosistemas predominantes son los manglares, los cuales son de suma importancia para los seres humanos y para el mantenimiento de la biodiversidad marino-costera, pues al ser una barrera natural protege a las comunidades costeras de eventos climáticos extremos como los huracanes e inundaciones, reducen la erosión del suelo y estabilizan las costas (PNUD, 2018). Además, realizan una importante actividad de biorremediación, por lo cual son protegidos por leyes ambientales como la NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.

Veracruz ocupa el quinto lugar en extensión de los ecosistemas lagunario-estuarinos con el 7.4 % del porcentaje nacional, cubriendo originalmente cerca de 800 Km de litoral del estado de Veracruz, lo que constituye un reservorio de biodiversidad representada por manglares, pantanos, marismas, y vegetación acuática sumergida; lo que conforman un hábitat de crianza y protección de las diferentes etapas del ciclo de vida de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce (Vázquez & Martínez, 2022). Algunos han sido detectados por todas las iniciativas de identificación y priorización de ecosistemas críticos por ser hábitat importante de aves migratorias que llegan del norte del continente, así como de diversas especies endémicas y en peligro de extinción (Buendía et al., 2021).



Figura 2. Lagunas costeras del Golfo de México Contreras-Espinosa et al. (1994).

2.2.1. Contaminación de lagunas costeras

La falta de planificación en el desarrollo urbano, industrial y turístico de las ciudades, así como el desarrollo de las actividades agrícolas, ganaderas y acuícolas, han ocasionado la contaminación, desplazamiento y reducción de grandes áreas de manglar; además de cambios en las condiciones hidrológicas de la zona costera. Los residuos sólidos municipales, los contaminantes industriales, pesticidas y fertilizantes agrícolas, derrames de petróleo, entre otros; han afectado el equilibrio ecológico en las lagunas costeras (PROFEPA, 2014). El cambio de uso de suelo es otro factor que vulnera los ecosistemas costeros a los efectos de fenómenos naturales como los huracanes, ya que frecuentemente no se considera la reforestación y recuperación de las zonas de manglar como parte de las estrategias de restablecimiento (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013).

2.2.2 Tipos de contaminación

La evaluación de la contaminación en lagunas costeras implica la ubicación, detección y cuantificación de los principales elementos contaminantes. Esto, debido al desarrollo de actividades económicas y productivas que han generado la degradación de los ecosistemas debido a la presencia de altas concentraciones de materia orgánica, metales pesados (cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel, vanadio, zinc), polihidroxicarboxilatos (PHAs), y pesticidas organoclorados, provenientes de escorrentías y descargas domiciliarias e industriales, entre otras (Guzmán-García et al., 2009; Pérez-Cruz et al., 2013).

Las actividades que amenazan el equilibrio de las lagunas costeras son: la descarga de aguas residuales en los ríos, el arrastre de sedimentos provocado por la deforestación en las cuencas altas, escorrentías de zonas agrícolas con concentraciones de fertilizantes y sedimentos que generan eutrofización y florecimientos de algas tóxicas; construcción de escolleras que alteran la dinámica natural de cierre y apertura de su conexión con el mar; construcción de carreteras que

modifican el flujo natural de agua y generan mortandad de peces, entre otros (Rodríguez-Varela et al., 2020; Vázquez & Martínez, 2022).

2.2.2.1 Contaminación por nutrientes

Debido a su condición de ambiente costero y ecosistema terminal de las cuencas hidrográficas, una gran cantidad de nutrientes son exportados hacia aguas marinas a través de los cuerpos lagunares. El acarreo de sedimentos y las altas concentraciones de materia orgánica, fertilizantes, plaguicidas, y metales pesados presentes en el suelo deterioran la calidad del (Bianchi & Harter, 2002; Gaxiola, 2011). La contaminación por exceso de nutrientes en el agua provoca un desequilibrio ecológico que consiste en la proliferación de las poblaciones de algas y plantas acuáticas llamado eutrofización. Las plantas y algas en número excesivo enturbian las aguas, impidiendo el paso de luz para otros organismos, y cuando mueren abaten el oxígeno disuelto durante su descomposición. Algunas de las algas que resultan favorecidas contienen, incluso, sustancias tóxicas dañinas para los seres humanos, el ganado y los animales silvestres. Esta condición afecta la calidad del agua y obstaculiza, entre otras cosas, el aprovechamiento de este recurso para la pesca, la recreación, la industria y el consumo humano (SEMARNAT, 2023).

2.2.2.2 Contaminación por sedimentos

El incremento en la sedimentación también causa el azolve de presas, lagos y ríos, con lo que se disminuye su capacidad de almacenamiento y se incrementa el riesgo de inundación de los terrenos aledaños (Daily, 2000; Revenga et al., 2000). En este sentido, la erosión del suelo representa un indicador de presión sobre la calidad de las fuentes de agua superficiales. Los metales pesados tienen una importante fuente en las actividades de origen antropogénico y constituyen un peligro para la biota acuática y también para el ser humano, además de representar un factor de deterioro de la calidad hídrica y ambiental. Los sedimentos ribereños, son uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como fuentes secundarias de

contaminación de los cuerpos de agua. Esto representa un serio problema de salud para los habitantes de las poblaciones que se sirven de dichos cuerpos de agua (Mayo-Alcudia et al., 2021).

2.2.2.3 Contaminación por aguas residuales

Las localidades que se encuentran aledañas al Sistema Lagunar Mandinga no cuentan con servicio de drenaje (Lara-Domínguez et al., 2009). La descarga de aguas residuales municipales es indicativa de la magnitud de la presión antrópica ejercida sobre la calidad de los cuerpos de agua, sobre todo de los superficiales, dado que se vierten directamente sobre ellos, en su mayor parte sin previo tratamiento. En las áreas urbanas, las redes de drenaje están diseñadas para coleccionar las aguas residuales provenientes de viviendas, oficinas y negocios, que desalojan por este medio materia orgánica en forma de desechos humanos y restos de comida, así como toda clase de sustancias provenientes de los productos de limpieza y mantenimiento, como son: detergentes, papel, pinturas, aceites y solventes. Los sistemas de drenaje también coleccionan las aguas pluviales que escurren por el pavimento, jardines, parques y lotes baldíos, arrastrando a su paso sólidos orgánicos e inorgánicos, así como desechos de animales y demás fauna urbana (Carabias & Landa, 2007; SEMARNAT, 2023).

2.2.3 Fuentes puntuales de contaminación

Las fuentes puntuales de contaminación son efluentes de agua residual fácilmente identificables, por ejemplo; una descarga al final de una tubería o un canal. Entre las fuentes puntuales de contaminación se incluye a los efluentes de agua residual municipal e industrial, siempre y cuando exista una estructura que permita su identificación y caracterización. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2023) describe una fuente puntual como una fuente de contaminación identificable desde la cual se descargan contaminantes producto de actividades domésticas, ganaderas o industriales: residuos sólidos, tanques de almacenamiento de combustible

defectuosos, pozos mal contruidos o abandonados, entre otros. Tanto en México como en otras partes del mundo, este tipo de efluentes tienen la característica de estar regulados y requieren permisos de descarga, pues esto facilita su monitoreo. De esta forma, se puede mantener su vigilancia a fin de cumplir las normativas vigentes para identificar posibles incumplimientos que causen riesgos de contaminación en los cuerpos receptores. La contaminación que resulta de las fuentes puntuales es relativamente más fácil de regular y controlar a diferencia de las fuentes difusas, las cuales permanecen como la fuente dominante de contaminación (Bravo-Inclán et al., 2013; Galaviz-Villa & Sosa-Villalobos, 2019).

2.2.4 Vulnerabilidad de los recursos pesqueros a la contaminación

El ostión americano (*Crassostrea virginica*) es un recurso de gran importancia económica y social en el Golfo de México, principalmente en Tamaulipas, Veracruz y Tabasco. Este molusco bivalvo es un organismo filtrador capaz de acumular metales pesados, material radioactivo, biotoxinas y microorganismos patógenos, pudiendo causar al hombre severas intoxicaciones o enfermedades (Baquero-Cárdenas et al., 2007), por lo que la determinación de los contaminantes en los tejidos de los moluscos es un indicador indiscutible de su presencia en el medio (Romero, 2011).

El ostión *C. virginica* además de ser una de las especies de moluscos en México que está siendo afectada directa e indirectamente por el cúmulo de desechos humanos, hidrocarburos y plaguicidas, también se enfrenta a especies invasoras, daños genéticos y la sobreexplotación; lo que ha modificado la distribución de la especie (Castillo-Rodríguez, 2014). De acuerdo con INAPESCA (2021), es importante reportar los efectos y riesgos probables de la presencia de agentes patógenos nativos e introducidos en los ecosistemas que afectan al ostión, ya que puede generar riesgos a la salud humana.

La seguridad alimentaria es una de las contribuciones más importantes de los ecosistemas costeros a la salud humana. Los humedales también ofrecen productos que constituyen la base de los ingresos de subsistencia para las comunidades locales. Las alteraciones de los ecosistemas de humedales debidas a la actividad humana pueden provocar una disminución de la capacidad de estos para prestar alguno de los distintos servicios de los ecosistémicos que prestan al ser humano (Ramsar, 2010). Casi la mitad de la población del planeta, esto es 3 000 millones de personas aproximadamente, dependen de los recursos marinos como su fuente principal de proteína. Por lo cual, en el Objetivo De Desarrollo Sostenible número 14 (Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible), se reconoce la importancia de los recursos marinos y tiene por finalidad principal reducir la contaminación, gestionar y utilizar sosteniblemente los ecosistemas costeros, reducir la pesca excesiva y conservar al menos el 10% de las zonas costeras y marinas al año 2020 (RAMSAR, 2018).

2.3 Los hongos y el medio ambiente

Los hongos incluyen una amplia variedad de organismos, como las setas comestibles, las levaduras utilizadas en la fermentación y los mohos que crecen en alimentos o ambientes húmedos (Blackwell, 2011). Se estima que el rango real es de 2.2 a 3.3 millones (Hawksworth y Lücking, 2017). A pesar de esta gran diversidad solo se conoce alrededor del 8%, con un total aproximado de 120,000 especies reconocidas hasta el 2017 (Hawksworth y Lücking, 2017).

La gran mayoría son organismos filamentosos y la producción de esporas es característica del reino Fungi en general. Los hongos pueden crecer en forma de filamentos llamados hifas, que se ramifican y forman una red llamada micelio, las esporas pueden ser redondas, ovaladas, curvas, asimétricas, estrelladas, tabicadas; con paredes adornadas, aladas, con “espinas”, o rugosidades (Figura 3) (INECOL, 2023). El micelio puede crecer sobre superficies sumergidas, como rocas,

troncos o plantas acuáticas. También pueden formar estructuras reproductivas como esporas o cuerpos fructíferos que les permiten dispersarse y reproducirse. Estas esporas pueden ser transportadas por aire, agua o insectos (Ayala, 2007). Algunos hongos causan reacciones alérgicas y problemas respiratorios. Y otros hongos, en las condiciones adecuadas, producen “micotoxinas”, sustancias venenosas que pueden afectar la salud humana (Santillán-Mendoza et al., 2017).

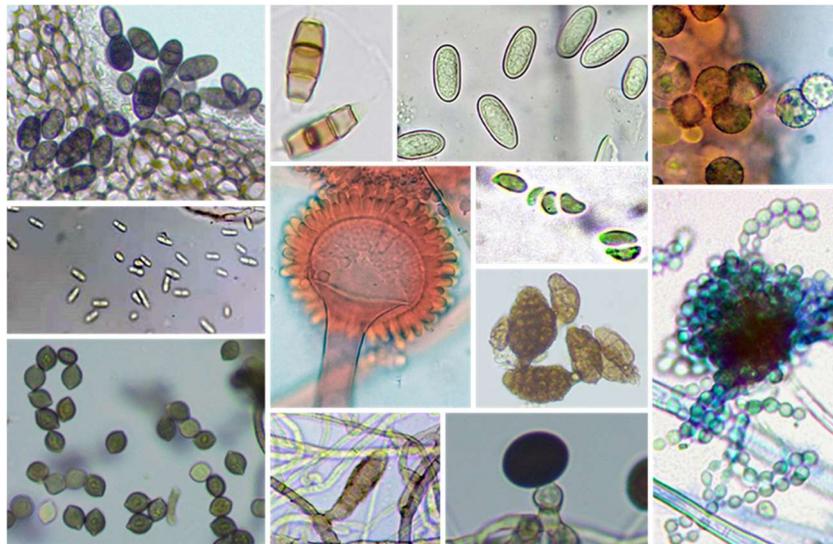


Figura 3. Diversidad de estructuras de las esporas de los hongos (INECOL, 2023).

2.3.1 Importancia de los hongos en los ecosistemas acuáticos

Los hongos pueden crecer en diferentes ambientes, incluyendo el acuático. En el medio ambiente acuático, los hongos pueden crecer en cuerpos de agua como lagos, lagunas, ríos, estanques y océanos. Los hongos se adaptan a vivir en el agua y tienen características especiales que les permiten sobrevivir y reproducirse en este entorno (Fernández et al., 2010). Algunos hongos acuáticos son saprófitos, lo que significa que se alimentan de materia orgánica en descomposición, como plantas muertas y animales. Otros hongos son parásitos, obteniendo nutrientes de organismos vivos como algas o plantas acuáticas (Steciow, 1998).

Es importante destacar que los hongos desempeñan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos, ya que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y participan en ciclos biogeoquímicos (Fuentes-Cruz, 2022). Además, algunos hongos acuáticos son utilizados en la industria alimentaria y medicinal debido a sus propiedades beneficiosas (Wasser & Weis, 1999).

2.3.2 Condiciones de crecimiento o proliferación

Los hongos se encuentran prácticamente en todo el medio ambiente y pueden ser detectados, tanto en los interiores como en exteriores, durante todo el año. El crecimiento de hongos es promovido por condiciones cálidas y húmedas. En el exterior, pueden encontrarse en áreas oscuras, húmedas o en lugares donde hojas y otra vegetación se descomponen. En el interior, éstos pueden encontrarse donde los niveles de humedad son elevados (USDA, 2022).

2.3.3 Micotoxinas

Las micotoxinas son sustancias tóxicas producidas por hongos que pueden contaminar alimentos y piensos. Estas toxinas son producidas por ciertos tipos de hongos, como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, que pueden crecer en condiciones de humedad y temperatura adecuadas (Picardo et al., 2019). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2023) estima que un 25% de las cosechas a nivel mundial son afectadas por las micotoxinas, de las cuales las aflatoxinas son las más notorias.

Se han identificado varios cientos de micotoxinas, pero las más frecuentes que suponen un problema para la salud humana y del ganado con las aflatoxinas, la ocratoxina A, la patulina, las fumonisinas, la zearalenona y el nivalenol y desoxinivalenol. Las micotoxinas aparecen en la cadena alimentaria a consecuencia de la infección de los cultivos por mohos, sea antes o después de la cosecha (Ramos-Girona et al., 2020).

La ocratoxina A, producida por varias especies de *Aspergillus* y *Penicillium*, es una micotoxina común que contamina en todo el mundo alimentos como los cereales y sus productos, los granos de café, las pasas, el vino y el jugo de uva, las especias y el regaliz. La ocratoxina A se forma durante el almacenamiento de los cultivos y se sabe que causa una serie de efectos tóxicos en diferentes especies animales. La patulina es una micotoxina producida por distintos mohos, especialmente *Aspergillus*, *Penicillium* y *Byssoschlamys*. A menudo se encuentra en manzanas podridas y productos de manzana, pero también puede aparecer en varias frutas enmohecidas, granos y otros alimentos. Los hongos del género *Fusarium* son comunes en el suelo y producen varias toxinas diferentes, entre ellas tricotecenos como nivalenol y desoxinivalenol, toxinas T-2 y HT-2, zearalenona y fumonisinas. Diferentes toxinas de *Fusarium* se asocian con ciertos tipos de cereales (Ayala, 2007).

2.3.3.1 Riesgos para la salud

Las micotoxinas pueden ingresar a los humanos y animales mediante la ingesta directa, inhalación y contacto con la piel, lo que implica ciertas amenazas para la salud de los seres humanos y los animales. Algunas de las micotoxinas más conocidas incluyen las aflatoxinas, la ocratoxina, las fumonisinas y la zearalenona. La exposición a estas micotoxinas puede provocar problemas de salud como intoxicaciones agudas o crónicas, trastornos del sistema nervioso, daño hepático, nefrotoxicidad, inmunosupresión y carcinogenicidad (Xie, 2018). Además, pueden afectar negativamente la calidad de los alimentos y piensos, reduciendo su valor nutricional y causando pérdidas económicas significativas (WHO, 2023).

De los varios cientos de micotoxinas identificadas hasta ahora, unas doce han llamado más la atención debido a sus efectos graves en el ser humano y su frecuencia en los alimentos. Las aflatoxinas, producidas por los mohos *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* que crecen en el suelo, la vegetación en descomposición, el heno y los cereales, se encuentran entre las micotoxinas

más tóxicas. Los cultivos más afectados por *Aspergillus* spp. son los cereales (maíz, sorgo, trigo y arroz), las semillas oleaginosas (soja, cacahuete, girasol y algodón), las especias (chile, pimienta negra, coriandro, cúrcuma y jengibre) y nueces de árbol (pistacho, almendra, nuez, coco y nuez del Brasil). Asimismo pueden encontrarse en forma de aflatoxina M1 en la leche de animales alimentados con comida contaminada. Grandes dosis de aflatoxinas pueden producir toxicidad aguda (aflatoxicosis), que puede ser mortal, generalmente por lesiones hepáticas. También se ha demostrado que dañan el DNA (genotóxicas) y causan cáncer en diferentes especies animales. Asimismo, hay pruebas de que pueden causar cáncer hepático en el ser humano (Ramos-Girona et al., 2020).

Es importante considerar que el control de las micotoxinas en los alimentos y piensos es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública. Las autoridades sanitarias y los productores de alimentos implementan medidas de control y monitoreo para prevenir la contaminación por micotoxinas y minimizar los riesgos asociados (WHO, 2023).

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Antecedentes

3.1.1 Sistema Lagunar Mandinga

El Sistema Lagunar Mandinga (SLM) (Figura 4) se ubica en la región central del estado de Veracruz., está formado por; la laguna larga, también conocido como el estero, la laguna Chica y la laguna Grande. Se localiza entre las coordenadas 18°58' y 19°06' N y 96°01' y 96°08' W, en Boca del Río, estado de Veracruz, posee una extensión aproximada de 3,250 ha.

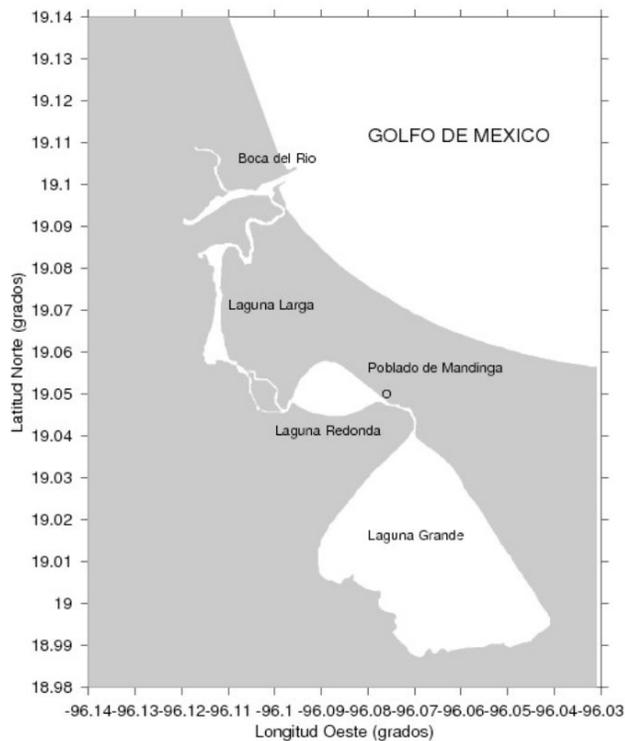


Figura 4. Localización del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz (Aldeco et al., 2015).

El flujo en el sistema lagunar depende únicamente de la aportación del río Jamapa y de la conexión con el mar. No existe un escurrimiento importante en la zona. Tiene un clima subhúmedo con un régimen pluvial o lluvioso de verano (julio a octubre), una temporada de secas (marzo a junio) y una temporada de nortes (noviembre a febrero) (González-Vázquez et al., 2019;

Lara-Domínguez et al., 2009). La calidad fisicoquímica del agua del Sistema Lagunar Mandinga (Cuadro 1), ha sido descrita por Vázquez-Botello et al. (2019).

Cuadro 1. Calidad fisicoquímica del agua del Sistema Lagunar de Mandinga (Vázquez-Botello et al., 2019).

Parámetro	Rango	Unidad
Salinidad	8-32	UPS
Temperatura	28 – 33	°C
Oxígeno disuelto	4 – 6	mg/L
Nitrógeno total	5 – 17	µM
Fósforo total	5 – 10	µM
Amonio	2 – 10	µM
Ortofosfatos	0.2 – 2	µM
Clorofila “a”	10 – 52	mg/m ³

De acuerdo con (Reyes-Velázquez et al., 2010), se ha identificado la presencia de vibrios patogénicos en ostión americano (*Crassostrea virginica*) de la laguna de Mandinga Veracruz, tales como; *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio parahaemolyticus*, este último con factores de virulencia (tlh) (Galaviz-Villa et al., 2017). Además de coliformes totales y fecales (Landeros-Sánchez et al., 2012), plaguicidas organoclorados (Aragón-López et al., 2020), y metales pesados como Cd, Cu, Hg y Pb (Lango-Reynoso et al., 2013).

3.1.2 Hongos asociados a fuentes puntuales de contaminación y sus efectos

De acuerdo Constans-Aubert et al. (1998), algunos de los hongos filamentosos que suelen estar asociados a las descargas de aguas residuales son *Aspergillus* spp., y hongos levaduriformes como *Candida albicans*. *Aspergillus fumigatus*, por ejemplo, es comúnmente encontrado en aguas residuales contaminadas con materia orgánica; y puede causar infecciones pulmonares en personas con sistemas inmunológicos debilitados. *C. albicans* es parte de la microbiota normal

del cuerpo humano, pero puede proliferar en aguas residuales contaminadas y causar infecciones en diferentes partes del cuerpo, como la piel, las uñas y las mucosas.

Además, se ha reportado a *Fusarium* spp., el cual es un hongo común en aguas residuales contaminadas con materia orgánica y puede causar infecciones oportunistas en personas inmunocomprometidas (Silva et al., 2017). El género fúngico *Trichoderma* spp., es considerado un hongo resistente a condiciones adversas y que puede sobrevivir en aguas residuales contaminadas. Se han reportado algunas especies patógenas para las plantas causando enfermedades en los cultivos (Argumedeo-Delira et al., 2009).

3.1.2.1 Producción de micotoxinas y sus efectos

De acuerdo con Matallah-Boutiba et al. (2012) y Geiger et al. (2013), se han identificado cepas de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, y *Cladosporium* en sedimentos, agua de mar y moluscos bivalvos (*Mytilus* spp.), observándose que estos últimos exhiben una citotoxicidad mayor que la del ambiente marino circundante, por lo tanto; la producción de compuestos citotóxicos y de micotoxinas como la patulina provee evidencia de un riesgo potencial para la salud de los consumidores de mariscos. También ha sido reportada la presencia del hongo *Aspergillus fumigatus* en sedimentos de un lecho de mejillones; según los autores, en condiciones hipersalinas el hongo produce una toxina citotóxica e inmunosupresora, la gliotoxina. La cual, puede ser acumulada por estos moluscos de una manera similar al modo de contaminación del ácido domoico (Grovel et al., 2003). Así también, existe evidencia de la bioacumulación de algunos metabolitos tóxicos, como el producido por el hongo *Trichoderma koningii* en el molusco bivalvo *Cerastoderma edule*, observándose que las micotoxinas se concentran en la glándula digestiva del organismo, convirtiéndola en la parte más tóxica; y la segregación de una mucosidad como respuesta biológica del organismo para eliminar los metabolitos tóxicos (Sallenave et al., 1999).

IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Situación problemática

Como resultado de su ubicación, las lagunas costeras del estado de Veracruz se encuentran expuestas al impacto del desarrollo antrópico, en el que se incluye el urbano, industrial y agrícola, así como también a grandes descargas fluviales. La sedimentación excesiva, la contaminación, la pesca excesiva, la destrucción del hábitat y el desarrollo costero son probablemente las amenazas humanas más importantes para los ecosistemas costeros (Toledo-Ocampo, 2005).

Alrededor del 90% de la población de Mandinga depende de la extracción de ostión (*Crassostrea virginica*), camarón y jaiba; mientras que la otra fuente de ingresos depende del turismo el cual es atraído por la gastronomía del sitio. La situación extractiva de los recursos pesqueros indica la necesidad de orientar investigaciones ambientales sobre las condiciones prevalecientes en el ecosistema, debido al impacto antropogénico y del cambio climático que ha originado una disminución de las poblaciones pesqueras (Moreno-Casasola et al., 2002).

El crecimiento y sobrevivencia del ostión (*C. virginica*), se ve afectado por factores como la temperatura, salinidad, circulación del agua, presencia de depredadores y enfermedades (Oliveira et al., 2011); factores que se han visto alterados por la actividad antropogénica cada vez más intensa derivada del crecimiento poblacional.

La alteración en la calidad del agua de los ecosistemas costeros puede ocasionar serios problemas de salud pública y afectación de actividades como la acuacultura, la pesca y el turismo, considerando que el nivel de contaminación microbiológica registrada, rebasa considerablemente en muchos casos, los niveles permisibles establecidos por la normatividad mexicana (Moreno-Casasola et al., 2010). La presencia de hongos en aguas residuales indica una contaminación

significativa y puede representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Samson et al., 2004).

4.2 Planteamiento del problema

La presencia de hongos en los ecosistemas acuáticos puede alterar el equilibrio ecológico y la diversidad de especies; al competir con otras formas de vida acuática, los hongos pueden afectar negativamente la biodiversidad y la estructura del ecosistema (Gleason et al., 2017; Smaoui et al., 2023). Así también, la presencia de hongos puede generar riesgos a la salud humana debido a que algunas especies producen toxinas que son perjudiciales para la salud humana al consumirse (Samson et al., 2004). El riesgo biológico de las aguas residuales está relacionado con los agentes patógenos susceptibles de ser transportados por las aguas residuales, cuya naturaleza depende de su origen, condiciones climáticas, y de las enfermedades endémicas de las personas y animales de la zona.

4.3 Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre la presencia fúngica en agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz., y las fuentes puntuales de contaminación de origen antropogénico?

4.4 Justificación

En los ecosistemas costeros la actividad pesquera y recreativa representa el sustento económico de no solo de pescadores y sus familias, sino también de una larga cadena de intermediarios encargados de comercializar el producto tanto a nivel local, regional y nacional. Indirectamente, también dependen de ella algunos servidores públicos, empresarios y profesionales, que encuentran en estas actividades económicas su materia de trabajo (Ortiz-Lozano et al., 2010).

Actualmente, en el Sistema Lagunar Mandinga prevalece la pesca de subsistencia y comercio local; la construcción de infraestructuras y el desarrollo urbano han generado destrucción o fragmentación del hábitat natural, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad. Esto implica la desaparición de especies animales y vegetales, así como el deterioro del ecosistema local (CONABIO, 2022).

De acuerdo con Aldeco et al. (2015) la contaminación generada por los fraccionamientos y complejos habitacionales se relaciona con los excesos de cloro utilizados en las albercas el cual se vierte en el sistema lagunar. Además, existen varios factores, tales como; sobrepesca, pesca ilegal, tala de mangle, urbanización, y contaminación por descarga de aguas residuales, que han contribuido al deterioro de los servicios ambientales proporcionados por el Sistema Lagunar Mandinga.

Según la literatura, algunos hongos pueden causar enfermedades en los organismos acuáticos como el ostión, presentándose infecciones; las cuales pueden debilitar al organismo, reducir su crecimiento y supervivencia (Zannella et al., 2017); esto puede generar un impacto negativo en la producción pesquera y en la economía local. Al competir con otras formas de vida acuática, los hongos pueden afectar negativamente la biodiversidad y la estructura del ecosistema (Gleason & Lilje, 2009). De acuerdo con Smaoui et al. (2023), se han detectado múltiples especies de hongos y otras micotoxinas en los mariscos, entre ellas aflatoxinas, ocratoxinas, fumonisinas, deoxinivalenol, zearalenona y tricotecenos. Según su estructura química, las micotoxinas son estables y su eliminación de la cadena alimentaria es complicada. Generalmente, el procesamiento de alimentos reduce un poco los niveles de micotoxinas pero no los elimina por completo.

Para Pierce & Ward (2019), existe un vacío crucial de información acerca de la presencia de toxinas vegetales y la ocurrencia de micotoxinas en aguas naturales y embalses de agua potable. Aunque las comunidades de hongos acuáticos responden a la contaminación, solo algunos estudios han evaluado cuantitativamente el efecto de la contaminación del agua dulce en la diversidad y composición de hongos en los sistemas tropicales (Ortíz et al., 2018).

Por todo lo anterior; el objetivo del presente proyecto es determinar la relación entre la flora fúngica con potencia toxigénico en el agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz y las fuentes puntuales de contaminación de origen antropogénico.

V. HIPÓTESIS

Existe relación entre la presencia fúngica con potencial toxigénico presente en agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz, y las fuentes puntuales de contaminación de origen antropogénico.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Determinar la relación entre la presencia fúngica con potencial toxigénico en el agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz y las fuentes puntuales de contaminación de origen antropogénico.

6.2 Objetivos particulares

1. Identificar las fuentes puntuales de contaminación de origen antropogénico en el Sistema Lagunar Mandinga, Veracruz.
2. Determinar los géneros de hongos presentes en agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz.
3. Relacionar la presencia de hongos en agua de la Laguna de Mandinga, Veracruz, y las fuentes puntuales de contaminación origen antropogénico.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Sitios de muestreo

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo (Cuadro 2) en zonas aledañas a las fuentes puntuales de contaminación identificadas dentro del Sistema Lagunar de Mandinga (Figura 5). Las cuales son: Sitio 1: Club de Golf Punta Tiburón; Sitio 2: Fraccionamiento Rincón del Conchal; Sitio 3: Zona Residencial El Dorado, que cuenta con una Marina privada; Sitio 4: Centro Comercial El Dorado.

Cuadro 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el Sistema Lagunar Mandinga, Veracruz.

Sitio	Coordenadas		Descripción
	Latitud Norte	Longitud Oeste	
1	19°04'41"	96°06'44"	Club de Golf Punta Tiburón
2	19°04'57"	96°06'21"	Fraccionamiento Rincón del Conchal
3	19°05'31"	96°06'22"	Zona Residencial El Dorado
4	19°05'30"	96°06'12"	Centro Comercial El Dorado

7.2 Recolección de muestra

En envases de plástico de boca ancha fue recolectado un volumen de 2 L de agua por sitio de muestreo, a una profundidad de 10 a 15 centímetros de la superficie. Las muestras colectadas fueron preservadas a 4° C hasta su análisis en los laboratorios de Ecotecnologías del IT Bocal del Río y del Centro de Investigación de Micología Aplicada de la Universidad Veracruzana.

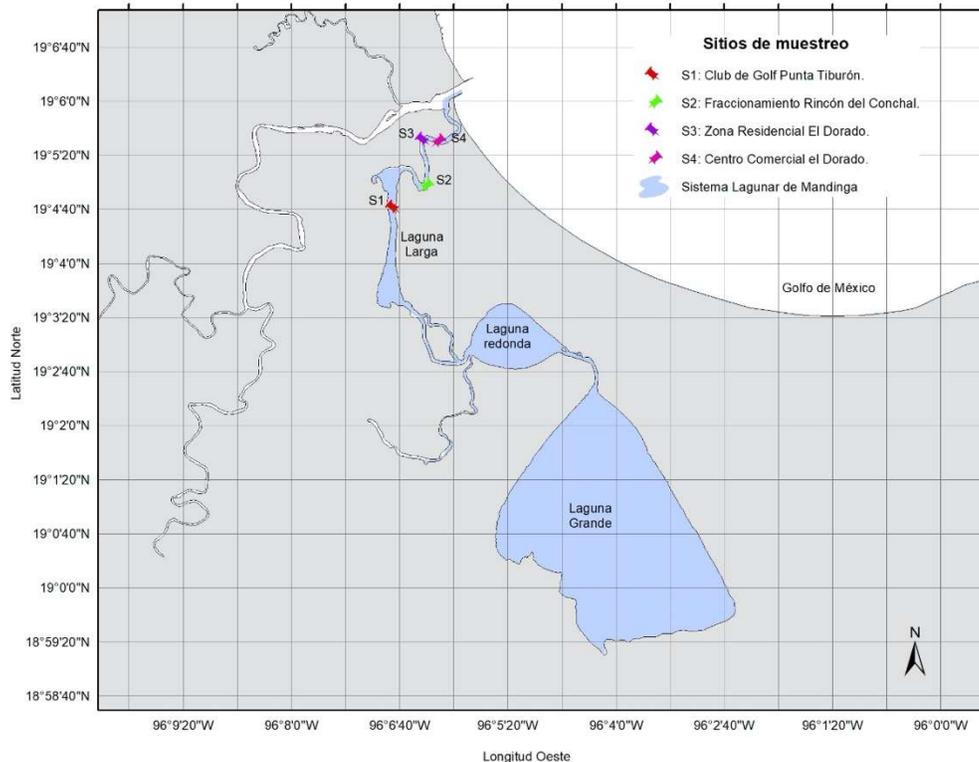


Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo dentro del Sistema Lagunar Mandinga, Veracruz.

7.2.1 Aislamiento y crecimiento micelial

El aislamiento de los hongos filamentosos se realizó mediante el método de estriado en placa. En este proceso se sembraron 250 μ L de la muestra sobre la superficie de cajas de Petri con medio de cultivo Agar Papa-Dextrosa (PDA) (MCD LAB) con gentamicina 0.2 g/L y ampicilina 0.2 g/L. Así mismo, para las muestras con abundante crecimiento donde no fue posible separar el micelio de otros aislados, se realizaron diluciones seriadas hasta completar 10^{-5} - 10^{-6} . De cada una de ellas se tomó un volumen de 100 μ L y se sembró en una caja Petri con PDA en la cual se agregaron perlas de vidrio para lograr una mejor distribución de la muestra, y con movimientos circulares se extendieron por toda la caja, posteriormente fueron retiradas, se incubaron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y se observaron diariamente hasta detectar crecimiento micelial.

7.2.2 Cultivo monospórico

Para asegurar la pureza de los aislados fúngicos, se realizaron cultivos monospóricos a partir de micelio fresco. Las puntas de las hifas se cortaron con ayuda de un bisturí y un microscopio estereoscópico (Leica EZ4), y se sembraron en cajas de Petri con PDA y se incubaron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 7 días. En los casos en los que no fue posible separar una sola hifa de los aislamientos, se homogenizó el micelio con 90 mL de agua destilada estéril. Se tomó 1 mL de la suspensión y se transfirió a un tubo con 9 mL de agua, y fue considerada como la primera dilución (10^{-1}). A continuación, se realizaron diluciones hasta completar la 10^{-5} - 10^{-6} . Del volumen homogeneizado se sembraron 100 μL en cajas Petri con PDA y se incubaron en las condiciones mencionadas anteriormente. Los aislados puros obtenidos se resguardaron a 4°C hasta su identificación.

7.2.3 Identificación morfológica

Los aislados monospóricos se identificaron a nivel de género a través de la comparación de las estructuras reproductivas con las reportadas en las claves taxonómicas descritas por Barnett y Hunter (1998). Las muestras se prepararon con la técnica de impronta, que consiste en adicionar una gota de azul de lactofenol sobre un portaobjetos y adherir una muestra de micelio a una cinta adhesiva transparente y colocarla sobre el portaobjetos. Las muestras se observaron en un microscopio óptico con los objetivos de 40X y 100X Carl Zeiss Microscopy (GmbH, Oberkochen, Alemania) para analizar sus estructuras reproductivas.

7.2.4 Identificación molecular

La extracción de ADN se realizó de acuerdo con el protocolo utilizado en el Centro de Investigación en Micología Aplicada de la Universidad Veracruzana, descrito a continuación: una muestra de micelio fresco de cada aislado puro se colocó en un tubo Eppendorf de 1.5 mL con 300 μL de solución buffer de extracción (20 mM Tris-HCl, pH 8.0, 250 mM NaCl, 25mM EDTA, 1% SDS) y se incubó a -18°C por 25 min. Posteriormente, se mezcló con 150 μL de acetato de

sodio (pH 5.3 3M) y se incubó a -18 °C por 20 min. La mezcla descongelada fue centrifugada a 13,200 rpm por 5 min y el sobrenadante fue trasferido a un tubo Eppendorf de 1.5 mL y se adicionaron 450 µL de isopropanol frío (18 °C), se mezcló por inversión e incubó a -18°C por 25 min. Finalmente el ADN fue precipitado tras lavados sucesivos con etanol frío al 70% y 96%.

El ADN obtenido de cada uno de los aislados fue amplificado por PCR directa de la región espaciadora interna (ITS por sus siglas en inglés) del ADN ribosomal nuclear empleando los primers ITS1F (CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA) y ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) (White et al., 1990; Gardes y Bruns, 1993). Las amplificaciones se realizaron en un termociclador (BioRad T100) utilizando 50-90 ng de ADN molde en un volumen final de reacción de 50 µL con las siguientes condiciones: desnaturalización inicial a 94 °C por 3 min, seguido de 34 ciclos a 94 °C por 45 s, 53 °C durante 45 s y 72 °C por un min, finalmente un ciclo de extensión a 72 °C durante 10 minutos.

Concluido el proceso de amplificación, la integridad de los productos de PCR se analizó por electroforesis en un gel de agarosa al 1% a 95 V por 60 min, seguido por una tinción con bromuro de etidio y revelado con luz UV en un fotodocumentador (Gel Doc XR+ Gel Documentation System, Bio Rad). Los productos de PCR fueron purificados en columnas (Wizard® SV Gel y PCR System Clean-Up, Promega) y los amplicones resultantes se enviaron al Labsergen (Cinvestav, Irapuato, Gto, México) para su secuenciación con tecnología Sanger.

Las secuencias se analizaron en forma independiente con el software BioEdit (Hall, 1999) y las inconsistencias se corrigieron de forma manual. Para confirmar el género y el porcentaje de identidad las secuencias se compararon con la base de datos del National Center for Biotechnology Information, NCBI GenBank (Benson et al., 2017) utilizando el software de búsqueda Blast (Zhang et al., 2000), las secuencias consenso utilizadas en para confirmar género y especie se muestran en el Apéndice I.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Identificación morfológica de cepas fúngicas

A partir del agua obtenida de los sitios de muestreo asociados a fuentes puntuales de contaminación se obtuvieron por aislamiento directo ocho cepas fúngicas, las cuales fueron identificadas morfológicamente mediante la observación de estructuras reproductivas como conidias (esporas), conidióforos e hifas. No obstante, en algunos casos la identificación morfológica de los aislados no fue posible debido a la ausencia de estructuras reproductivas.

De este modo, en el aislado CIMA_IL001 del sitio de muestreo S2 se observó micelio rugoso de color blanco y de crecimiento rápido, con estructuras reproductivas de forma elipsoide septadas denominadas fragmoconidios, características del género *Neopestalotiopsis* (Figura 6).

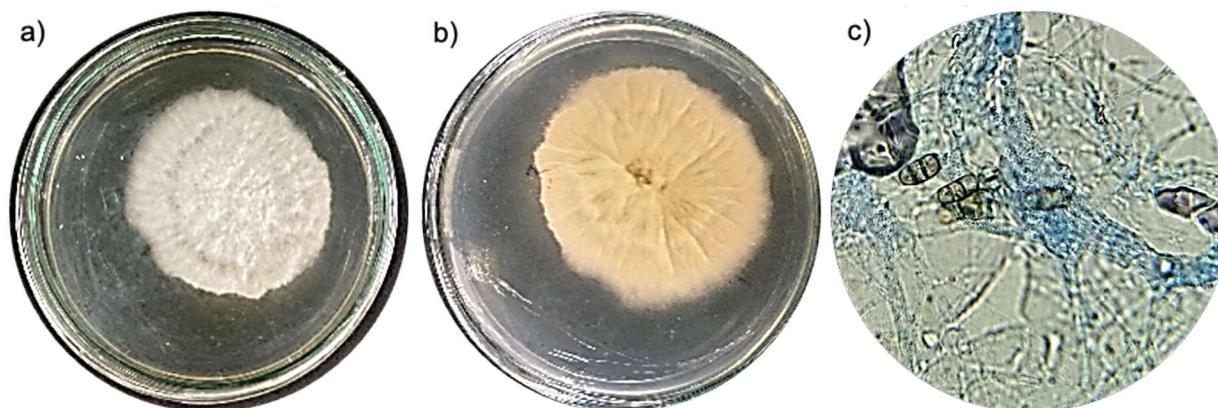


Figura 6. Aislado CIMA_IL001 identificado como género *Neopestalotiopsis*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de *Neopestalotiopsis* sp. (100X).

También del sitio de muestreo S2 se obtuvo el aislado CIMA_IL002, el cual mostró un crecimiento lento, con micelio de apariencia aterciopelada de color crema, que posteriormente se tornó en color grisáceo de aspecto polvoriento y con pliegues radiales, además de pigmentar el medio PDA a un tono ocre. Las estructuras de crecimiento observadas, hifas finas, septadas,

ramificadas de color marrón permitieron identificarlo como *Cladosporium* sp. Las hifas sostienen cadenas ramificadas de conidios unicelulares, elipsoides o cilíndricos, algunos con forma de limón por las cicatrices de unión entre ellos. Los conidios se forman por gemación sucesiva del conidio anterior, estando el conidio más joven y pequeño al final de la cadena (Barnett & Hunter, 1998) (Figura 7).

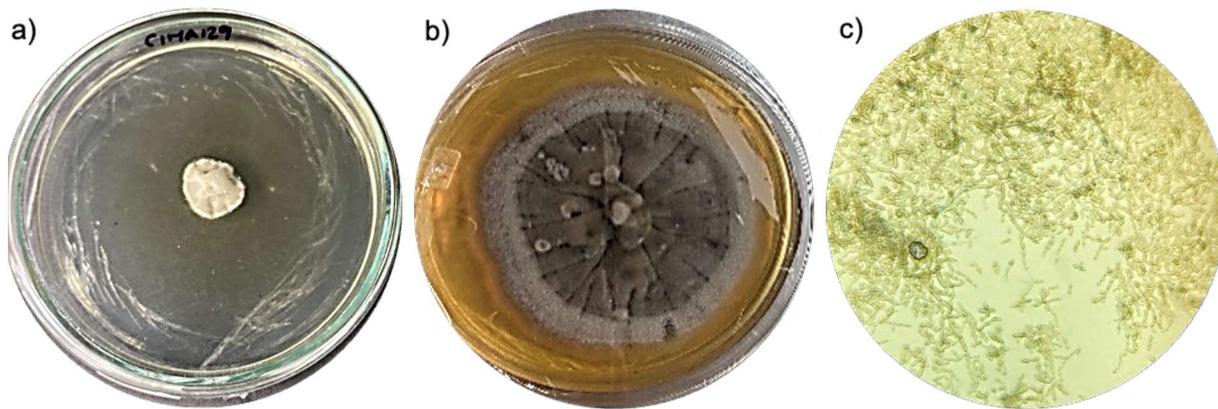


Figura 7. Aislado CIMA_IL002 identificado como género *Cladosporium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Frente, c) Estructuras reproductivas de *Cladosporium* sp. (100X).

Los aislamientos fúngicos restantes, se obtuvieron a partir del sitio de muestreo S4. El aislado CIMA_IL003 tuvo un crecimiento rápido, con un micelio de color blanco y apariencia algodonosa por el frente, mientras que por el reverso se observó una coloración amarilla pálida. Las estructuras reproductivas observadas, de formas cilíndricas con conidias agrupadas en ramilletes permitieron identificar al aislado CIMA_IL003 como *Fusarium* sp. (Figura 8).

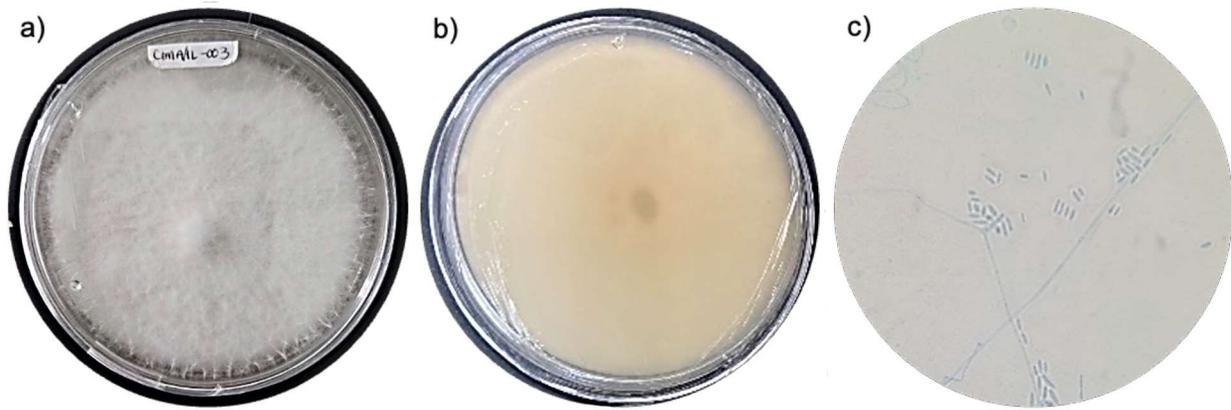


Figura 8. Aislado CIMA_IL003 identificado como género *Fusarium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de *Fusarium* sp. (100X).

El aislado CIMA_IL004 fue identificado como *Cladosporium* sp., de crecimiento rápido, presentó micelio aterciopelado y de color gris. Las estructuras reproductivas se observaron septadas y delgadas con conidióforos tanto simples como ramificados; los conidios de la parte superior de la cadena eran elipsoides, subglobosos, fusiformes, ovoides, frecuentemente con cicatrices, de pared lisa, rugosa o equinulada (Barnett y Hunter 1998) (Figura 9).

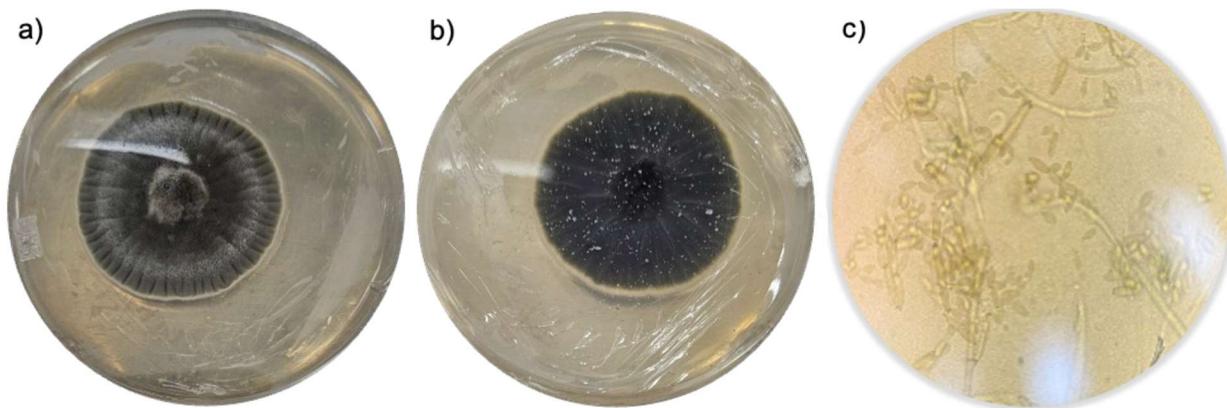


Figura 9. Aislado CIMA_IL004 identificado como género *Cladosporium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de *Cladosporium* sp. (100X).

Perteneciente también al género *Cladosporium*, se identificó el aislado CIMA_IL005, con micelio aterciopelado de color grisáceo, característica macroscópica típica del género *Cladosporium*. Presenta hifas septadas y delgadas, con conidióforos tanto simples como ramificados y conidios de forma elipsoides, subglobosos, fusiformes y ovoides (Figura 10).

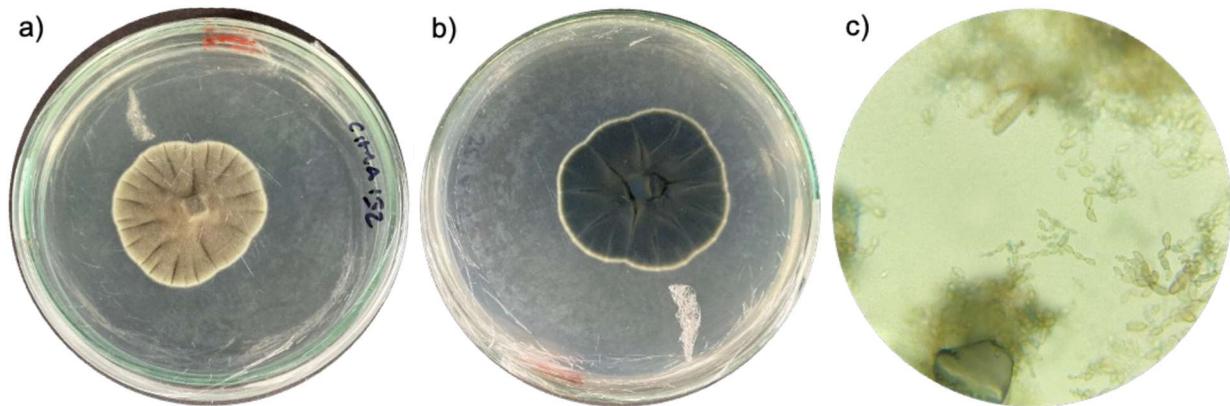


Figura 10. Aislado CIMA_IL005 identificado como género *Cladosporium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Reverso, c) Estructuras reproductivas de *Cladosporium* sp. (100X).

El aislado CIMA_IL006 de lento crecimiento, mostró micelio abultado algodonoso, de color blanco, que al envejecer pigmentaba de color morado, fue identificado como *Purpureocillium* sp. Las estructuras reproductivas son semejantes a las del género *Penicillium* (Figura 11.)

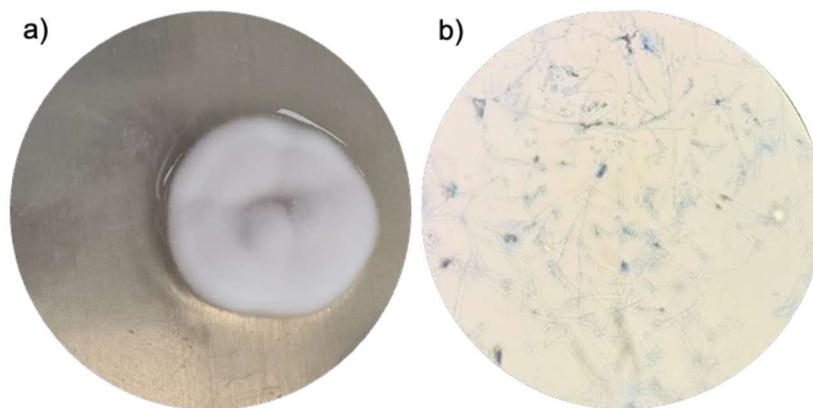


Figura 11. Aislado CIMA_IL006 identificado como género *Purpureocillium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Estructuras reproductivas de *Purpureocillium* sp. (100X).

El aislado CIMA_IL007, tuvo un crecimiento rápido, sin embargo no pudo ser identificado morfológicamente debido a que no presentó estructuras reproductivas (Figura 12).

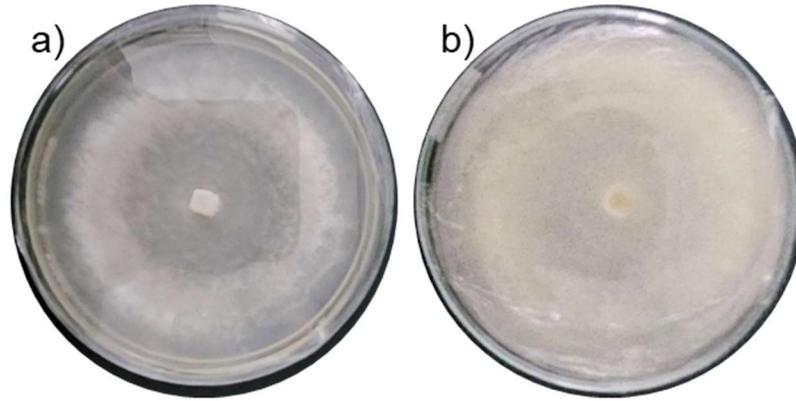


Figura 12. Crecimiento de aislado CIMA_IL007 en medio PDA. a) Frente, b) Reverso

Perteneciente al género *Penicillium* se identificó el aislado CIMA_IL008, el cual presentó un crecimiento rápido, inicialmente con micelio de color blanco y posteriormente color gris-verdoso, manteniendo el borde blanco con aspecto aterciopelado polvoriento. Se logró observar la estructura de crecimiento característica del género, mótulas cilíndricas en forma de cepillo (Figura 13).

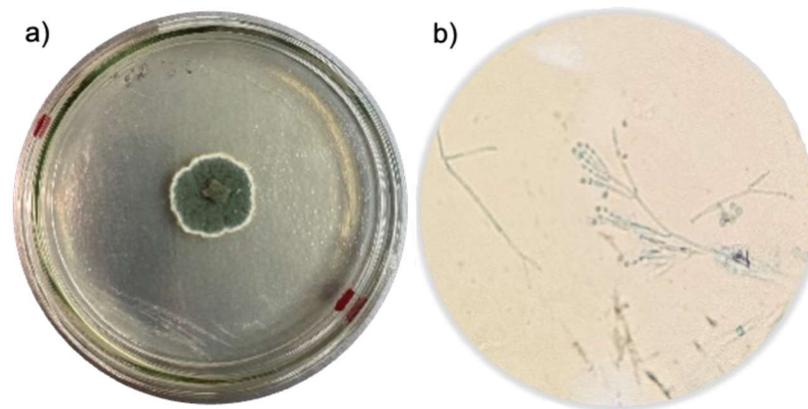


Figura 13. Aislado CIMA_IL008 identificado como género *Penicillium*. Crecimiento micelial en PDA a) Frente, b) Estructuras reproductivas de *Penicillium* sp. (100X).

Las ocho cepas fúngicas aisladas se identificaron morfológicamente dentro de cuatro géneros diferentes de ascomicetos, siendo el sitio de muestreo S4 de donde se obtuvieron 6 aislados pertenecientes a los géneros *Cladosporium*, *Fusarium*, *Purpureocillium* y *Penicillium*; y del sitio S2 se obtuvieron 2 aislados pertenecientes a los géneros *Neopestalotiopsis* y *Cladosporium*. El sitio S4, se ubicó en la zona de Centro Comercial El Dorado que recibe descargas urbanas provenientes del centro comercial y marina del mismo, y del fraccionamiento Residencial El Dorado. En tanto que el sitio S2, se ve impactado por Fraccionamiento Rincón del Conchal lo cual podría explicar el reducido número de aislamientos de hongos filamentosos. En ambos sitios la mancha urbana se ubica sobre el Sistema Lagunar de Mandinga.

Los géneros reportados han sido también identificados en muestras de agua de sistemas de enfriamiento (Kadaifciler & Demirel, 2017) (Al-gabr et al., 2014; Kadaifciler & Demirel, 2017). De los 8 aislados identificados, el género *Cladosporium* fue el más abundante, coincidentemente con lo reportado en un análisis de la presencia de hongos en sistemas de agua potable de Austria (Kanzler et al., 2008). En relación a los aislados pertenecientes a los géneros *Penicillium* y *Fusarium*, se ha reportado que algunas especies, en determinadas condiciones, pueden producir compuestos orgánicos tóxicos en mariscos, los cuales pueden ocasionar alergias, asma y otras infecciones (Magwaza et al., 2017; Pereira et al., 2010).

Las aguas residuales domésticas suelen transportar bacterias, virus, hongos y parásitos procedentes de reservorios humanos o animales. La mayoría de los microorganismos de estas aguas son de origen fecal y no patógenos y pueden vivir de forma natural en el agua y en el suelo Constans-Aubert et al. (1998). Las fuentes puntuales de contaminación que fueron identificadas en los sitios S2 y S4 son en su mayoría provenientes de viviendas y negocios, es decir aguas residuales domésticas, que regularmente contienen materia orgánica en forma de desechos humanos, suelen también contener restos de comida, residuos de productos de limpieza de uso

común como detergentes pero, en ocasiones productos agresivos como aceites y solventes por lo que la presencia de hongos en estos sitios asociados a las fuentes puntuales de contaminación sea de relevancia para futuros estudios pues el constante cambio causado por la presión antrópica ejercida sobre la calidad de los cuerpos de agua puede proveer las condiciones adecuadas para la proliferación de hongos que sean patógenos y ocasionen alteraciones en los productos de la pesca y en la salud de las personas.

En relación a los sitios S1 y S3, no se logró el aislamiento directo de hongos filamentosos, probablemente debido a que las fuentes puntuales de contaminación no inciden de manera directa sobre la microbiota. Sin embargo, los resultados no descartan la presencia de hongos levaduriformes, cuyo aislamiento e identificación no fue contemplado en este estudio pero que han sido aislados de sistemas acuáticos impactados por descargas urbanas (Monapathi et al., 2017).

Dentro de las condiciones ambientales de los sitios de muestreo un factor a considerar que influye en el crecimiento y en la actividad de los mohos es la temperatura: *Aspergillus* es más frecuente en los trópicos, *Fusarium* abunda más en climas fríos, y *Penicillium* predomina en zonas templadas (Ayala, 2007). Esto concuerda con las condiciones ambientales prevalecientes en el agua del Sistema Lagunar Mandinga en la que la temperatura del agua oscila entre los 28 – 33 °C mientras que durante la temporada de muestreo (invernal/nortes) se tiene registro 25.25 ± 1.72 °C (Castañeda-Chávez et al., 2005).

8.2 Identificación molecular de aislados fúngicos

De acuerdo con las características morfológicas observadas y comparando las secuencias obtenidas con las presentes en la base de datos del GenBank, se logró identificar a nivel de especie al aislado CIMA_IL002 como *Cladosporium xanthochromaticum* (MF473319, 100% de

porcentaje de identidad y cobertura); al aislado CIMA_IL003 como *Fusarium oxysporum* (MT560380, 100% de porcentaje de identidad y cobertura); a CIMA_IL004 como *Cladosporium cladosporioides* (MT466517, 100% de porcentaje de identidad y cobertura) y CIMA_IL006 como *Purpureocillium lavendulum* (OQ402318, 100 % de identidad y cobertura). *Cladosporium* es un género de distribución cosmopolita, sin embargo, la información del género *Cladosporium* en ecosistemas marinos es escasa, y es necesaria para comprender la diversidad e importancia del género y sus metabolitos dentro del ecosistema (Lee et al., 2023). Para los aislados CIMA_IL001, CIMA_IL005, CIMA_IL007, CIMA_IL008 los bajos valores de porcentajes de identidad y cobertura obtenidos, empleando los marcadores moleculares ITS1F/ITS4, sólo permitieron asignarlos dentro de un género y no fueron suficientes para identificar las especies correspondientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Números de acceso de las secuencias de GenBank que dieron mayor porcentaje de identidad de los aislamientos fúngicos.

Sitio	Aislado	Género identificado	Referencia en GenBank
S2	CIMA_IL-001	<i>Neopestalotiopsis</i>	-
S2	CIMA_IL-002	<i>Cladosporium xanthochromaticum</i>	MF473319
S4	CIMA_IL-003	<i>Fusarium oxysporum</i>	MT560380
S4	CIMA_IL-004	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	MT466517
S4	CIMA_IL-005	<i>Cladosporium</i>	-
S4	CIMA_IL-006	<i>Purpureocillium lavendulum</i>	OQ402318
S4	CIMA_IL-007	<i>Phlebia</i>	-
S4	CIMA_IL-008	<i>Penicillium</i>	-

IX. CONCLUSIONES

Las fuentes puntuales de contaminación identificadas en el área de estudio son descargas de aguas residuales de origen doméstico, parcialmente tratadas o sin tratar. Se observó que el aumento de la población y la construcción de infraestructura comercial y habitacional ha traído como consecuencia una mayor demanda de servicios básicos, como el tratamiento de aguas residuales. Las cuales, juegan un papel crucial en la protección del medio ambiente y de la salud humana, ya que el Sistema lagunar de Mandinga debido a su biodiversidad alberga una gran variedad de especies de flora y fauna, algunas de las cuales son endémicas y están en peligro de extinción; sin mencionar los riesgos a la salud humana causados por el deterioro de la calidad del agua en este ecosistema, en el cual se ofrecen servicios turísticos y recreativos.

El mayor número de especies fúngicas fueron aisladas del sitio de muestreo S4, ubicado en Centro Comercial El Dorado, que tiene influencia directa de la fuente puntual de contaminación de la marina del Centro comercial, así como del Residencial del mismo nombre, El Dorado. El género predominante fue *Cladosporium* sp., el cual al igual que *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp., producen esporas que pueden ser incorporados vía tracto respiratorio, causando problemas de salud como alergias, asma y micosis a pobladores de la zona.

A pesar de que los aislamientos de hongos pertenecientes a los géneros *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp., fueron en menos cantidad, su presencia en el agua de la Laguna de Mandinga adquiere relevancia debido a que sus especies son potenciales productoras de micotoxinas, y aunque su presencia en agua y/o ostión podría encontrarse en concentraciones extremadamente diluidas y que por tanto la detección de micotoxinas podría no ser viable, se ha sugerido que la exposición crónica a pequeñas cantidades de micotoxinas podría resultar en problemas graves de salud asociados a daños hepáticos y algunos tipos de cáncer.

La presión demográfica sobre el Sistema Lagunar Mandinga, causada por el crecimiento de la mancha urbana con desarrollos urbano y desarrollos turísticos trae consigo el incremento de las fuentes puntuales de contaminación de aguas residuales, esto tiene como acarrera el riesgo de que tanto la cantidad como diversidad de hongos presentes en el ecosistema se vea alterado ocasionando problemas en la salud de las personas y en el equilibrio ecológico del sistema.

Finalmente, este es el primer estudio realizado en el Sistema Lagunar de Mandinga, enfocado en conocer la presencia de hongos filamentosos en agua y su relación son fuentes puntuales de contaminación, los resultados ponen de manifiesto la presencia en agua de hongos filamentosos y esto abre la posibilidad de continuar realizando estudios más profundos para conocer la presencia en sedimentos no sólo de hongos filamentosos sino también de levaduriformes.

X. REFERENCIAS

- Aldeco, J., Cortés, G., & Jurado, J. (2015). Adaptaciones culturales y económicas a cambios provocados por tala de mangle y deterioro pesquero en Mandinga, Veracruz. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 29, Article 29.
- Al-gabr, H. Moh., Zheng, T., & Yu, X. (2014). Occurrence and quantification of fungi and detection of mycotoxigenic fungi in drinking water in Xiamen City, China. *Science of The Total Environment*, 466–467, 1103–1111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.060>
- Aragón-López, R. P., Granados-Barda, A., Castañeda-Chávez, M. del R., Granados-Barda, A., & Salas-Monreal, D. (2020). Contaminación por plaguicidas organoclorados en el *Crassostrea virginica* en Mandinga, México. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 21–25.
- Argumedo-Delira, R., ALARCÓN, A., FERRERA-CERRATO, R., & PEÑA-CABRIALES, J. J. (2009). El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4), 257–269.
- Ayala, A. E. G. (2007). Alimentos y micotoxinas Implicaciones en la seguridad alimentaria. *Farmacia Profesional*, 21(8), 49–53.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R., Borabe, L., Goldaracena Islas, C. G., & Rodríguez Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación. Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(002), 1S-7S. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.002.293>

- Bianchi, M., & Harter, T. (2002). *Nonpoint Sources of Pollution in Irrigated Agriculture: Farm Water Quality Planning Series*. University of California, Agriculture and Natural Resources. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8055>
- Blackwell, M. (2011). The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany*, 98(3), 426–438. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000298>
- Botello, A. V., Rendon von Osten, J., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernández, C. (Eds.). (2005). *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias (2da.)*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Fabela, P., Izurieta-Dávila, J., & Mijangos-Carro, M. (2013). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*.
- Buendía, L. L., Aldeco Ramírez, J., & Roldán Aragón Iván Ernesto, I. (2021). Cambios en la cobertura del bosque de mangle (2000-2017) en el sistema lagunar costero de Mandinga, Veracruz, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 21(41), 54–76.
- Carabias, J., & Landa, R. (2007). Agua, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. *Ciencias, enero-marzo(085)*, 78–79.
- Castañeda-López, O., & Contreras-Espinosa, F. (2003). El Centro de Documentación “Ecosistemas Litorales Mexicanos” como una herramienta de diagnóstico. *ContactoS*, 48, 5–17.

Castillo-Rodríguez, Z. G. (2014). Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 419–430. <https://doi.org/10.7550/rmb.33003>

CONABIO. (2022). *¿Por qué se pierde la biodiversidad? | Biodiversidad Mexicana*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Eventos Temáticas Productos ¡Conoce y actúa! Contacto. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque>

CONABIO. (2023). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Línea de costa de la República Mexicana (2011-2014)*. Portal de Geoinformación 2023. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/limite/lc2018gw

Constans-Aubert, A., Alonso Espadalé, R. M., & Martí Solé, Ma. C. (1998). *NTP 473: Estaciones depuradoras de aguas residuales: Riesgo biológico*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Contreras-Espinosa, F., & Castañeda-López, O. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias*, 76(Octubre-Diciembre), 46–56.

Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O., & García-Nagaya, A. (1994). La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. En *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* (Vol. 21, pp. 55–66). <https://www.mendeley.com/import/?url=https%3A%2F%2Fbiblat.unam.mx%2Fes%2Frevista%2Fanales-del-instituto-de-ciencias-del-mar-y-limnologia-unam%2Farticulo%2Fla-clorofila-a-como-base-para-un-indice-trofico-en-lagunas-costeras-mexicanas>

Cruz, A. (Ed.). (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado: Vol. I. Contexto actual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología A.C.
https://www.academia.edu/77704022/La_biodiversidad_en_Veracruz_estudio_de_estado

Daily, G. C. (2000). Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy*, 3(6), 333–339. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(00\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(00)00102-7)

De la Lanza, G., Ortiz, M. A., & Carbajal, J. L. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 81, 33–50.
<https://doi.org/10.14350/riq.33375>

EPA. (2023). *Glosario ambiental bilingüe*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
<https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue>

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2023). *Micotoxinas*. Inocuidad y calidad de los alimentos.
<https://www.fao.org/food/food-safety-quality/a-z-index/mycotoxins/es/>

Fuentes-Cruz, K. A. (2022). *Efecto de la interacción hongo-bacteria sobre la degradación de materia orgánica, en sedimentos marinos costeros*. Universidad de Concepción. Departamento de Oceanografía.

Galaviz-Villa, I., Castañeda-Chávez, M. del R., Lango-Reynoso, F., Amaro-Espejo, I. A., Romero-González, L., Salcedo-Garduño, M. G., & Sánchez-Chavez, A. (2017). Detection of *Vibrio parahaemolyticus* (tlh) and virulence factors in Oyster *Crassostrea virginica* in the Gulf of Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 4(6), 1–15.

Galaviz-Villa, I., & Sosa-Villalobos, C. A. (Eds.). (2019). *Fuentes difusas y puntuales de contaminación. Calidad de aguas superficiales y subterráneas*. Universidad Autónoma de Campeche.

<https://www.researchgate.net/publication/337605934> Fuentes difusas y puntuales de contaminación Calidad de aguas superficiales y subterráneas

Gaxiola, J. M. D. (2011). Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai*, 7(3), 355–369.
<https://doi.org/10.35197/rx.07.03.2011.05.id>

Geiger, M., Guitton, Y., Vansteelandt, M., Kerzaon, I., Blanchet, E., Robiou Du Pont, T., Frisvad, J. C., Hess, P., Pouchus, Y. F., & Grovel, O. (2013). Cytotoxicity and mycotoxin production of shellfish-derived *Penicillium* spp., a risk for shellfish consumers. *Letters in Applied Microbiology*, 57(5), 385–392. <https://doi.org/10.1111/lam.12143>

Gleason, F. H., & Lilje, O. (2009). Structure and function of fungal zoospores: Ecological implications. *Fungal Ecology*, 2(2), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2008.12.002>

Gleason, F. H., Scholz, B., Jephcott, T. G., Van Ogtrop, F. F., Henderson, L., Lilje, O., Kittelmann, S., & Macarthur, D. J. (2017). Key Ecological Roles for Zoosporic True Fungi in Aquatic

Habitats. *Microbiology Spectrum*, 5(2), 18. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0038-2016>

González-Vázquez, J. A., Hernández-Vivar, E., Rojas-Serna, C., & Del-Valle-Morales, J. (2019). Diagnosis of water circulation in an estuary: A case study of the Jamapa River and the Mandinga lagoons, Veracruz, Mexico. *Ciencias Marinas*, 45(1), 1–16. <https://doi.org/10.7773/cm.v45i1.2923>

Grovel, O., Pouchus, Y. F., & Verbist, J.-F. (2003). Accumulation of gliotoxin, a cytotoxic mycotoxin from *Aspergillus fumigatus*, in blue mussel (*Mytilus edulis*). *Toxicon*, 42(3), 297–300. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(03\)00146-6](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(03)00146-6)

Guzmán-García, X., Botello, A. V., Martínez-Tabche, L., & González-Márquez, H. (2009). Effects of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at Mandinga Lagoon, Veracruz, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 955–962.

INECOL, I. de E. A. C. (2023). *Las polifacéticas esporas en los hongos*. Instituto de Ecología A.C. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1954-las-polifaceticas-esporas-en-los-hongos>

INPESCA. (2021, 07). *Acuacultura Ostión del este*. gob.mx. <http://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-ostion-del-este>

Kadaifciler, D. G., & Demirel, R. (2017). Fungal biodiversity and mycotoxigenic fungi in cooling-tower water systems in Istanbul, Turkey. *Journal of Water and Health*, 15(2), 308–320. <https://doi.org/10.2166/wh.2017.274>

Kanzler, D., Buzina, W., Paulitsch, A., Haas, D., Platzer, S., Marth, E., & Mascher, F. (2008). Occurrence and hygienic relevance of fungi in drinking water. *Mycoses*, 51(2), 165–169. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2007.01454.x>

Landeros-Sánchez, C., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. del R., Galaviz-Villa, I., Nikolskii-Gavrilov, I., Palomarez-Garcia, M., Reyes-Velazquez, C., & Minguez-Rodriguez, M. M. (2012). Assessment of Water Pollution in Different Aquatic Systems: Aquifers, Aquatic Farms on the Jamapa River, and Coastal Lagoons of Mexico. *Journal of Agricultural Science*, 4(7), p186. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n7p186>

Lango-Reynoso, F., Castaneda-Chavez, M. D. R., Landeros-Sanchez, C., Galaviz-Villa, I., Navarrete-Rodríguez, G., & Soto-Estrada, A. (2013). Cd, Cu, Hg and Pb, and Organochlorines Pesticides in Commercially Important Benthic Organisms Coastal Lagoons SW Gulf of Mexico. *Agricultural Science*, 1(1), 63–79. <https://doi.org/10.12735/as.v1i1p63>

Lankford, R. (1977). Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. En M. Wiley (Ed.), *Estuarine Processes* (pp. 182–215). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-751802-2.50022-9>

Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Martínez-González, R., & Vázquez-Lule, A. D. (2009). *Caracterización del sitio de manglar Mandinga, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)* (Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica). CONABIO.

- Magwaza, N., Nxumalo, E., Mamba, B., & Msagati, T. (2017). The Occurrence and Diversity of Waterborne Fungi in African Aquatic Systems: Their Impact on Water Quality and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 546. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050546>
- Matallah-Boutiba, A., Ruiz, N., Sallenave-Namont, C., Grovel, O., Amiard, J.-C., Pouchus, Y. F., & Boutiba, Z. (2012). Screening for toxigenic marine-derived fungi in Algerian mussels and their immediate environment. *Aquaculture*, 342, 75–79.
- Mayo-Alcudia, J., Brito-Manzano, N. P., Vargas-Falcón, Perla Montserrat, P. M. V., Gómez-Vázquez, A., & Bernat-Rodríguez, J. (2021). Metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* en la laguna Machona en Tabasco, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5963–5971. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-089>
- Monapathi, M. E., Bezuidenhout, C. C., & Rhode, O. H. J. (2017). Water quality and antifungal susceptibility of opportunistic yeast pathogens from rivers. *Water Science and Technology*, 75(6), 1319–1331. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.580>
- Moreno-Casasola, P., Cejudo-Espinosa, E., Capistrán-Barradas, A., Infante-Mata, D., López-Rosas, H., Castillo-Campos, G., Pale-Pale, J., & Campos-Cascaredo, A. (2010). Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 87, 29–50. <https://doi.org/10.17129/botsci.291>
- Moreno-Casasola, P., Rojas-Galaviz, J. L., Zárate-Lomelí, D., Ortiz-Pérez, M. A., Lara-Domínguez, A. L., & Saavedra-Vázquez, T. (2002). Diagnóstico de los manglares de

Veracruz: Distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, 8(Número Especial), 61–88. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.801292>

Oliveira, J., Cunha, A., Castilho, F., Romalde, J. L., & Pereira, M. J. (2011). Microbial contamination and purification of bivalve shellfish: Crucial aspects in monitoring and future perspectives – A mini-review. *Food Control*, 22(6), 805–816. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.032>

Ortiz-Lozano, L. D., Arceo-Briseño, P., Granados-Barba, A., Salas-Monreal, D., & Jiménez-Badillo, M. de L. (2010). Capítulo 5: Zona Costera. En *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz* (pp. 124–147). Gobierno del Estado de Veracruz. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9651/05COSTASB.pdf?sequenc>

Ortiz-Vera, M. P., Olchanheski, L. R., Gonçalves da Silva, E., Rezende de Lima, F., del Pilar Martinez, L. R., Sato, M. I., Jaffé, R., Alves, R., Ichiwaki, S., Padilla, G., & Luiz Araújo, W. (2018). Influence of water quality on diversity and composition of fungal communities in a tropical river. *Scientific Reports*, 8:14799(1), 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33162-y>

Pereira, V. J., Fernandes, D., Carvalho, G., Benoliel, M. J., San Romão, M. V., & Barreto Crespo, M. T. (2010). Assessment of the presence and dynamics of fungi in drinking water sources using cultural and molecular methods. *Water Research*, 44(17), 4850–4859. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.018>

Pérez-Cruz, Y. G., Rangel-Ruiz, L. J., & Gamboa-Aguilar, J. (2013). Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biósfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México. *Hidrobiológica*, 23(1), 01–08.

Picardo, M., Filatova, D., Nuñez, O., & Farré, M. (2019). Recent advances in the detection of natural toxins in freshwater environments. *Trends in Analytical Chemistry*, 112, 75–86.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.017>

Pierce, M. L., & Ward, J. E. (2019). Gut Microbiomes of the Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*) and the Blue Mussel (*Mytilus edulis*): Temporal Variation and the Influence of Marine Aggregate-Associated Microbial Communities. *mSphere* 00730-19, 4(6), 17.
<https://doi.org/10.1128/mSphere.00730-19>

PNUD. (2018). *Ecosistema Manglar*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
<https://www.undp.org/es/guatemala/news/ecosistema-manglar>

PROFEPA, P. F. de P. al A. (2014, mayo 19). *México protege sus Manglares*. Gobierno de México.
https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/5117/1/mx/mexico_protege_sus_manglares.html

Ramos-Girona, A. J., Marín Sillué, S., Molino Gahete, F., Vila Donat, P., & Sanchis Almenar, V. (2020). Las micotoxinas: El enemigo silencioso. *Arbor*, 196(795), Article 795.
<https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1004>

Ramsar. (2010). *Uso racional de los humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales* (4a., Vol. 1). Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales. Secretaría de la Convención de Ramsar.

Ramsar. (2018). *Ampliar la conservación, el uso racional y la restauración de los humedales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible* (Los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible). Secretaría de la Convención de Ramsar. Convención de Ramsar sobre los humedales.

Revenge, C., Brunner, B., Jake, Henninger, N., Kassem, K., & Payne, R. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems* (D. Hosansky, Ed.). World Resources Institute. <https://www.wri.org/research/pilot-analysis-global-ecosystems-freshwater-systems>

Reyes-Velázquez, C., Castañeda-Chávez, M. del R., Landeros-Sánchez, C., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., Minguez-Rodríguez, M. M., & Nikolskii-Gavrilov, I. (2010). Vibrios patogénicos en el ostión *Crassostrea virginica* en el sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, 20(3), 238–245.

Rivera Arriaga, E. I., Azuz-Adeath, I., Alpuche Gual, L., & Villalobos-Zapata, G. J. (Eds.). (2010). *Cambio Climático en México: Un Enfoque Costero y Marino*. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad. Gobierno del Estado de Campeche. <https://doi.org/10.13140/2.1.3832.3206>

Rodríguez-Varela, A. del C., Barreto-Segura, O. A., & Vázquez-López, H. (2020). Variación espacio-temporal de tres especies de tanaidáceos (crustacea: Peracarida) en el sistema

lagunar de Mandinga, Veracruz, México en el periodo 2008-2015. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 13. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082e.2020.13.77320>

Rodríguez-Zúñiga, M., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-Mac Donald, L., & Galindo-Leal, C. (2013). *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo*. (1a ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Romero, P. (2011). *Establecimiento de la línea base ecotoxicológica de la zona costera del Golfo de México. Fase I* (Informe Final). Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.

Sallenave, C., Pouchus, Y. F., Bardouil, M., Lassus, P., Roquebert, M.-F., & Verbist, J.-F. (1999). Bioaccumulation of mycotoxins by shellfish: Contamination of mussels by metabolites of a *Trichoderma koningii* strain isolated in the marine environment. *Toxicon*, 37(1), 77–83.

Samson, R. A., Hoekstra, E. S., & Frisvad, J. C. (2004). *Introduction to food- and airborne fungi* (7th Edition). Centraalbureau voor Schimmelcultures.

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., & Zambrano, L. (Eds.). (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1a.). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

Santillán-Mendoza, R., Rodríguez-Alvarado, G., Fernández-Pavía, S. P., Vázquez-Marrufo, G., Montero-Castro, J. C., & Benítez-Malvido, J. (2017). Micotoxinas: ¿Qué son y cómo afectan a la salud pública? *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 18(6), 1–11.

SEMARNAT. (2023). *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México*. Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores21/conjuntob/02_aqua/02_calidad_presion.html

Silva, R., Martínez, Ma. L., Moreno-Casasola, P., Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez, G., Martínez-Martínez, R., Monroy-Ibarra, R., Cáceres-Puig, J. I., Ramírez-Hernández, A., & BoyTamborell, M. (2017). *Aspectos generales de la zona costera*. UNAM, INECOL.

Smaoui, S., D'Amore, T., Agriopoulou, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). Mycotoxins in Seafood: Occurrence, Recent Development of Analytical Techniques and Future Challenges. *Separations*, 10(3), 217. <https://doi.org/10.3390/separations10030217>

Steciow, M. M. (1998). Hongos acuáticos (Chytridiomycota, Oomycota) de la laguna Vitel y tributarios (Buenos Aires, Argentina). *Darwiniana*, 36(1/4), 101–106.

USDA. (2022). *Hongos en los Alimentos: ¿Son Peligrosos?* | Food Safety and Inspection Service. Food Safety and Inspection Service. <http://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/molds-food-are-they-dangerous-0>

Vázquez, G., & Martínez, M. L. (2022). Lagunas costeras, mucho más que agua. *Artículo publicado en la Crónica y el Portal de Comunicación Veracruzana el 29 de marzo de 2022.*

<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1659-lagunas-costeras-mucho-mas-que-agua>

Vázquez-Botello, A., de la Lanza-Espino, G., Villanueva-Fragoso, S., & Ponce-Velez, G. (2019).

Pollution Issues in Coastal Lagoons in the Gulf of Mexico. En *Pollution Issues in Coastal Lagoons in the Gulf of Mexico*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86537>

Wasser, S. P., & Weis, A. L. (1999). Medicinal Properties of Substances Occurring in Higher Basidiomycetes Mushrooms: Current Perspectives (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 1(1), 31–62. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v1.i1.30>

WHO, O. M. de la S. (2023). *Micotoxinas*. Acceso/Centro de prensa/Notas descriptivas/Detalle/Micotoxinas. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/mycotoxins>

Xie, J. (2018). *Recent Advances on Determination Methods of Mycotoxins and Marine Biotoxins*.

Zannella, C., Mosca, F., Mariani, F., Franci, G., Folliero, V., Galdiero, M., Tiscar, P. G., & Galdiero, M. (2017). Microbial Diseases of Bivalve Mollusks: Infections, Immunology and Antimicrobial Defense. *Marine Drugs*, 15(6), 182. <https://doi.org/10.3390/md15060182>

XI. APÉNDICE

Apéndice I. Secuenciación de aislados



Figura 14. Electroferograma

>CIMA_IL003

```
AGAGGAAGTAAAAGTCGTAACAAGGTCTCCGTTGGTGAACCAGCGGAGGGATCATTACCG
AGTTTACAACCTCCCAAACCCCTGTGAACATACCACTTGTGCTCGGCGGATCAGCCCGC
TCCCGGTAAAACGGGACGGCCCGCCAGAGGACCCCTAAACTCTGTTTCTATATGTAACTT
CTGAGTAAAACCATAAATAAATCAAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCG
ATGAAGAACGCAGCAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCAT
TTCAACCCTCAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGTTAATTCGCGTTCCCAAATTGA
TTGGCGGTCACGTGAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCCTCGTTACTGGTAATCGTC
GCGGCCACGCGTTAAACCCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCC
GCTGAACTTAAGCATATCAA
```

Descriptions		Graphic Summary	Alignments	Taxonomy					
Sequences producing significant alignments					Download	Select columns	Show	100	
<input checked="" type="checkbox"/> select all 100 sequences selected					GenBank	Graphics	Distance tree of results	MSA Viewer	
	Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum isolate N-61-2 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	585	MT560381.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum isolate N-60-1 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	584	MT560380.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum isolate N-19-2 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	583	MT560342.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum clone ESR1 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed s...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	582	MK226163.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum isolate BC-1(F1) small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcrib...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	565	MH782043.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum strain RBP3 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed s...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	1666	MH100701.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum isolate DSM 106934 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal trans...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	1124	MH053398.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum strain FPM43 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	617	MF281310.2
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum f. sp. cumini partial 18S rRNA gene for 18S ribosomal RNA, strain F11	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	7705	LT841208.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. B-3-1 genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA, partial and complete sequence	Fusarium sp.	1035	1035	100%	0.0	100.00%	1067	LC782949.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. B-2-1 genes for 18S rRNA, ITS1, 5.8S rRNA, ITS2, 28S rRNA, partial and complete sequence	Fusarium sp.	1035	1035	100%	0.0	100.00%	764	LC782948.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. OTU005 AN-2016 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8...	Fusarium sp. OT...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	564	KU556491.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. isolate JP30 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, ...	Fusarium sp.	1035	1035	100%	0.0	100.00%	697	QQ297080.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Uncultured Fusarium clone ITS_184 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, ...	uncultured Fusa...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	585	KM889543.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. PSU-ES115 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribo...	Fusarium sp. PS...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	575	JN116651.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Uncultured fungus genomic DNA containing ITS1, 5.8S rRNA gene and ITS2, clone 12C16d-ITS1F-3-87	uncultured fungus	1035	1035	100%	0.0	100.00%	582	HG327889.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Uncultured Fusarium clone TVD ITS1F-ITS4_26 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcri...	uncultured Fusa...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	584	KF493926.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Uncultured Fusarium clone TVD ITS1F-ITS4_17 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcri...	uncultured Fusa...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	583	KF493917.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum strain PE-S1-17g small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcrib...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	585	OL919445.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum strain PP-S3-16g small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcrib...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	585	OL919444.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum strain PE-S1-15g small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcrib...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	586	OL919443.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum f. sp. cumini strain F11 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	656	KJ653447.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. Ecu311 18S ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosom...	Fusarium sp. Ec...	1035	1035	100%	0.0	100.00%	822	KF472154.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium oxysporum clone SF_248 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed...	Fusarium oxysp...	1033	1033	99%	0.0	100.00%	561	MT529524.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Fusarium sp. isolate JP48 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, ...	Fusarium sp.	1033	1033	99%	0.0	100.00%	695	QQ297096.1

Figura 15. Secuencias alineadas con CIMA_IL003

Fusarium oxysporum clone ESR1 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence; internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gene, and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence

Sequence ID: [MK226163.1](#) Length: 582 Number of Matches: 1

Range 1: 12 to 571 [GenBank](#) [Graphics](#) ▾ Next Match ▲ Previous Match

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1035 bits(560)	0.0	560/560(100%)	0/560(0%)	Plus/Plus
Query 1	AGAGGAAGTAAAAGTCGTAAC	AAGGTC	TCCGTTGGTGAAC	AGCGGAGGGATCATTACCG 60
Sbjct 12	AGAGGAAGTAAAAGTCGTAAC	AAGGTC	TCCGTTGGTGAAC	AGCGGAGGGATCATTACCG 71
Query 61	AGTTTACAAC	TCCC	AAACCCCTGTGAACATACCACTTGTTCCTCGGCGGATCAGCCCGC 120	
Sbjct 72	AGTTTACAAC	TCCC	AAACCCCTGTGAACATACCACTTGTTCCTCGGCGGATCAGCCCGC 131	
Query 121	TCCCGTAAAACGGGACGGCCGCGCAGAGGACCCCTAAACTCTGTTTCTATATGTAACTT 180			
Sbjct 132	TCCCGTAAAACGGGACGGCCGCGCAGAGGACCCCTAAACTCTGTTTCTATATGTAACTT 191			
Query 181	CTGAGTAAAACCATAAATAAATCAA	AACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCG 240		
Sbjct 192	CTGAGTAAAACCATAAATAAATCAA	AACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCG 251		
Query 241	ATGAAGAACGACGAAAATGC	GATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA 300		
Sbjct 252	ATGAAGAACGACGAAAATGC	GATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA 311		
Query 301	ATCTTTGAACGCACATTGCGCCG	CCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCAT 360		
Sbjct 312	ATCTTTGAACGCACATTGCGCCG	CCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCAT 371		
Query 361	TTCAACCCCAAGCACAGCTTGGT	GTTGGGACTCGCGTTAATTCGCGTTC	CCCCAAATTGA 420	
Sbjct 372	TTCAACCCCAAGCACAGCTTGGT	GTTGGGACTCGCGTTAATTCGCGTTC	CCCCAAATTGA 431	
Query 421	TTGGCGGTCACGTCGAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCCCTCGTTACTGGTAATCGTC 480			
Sbjct 432	TTGGCGGTCACGTCGAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCCCTCGTTACTGGTAATCGTC 491			
Query 481	GC	GGCCACGCGTTAAACCCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCC 540		
Sbjct 492	GC	GGCCACGCGTTAAACCCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCC 551		
Query 541	GCTGAACCTAAGCATATCAA 560			
Sbjct 552	GCTGAACCTAAGCATATCAA 571			

Figura 16. Sequence ID: MK226163

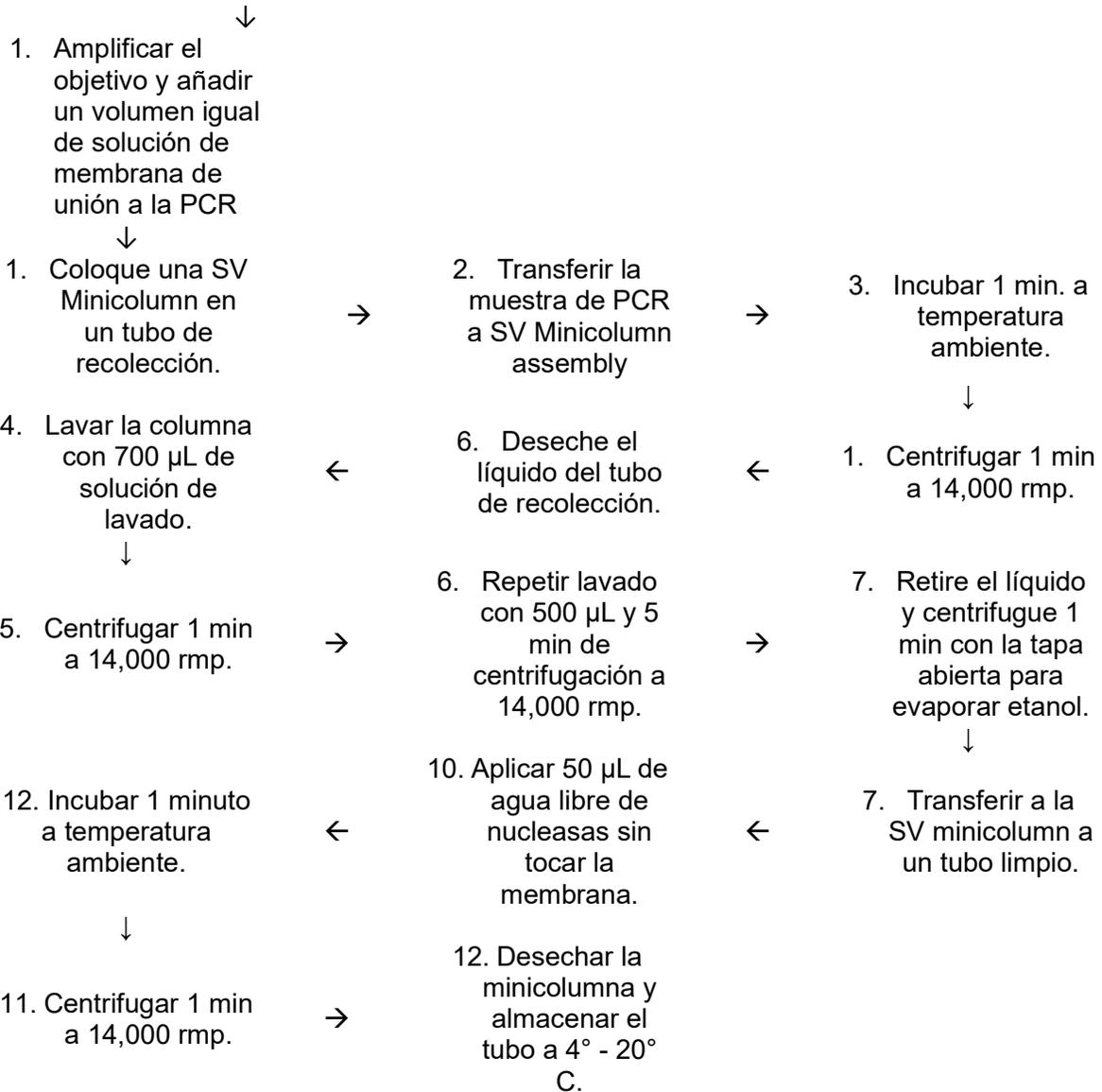
Apéndice II. Protocolo de extracción de ADN del Centro de Investigación en Micología Aplicada.

1. Enjuagar las larvas con agua destilada estéril y colocarlas en tubos de microcentrifuga estériles de 1.5 mL. La extracción se puede realizar partir de un fragmento de la larva.
2. Adicionar 300 μ L de solución búffer de extracción (200 mM Tris-HCl, pH 8.0, 250 mM NaCl, 25 mM EDTA, 7 %f% SDS).
3. Macerar con un pistilo estéril con la ayuda de un taladro manual.
4. Congelar a -18°C por 25 min.
5. Volver a macerar con otro pistilo nuevo estéri
6. Agregar 0.5 vol. (150 μ L)de Acetato de Sodio pH 5.8 3M
7. Mezclar por inversión.
8. Incubar a -18°C por 20 min
9. Descongelar y dar vortex.
10. Centrifugar a 13,200 rpm por 5 min.
11. Transferir el sobrenadante a otro tubo de microcentrifuga estéril de 1.5 1.5 ml.
12. Adicionar 1 vol.de Isopropanol frio (-18°C).
13. Mezclar por inversión.
14. Incubar a -18°C por 25 min.
15. Centrifugar a 13,200 rpm for 15 min para precipitar el DNA.
16. Eliminar el sobrenadante teniendo cuidado de no perder la pastilla del DNA.
17. Lavar la pastilla con 200 μ L de etanol al 70% a -18°C .
18. Centrifugar a 13,000 pm por 5 min.
19. Eliminar el sobrenadante teniendo cuidado de no eliminar la pastilla del DNA.
20. Lavar la pastilla con 200 μ L de etanol al 70% a -18°C .
21. Repetir los pasos 18 al 20 dos eventos más

22. Centrifugar a 13,000 rpm por 5 min
23. Eliminar el sobrenadante teniendo cuidado de no eliminar la pastilla del DNA
24. Lavar la pastilla con 200 ul de etanol al 100% a -18°C
25. Centrifugar a 12,000 rpm por 5 min.
26. Eliminar el sobrenadante teniendo cuidado de no eliminar la pastilla del DNA
27. Invertir los tubos en papel absorbente estéril y dejar secar la pastilla a temperatura ambiente (+ 23°C) en una campana de flujo laminar durante 1 h.
28. Resuspender el DNA en 30 hL en agua destilada estéril libre de nuclease y usar 2 -5 hL por reacción de PCR.
29. Cargar 5 uL del DNA para visualizar la integridad y cantidad de DNA mediante electroforesis horizontal en gel de agarosa al 1.4%. Es recomendado usar un marcador de masas de DNA para determinar la cantidad de DNA total extraído.

Apéndice III. Protocolo de purificación de ADN

A. PRODUCTO DE AMPLIFICACIÓN



Apéndice IV. Memoria fotográfica.



Figura 17. Muestreo



Figura 18. Aislamiento y crecimiento micelial.



Figura 19. Identificación morfológica.

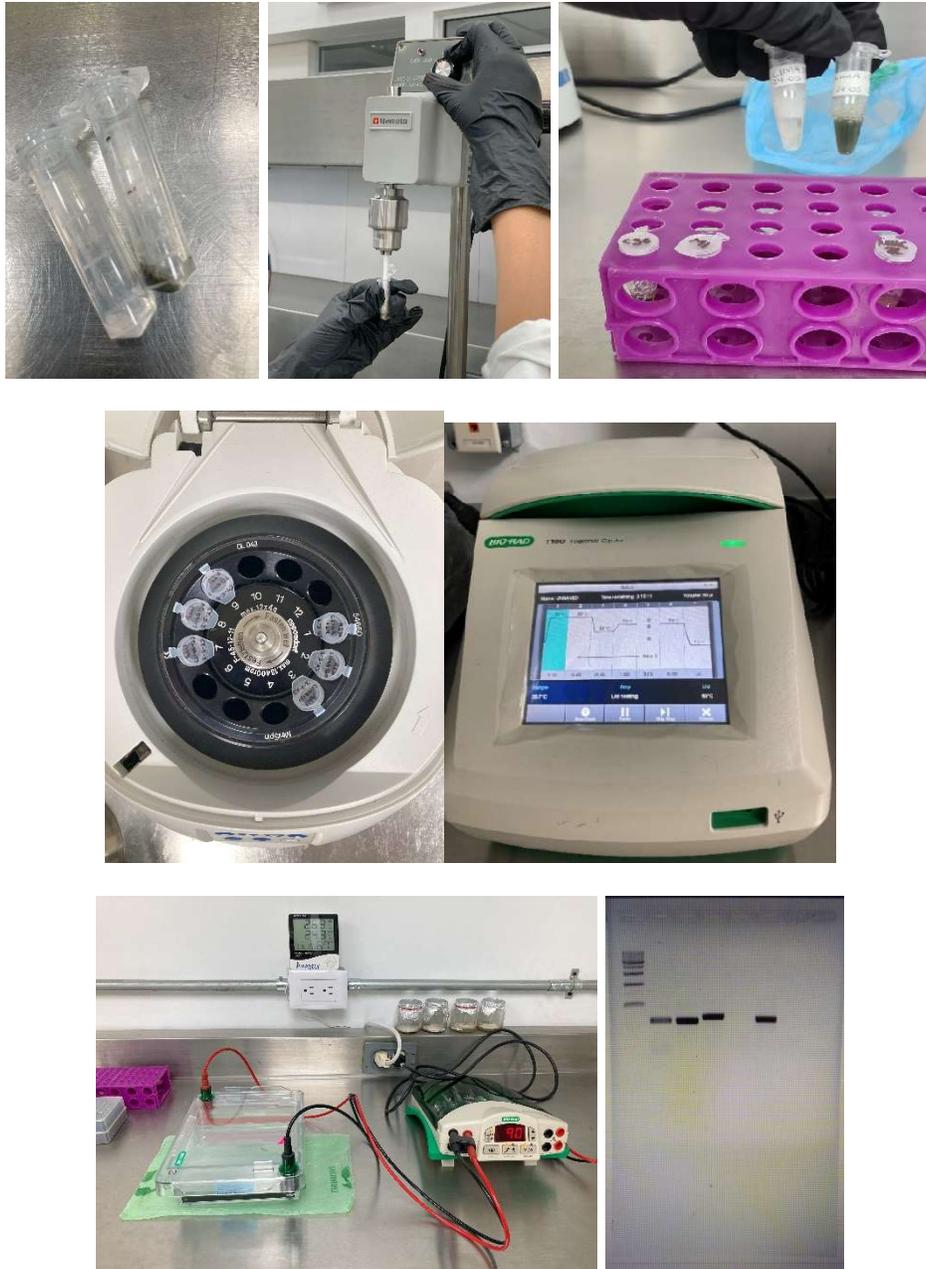


Figura 20. Extracción de ADN

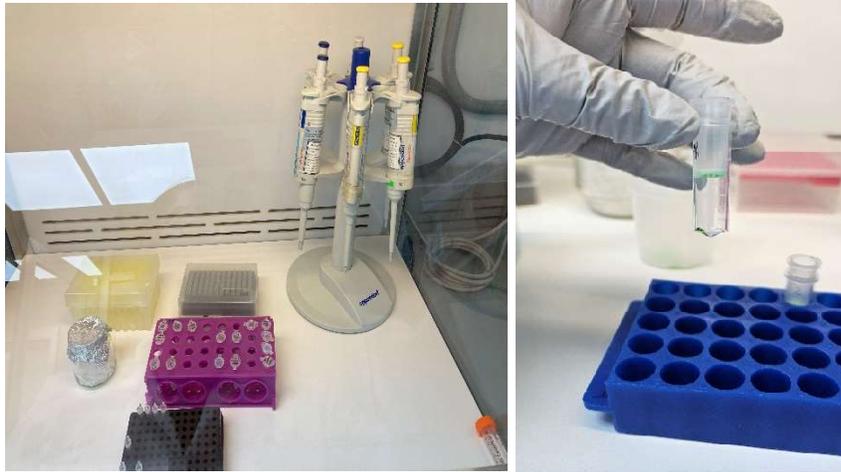


Figura 21. Purificación de ADN