



DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
POSGRADO EN BIOLOGÍA

**“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE LOS
CIANOPROCARIOTES MARINOS BÉNTICOS DEL ORDEN
OSCILLATORIALES EN LAS COSTAS DE VERACRUZ, MÉXICO”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN BIOLOGÍA
QUE PRESENTA
BIOL. ANNIE MAY EK GARCIA GARCIA
MATRÍCULA: 2223803961
ORCID: 0000-0003-2463-3278
CORREO: targarienannie@gmail.com

CO-DIRECTOR: DR. ABEL SENTIES GRANADOS
CO-DIRECTOR: DRA. MARÍA LUISA NÚÑEZ RESENDIZ
ASESOR: DRA. MARTHA ISABEL VILCHIS ALFARO

JURADO
PRESIDENTE:
DRA. MARTHA ISABEL VILCHIS ALFARO
SECRETARIA:
M. EN C. MARÍA EUGENIA ZAMUDIO RESENDIZ
VOCAL:
M. EN C. ALEXIS ESCÁRCEGA BATA
VOCAL:
M. EN B. OSCAR EDUARDO HERNÁNDEZ CERVANTES

IZTAPALAPA, CIUDAD DE MÉXICO A 30 DE OCTUBRE DEL 2024.

"La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
pertenece al Padrón Nacional de
Posgrados de Calidad del CONACyT"

El jurado designado por la

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

NOMBRE DEL ALUMNO: GARCÍA GARCÍA ANNIE MAY EK

El día 30 de Octubre del año de 2024.

Comité Tutorial y Jurado

Co-Director: Dr. María Luisa Núñez Resendiz



Co-Director: Tutor: Dr. Abel Sentíes Granados



Asesor: Dra. Martha Isabel Vilchis Alfaro



Sinodal: Dra. Martha Isabel Vilchis Alfaro



Sinodal: M. en C. María Eugenia Zamudio Reséndiz



Sinodal: M. en C. Alexis Escárcega Bata



Sinodal: M. en B. Oscar Eduardo Hernández Cervantes



Agradecimientos institucionales

A la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, que me brindó la oportunidad y el apoyo para realizar y concluir mis estudios de Maestría

Se agradece el apoyo del programa de posgrado Maestría en Biología de la UAM-Iztapalapa, por la oportunidad y el apoyo para la realización de un posgrado.

El presente trabajo de tesis se desarrolló en el Laboratorio de Macroalgas Marinas y Salobres, del Departamento de Hidrobiología, en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, durante los dos años de la maestría, bajo la supervisión del comité tutorial integrado por la Dra. María Luisa Núñez Resendiz y el Dr. Abel Sentíes Granados codirectores y Dra. Martha Isabel Vilchis Alfaro como asesor.

La versión final del trabajo de tesis fue revisada por el jurado de examen conformado por la Dra. Martha Isabel Vilchis Alfaro, el M. en B. Oscar Eduardo Hernández Cervantes, el M. en C. Alexis de Jesús Escárcega Bata y la M. en C. María Eugenia Zamudio Reséndiz.

La realización y conclusión del presente trabajo fue posible gracias al apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), mediante la beca CVU 1256053 de manutención proporcionada durante el tiempo de duración del programa de maestría.

El financiamiento económico para salidas de campo e insumos de laboratorio fue solventado con el apoyo de los proyectos institucionales UAMI-14708005, UAMI-CBS2023-2026 y UAMI-CA-117, Programa para el Desarrollo Profesional Docente de la Secretaría de Educación Pública (PRODEP-SEP), del Laboratorio de Macroalgas Marinas y Salobres, departamento de Hidrobiología de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

La realización del trabajo molecular se llevó a cabo con la infraestructura del Laboratorio Especializado de Ficología Molecular del área de Ficología Comparada, Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud UAM

Unidad Iztapalapa, bajo la supervisión y asesoramiento en las técnicas moleculares por parte de la Dra. María Luisa Núñez Reséndiz

Se agradece enormemente al Biólogo Ernesto Cabrera Becerril, por su apoyo brindado tanto en la toma de fotografías, edición de imágenes y construcción de láminas de figuras, así como por su apoyo durante la elaboración y mantenimiento de cultivos de cianoprocariontes y métodos moleculares.

Declaración de originalidad

El (La) que suscribe Annie May Ek García García, alumno (a) del posgrado Maestría en Biología, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y autor(a) de la tesis o idónea comunicación de resultados titulada: “_Caracterización morfológica y molecular de los cianoprocariontes marinos bénticos del orden Oscillatoriales en las costas de Veracruz, México_”

Declaro que:

1. La tesis o idónea comunicación de resultados que presento ante **el H. Jurado** para lo obtención del grado de **Maestra en Biología** es de mi autoría y original creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis o idónea comunicación de resultados no he reproducido párrafos completos; ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el _30_ de octubre del 2024

Atentamente



Annie May Ek García García

Nombre y firma del alumno

Este documento debe ser firmado con tinta azul y debe anexarse copia en la tesis o idónea comunicación de resultados (tesina, reporte, etc.), el documento original será conservado por el Coordinador del Posgrado

Agradecimientos personales

Gracias a la vida que me ha dado tanto: Me dio dos luceros, mis padres Felix García Martínez y Laurencia Andrea García García, mi amor eterno Ernesto Cabrera Becerril con quien disfruto las playas y desiertos, montañas y llanos, gracias a Augusto Cabrera Manuel y Rebeca Becerril González que me han dado el amor y apoyo, que compartieron sin restricción.

ÍNDICE

1- Resumen	14
1.1- Abstract	15
2- Introducción	17
3- Antecedentes	25
4- Justificación	26
5- Preguntas de investigación	27
6- Hipótesis	28
7- Objetivos	28
7.1- Objetivo general	28
7.2- Objetivos específicos	28
8- Material y métodos	29
8.1- Área de estudio	29
8.2- Trabajo de campo	30
8.3- Cultivos	36
8.4- Morfología	36
8.5- Morfometría	37
8.6- Filogenia	38
9- Resultados	40
9.1- Morfología	41
9.1.1- Listado taxonómico	41
9.1.2- Descripciones morfológicas	43
9.1.2.1- Familia Oscillatoriaceae	44
9.1.2.1.1- <i>Lyngbya semiplena</i> J. Agardh ex Gomont (Fig. 6)	44
9.1.2.1.2- <i>Phormidium ambiguum</i> Gomont (Fig. 7)	47
9.1.2.1.3- <i>Phormidium lucidum</i> Kützing ex Gomont	50
9.1.2.2- Familia Microcoleaceae	52
9.1.2.2.1- <i>Leibleinia inconspicua</i> (Skuja) Anagnostidis & Komárek (Fig. 9)	52
9.1.2.3- Familia Coelofasciculaceae	54
9.1.2.3.1- <i>Coleofasciculus chthonoplastes</i> (Gomont) M. Siegesmund, J.R. Johansen & T. Friedl (Fig. 10)	54
9.1.2.4- Familia Leptolyngbyaceae	57

9.1.2.4.1- <i>Leptolyngbya jadertina</i> (Kützing ex Hansgirg) Anagnostidis ..	57
9.1.2.5- Familia Trichocoleusaceae	59
9.1.2.5.1- <i>Schizothrix</i> cf. <i>helva</i> Frémy (Fig. 12)	59
9.1.3- Morfotipos	61
Morfotipo A (Fig. 13)	61
Morfotipo B (Fig. 14)	62
Morfotipo C (Fig. 15)	63
Morfotipo D (Fig. 16)	66
Morfotipo D.1. <i>Jaaginema</i> sp. (Fig. 17)	67
Morfotipo E. <i>Schizothrix</i> sp. (Fig. 18)	69
Morfotipo G (Fig. 20)	73
9.2- Morfometría	74
9.3- Filogenia	79
9.3.1- Distancias genéticas interespecíficas.	83
10- Discusión	87
10.1- Morfología	87
10.2- Morfometría	89
10.3- Filogenia	90
11- Consideraciones	93
12- Conclusiones	94
13- Referencias	96
14- Anexos	106

Índice de Figuras

Fig. 1. Ubicación geográfica del estado de Veracruz y las localidades muestreadas.	31
Fig. 2. Localidad Costa de Oro. A) Lado sur de la localidad. B) Lado norte de la localidad. C) Crecimiento mucilaginoso, por su consistencia viscosa. D) Crecimientos café a verde oscuro. E) Crecimiento filamentosos sobre estructura de cemento. F) Diferentes crecimientos de cianoprocariontes sobre estructura de cemento, frente a desagüe. Las flechas señalan crecimientos de cianoprocariontes.	33
Fig. 3. Localidad Morro de La Mancha. A) Vista panorámica del sitio, la flecha señala el punto de colecta. B) Litoral rocoso. C) Plataforma arrecifal sumergida, flecha señala el punto de colecta, muestras subacuáticas. D) Muestra sumergida aproximadamente a 15 cm. E) Muestras subacuáticas liberando oxígeno. F) Muestra de la plataforma arrecifal, flecha muestra crecimientos de cianoprocariontes. G) Muestra de litoral rocoso a orillas de la costa. H) Las flechas señalan crecimientos de cianoprocariontes epizoicos.	34
Fig. 4. Localidad Playa Muñecos. A) Vista panorámica del sitio. B) Crecimientos epilíticos verde oscuro. C) Muestra verde-oscuro a negro. D) Muestra vista desde microscopio estereoscópico. E) Muestras en poza de marea, las flechas señalan los crecimientos. F) Tres crecimientos diferentes señalados con flechas.	35
Fig. 5. I, II, III) Tipos de células que conforman los tricomas en cianoprocariontes. IV y V) Medidas que se toman en cuenta para la identificación de especies y géneros; IV= Células del ápice; V= Células intermedias; A=Ancho; L=Largo; D1=Diagonal 1; D2= Diagonal 2. VI) Medidas tomadas en los gránulos de pigmento. VII) medidas tomadas en los aerotopos.	37
Fig. 6. <i>Lyngbya semiplena</i> . A) Tricoma. B) Hormogónios, con N se indica la formación de los necridios. C) Detalle del tricoma mostrando la formación de un necridio (N) y gránulos de pigmento (Gp). D) Detalle del tricoma mostrando la forma de las células. E) Cultivo líquido, la flecha muestra acumulación de <i>L. semiplena</i> en la superficie del agua. F) Frasco girado, la flecha muestra al tricoma fijándose a lo largo de la pared del recipiente, principalmente en las zonas con agua. Escala= 20 µm.	46
Fig. 7. <i>Phormidium ambiguum</i> . A) Tricomas y hormogonios. B) Detalle de filamento aislado. C) Detalle de filamentos mostrando vacuolas en la zona ecuatorial del filamento, indicados con flechas. D) Hormogonios (H), en vaina. E) Células solitarias (indicadas con flecha) en la vaina, de forma circular, indicando la forma cilíndrica del tricoma. F) Tricoma curvado (indicado con flecha). Escala= 20 µm.	49
Fig. 8. <i>Phormidium lucidum</i> . A) Detalle del ápice del tricoma con caliptra (AC). B) Filamento visto en el extremo opuesto, mostrando ápice sin caliptra (AS). C) Detalle de necridios (N) en el tricoma. D) Detalle de las células en el tricoma, mostrando el acomodo de los gránulos de pigmento (flechas). Escala= 20 µm.	51
Fig. 9. <i>Leibleinia inconspicua</i> . A) Tricoma con ondulaciones o curvaturas, mostrando la flexibilidad del tricoma. B) Filamentos de diferentes tamaños. C) Fijación del tricoma a la vaina de la heterocistosa, señalado con una flecha. D) Varios tricomas por vaina, principalmente rectos, no enroscados en la heterocistosa. Escala= 20 µm.	53

Fig. 10. <i>Coleofasciculus chthonoplastes</i> . A) Detalle de tricoma fasciculado. B) Detalle de la forma de los ápices (a) en el tricoma. C) Detalle de la vaina (v), señalada con flecha. D) Formación de necridios (N) en el tricoma. Escala= 20 µm.....	56
Fig. 11. <i>Leptolyngbya jadertina</i> . A) Detalle del tricoma mostrando células con gránulos de pigmento (Gp). B) Detalle de tricoma mostrando necridios (N) en formación. C) Remanente de la vaina señalado con una flecha. D) Filamento mostrando la flexibilidad que puede tener el tricoma. Escala = 20 µm.....	58
Fig. 12. <i>Schizothrix</i> cf. <i>helva</i> . A) Detalle del tricoma. B) Detalle de los tricomas mostrando su flexibilidad. C) Detalle del ápice (a), de un tricoma. D) Detalle de diferentes tricomas contenidos en una misma vaina. Escala= 20 µm.	60
Fig. 13. Morfotipo A. Tricoma con detalle de las células que lo conforman, vaina visible. Escala= 20 µm.	62
Fig. 14. Morfotipo B. A) Células del tricoma. B) Detalle del ápice. C) Mayor detalle del tipo de células. D) Flexibilidad del tricoma. Escala 20 µm.....	63
Fig. 15. Morfotipo C. A) Ejemplo del tricoma. B) Ápice. C) Tricoma enroscado en vaina. D) Ramificación falsa, indicada con flecha. E) Cambio de forma en el tricoma, señalado con la flecha. F) Cambio de la forma de la célula, indicado con flecha. Escala 20 µm.	65
Fig. 16. Morfotipo D. A) Tricoma. B) Tricoma enredado en otros tricomas. C) Detalle de las células. D) Tipo de ápices y vaina visible. Escala 20 µm.....	67
Fig. 17. Morfotipo D.1. A) Vista general de los tricomas, Escala 20 µm. B) Detalle de las células del tricoma. C) Forma del ápice. D) Flexibilidad del tricoma. Escala 6 µm.	68
Fig. 18. Morfotipo E. A) Tricoma fasciculado. B) Forma del ápice y vaina abierta. C) Vista particular del tricoma. D) Detalles de la célula. Escala= 20 µm.....	70
Fig. 19. Morfotipo F. A) Detalles del tricoma. B) Forma de las células que componen el tricoma. C) Pliegues del tricoma. D) Sobreposición de tricomas y amplia vaina hialina. Escala 20 µm.	72
Fig. 20. Morfotipo G. A) Tricoma fasciculado. B) Vaina lamelada. C) Señalado con una flecha el ápice. D) Tricomas con separación evidente entre filamentos, señalado con una flecha.....	74
Fig. 21. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los ápices.....	76
Fig. 22. Dendrograma. Resultado del análisis de agrupamiento bajo el índice de disimilitud euclidiana y el algoritmo UPGMA, basado en cuatro caracteres cuantitativos tomados en los ápices.....	76
Fig. 23. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en las células intermedias.	77
Fig. 24. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los gránulos de pigmento.....	77
Fig. 25. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los aerotopos.	78
Fig. 26. Árbol consenso. gen 16S para especies de Oscillatoriales y afines, mostrando los valores de soporte de IB (izquierda) y de ML (derecha), en los nodos de las ramas. Con * se indica el máximo soporte filogenético, con - se indica valores por debajo de 50. En color naranja (Clado A) y verde (Clado B), se resaltan los grandes grupos hermanos formados. Los números romanos del I al V, indican los	

subclados formados al interior del clado B. Las secuencias generadas en el presente estudio se muestran en negrita.	82
Fig. 27. Artículo en revisión. Actualización taxonómica de las especies de Oscillatoriales (Cyanoprocaryota) marinas en el Atlántico mexicano.	108
Fig. 28. Artículo en revisión Riqueza específica y nuevos registros de las especies marinas de Colelofasciculales, Leptolyngbyales y Oscillatoriales (Cianoprocariontes) de La Mancha, Veracruz, México.	109
Fig. 29. Artículo conjunto. DIVERSITY OF MARINE BENTHIC SPECIES OF NOSTOCALES (CYANOBACTERIA) IN VERACRUZ, MEXICO.	110
Fig. 30. Participación con cartel, en La Semana de la Hidrobiología, 2023.	111
Fig. 31. Participación con infografía en La Semana de la Hidrobiología, 2023.	112

Índice Tablas

Tabla 1. Comparación de las características morfológicas y ecológicas diagnósticas entre las especies que conforman a las diferentes familias de Oscillatoriales.	20
Tabla 2. Resumen de la literatura en que se registran especies de Oscillatoriales para Veracruz. Se presentan clasificadas por tipo de obras: CL) Capítulo de libro; A) Artículo; CT) Catálogo.	26
Tabla 3. Localidades de colecta en el estado de Veracruz, en marzo del 2020 y agosto 2022.	31
Tabla 4. Oligonucleótidos moleculares. Características y secuencia específica de los oligonucleótidos utilizados en la amplificación de las especies de Oscillatoriales y afines.	39
Tabla 5. Condiciones. Condiciones específicas de PCR empleadas para la amplificación de los oligonucleótidos utilizados en el presente estudio.	39
Tabla 6. Listado taxonómico. de las especies de Oscillatoriales y órdenes afines registradas para el estado de Veracruz. Con "X", se indica a las especies vistas en este estudio. En la columna de sinónimos se indica el nombre con el que fueron registradas originalmente, actualmente sinónimos de otras especies. Tamps) Tamaulipas. Ver) Veracruz. Tab) Tabasco. Cam) Campeche. Yuc) Yucatán. QRoo) Quintana Roo. En negrita, se indican los registros que contienen descripciones morfológicas e ilustraciones.	41
Tabla 7. Porcentajes de varianza que explican los primeros dos componentes principales para cada grupo de estructuras analizadas.	75
Tabla 8. Especímenes confirmados molecularmente de las especies de Oscillatoriales y afines para el estado de Veracruz, México.	80
Tabla 9. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género <i>Leptolyngbya</i>	84
Tabla 10. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género <i>Lyngbya</i>	85
Tabla 11. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género <i>Phormidium</i>	85
Tabla 12. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género <i>Romeria</i>	86

1- Resumen

Uno de los grupos más conspicuos, tanto por su abundancia como importancia ecológica y económica, son los Oscillatoriales, con un talo filamentoso, sin células especializadas como heterocitos y acinetos, muchas son formadoras de FAN (Florecimientos Algales Nocivos) potencialmente tóxicos, por la producción de hepatotoxinas, neurotoxinas y citotoxinas. No obstante, la principal fuente bibliográfica para la identificación constituye un tratado de especies europeas de ambientes templados y fríos, por lo que, las características morfológicas no coinciden con los caracteres observados en las especies tropicales de ambientes marinos; otra problemática en el grupo es la falta de estudios ya que se les suele incluir en listados florísticos regionales. En el presente trabajo, se caracterizó morfológica y molecularmente a las especies de cianoprocariontes marinos bénticos del tipo Oscillatoriales y afines, en las costas de Veracruz, México; proporcionando descripciones morfológicas detalladas e ilustradas; así mismo, se realizó una evaluación morfométrica para detectar la existencia de un patrón de variación morfológica entre especies. Se obtuvieron secuencias moleculares de oligonucleótidos 16S rARN para caracterizar a estas especies y compararlas con secuencias previamente registradas en la base de datos de GenBank. A partir de las observaciones morfológicas, se presenta una lista actualizada de los cianoprocariontes marinos filamentosos para el estado de Veracruz, con una riqueza específica de 27 especies taxonómicamente correctas, distribuidas en 3 Ordenes (Oscillatoriales y afines), 5 familias y 12 géneros. Del total de especies, siete correspondieron con registros nuevos para el estado (representando un incremento

del 26% de la riqueza específica) y 4 para el Atlántico mexicano. Los Análisis de Componentes Principales, de los 7 nuevos registros, arrojaron seis componentes, de los cuales, los primeros dos explicaron más del 95% de la varianza. Las medidas que aportaron más información fueron el largo y el ancho de las células. En la caracterización filogenética, se obtuvieron 11 secuencias con el gen 16S rARN, un análisis de inferencia Bayesiana y distancias genéticas interespecíficas. A partir de la hipótesis obtenida, se establece que Coleofasciculales, Leptolyngbyales y Oscillatoriales no forman grupos monofiléticos, esto principalmente por las pocas secuencias de cianoprocariontes con las cuales comparar y realizar hipótesis robustas. Sin embargo, también evidenció la naturaleza polifilética del grupo. Se concluye que el conocimiento de la riqueza específica de los cianoprocariontes marinos bentónicos se encuentra subestimado en México, por lo que se sugiere un estudio profundo que integre los diferentes enfoques de análisis: morfológico, morfométrico y filogenético.

1.1- Abstract

One of the most conspicuous groups, both for its abundance and ecological and economic importance, are the Oscillatoriales, with a filamentous thallus, without specialized cells such as heterocytes and akinetes, many of which form BLOOMS potentially toxic, due to the production of hepatotoxins, neurotoxins and cytotoxins. However, the main bibliographic source for identification constitutes a treatise on European species from temperate and cold environments, therefore, the morphological characteristics do not coincide with the characters observed in tropical species from marine environments; Another problem in the group is the lack of studies since they are usually included in regional floristic lists. In the present work, the species of benthic

marine cyanoprokaryotes of the Oscillatoriales type and related species were morphologically and molecularly characterized on the coast of Veracruz, Mexico; providing detailed and illustrated morphological descriptions; Likewise, a morphometric evaluation was carried out to detect the existence of a pattern of morphological variation between species. Molecular sequences of the 16S rRNA oligonucleotides were obtained to characterize these species and compare them with sequences previously registered in the GenBank database. Based on morphological observations, an updated list of filamentous marine cyanoprokaryotes is presented for the state of Veracruz, with a specific richness of 27 taxonomically correct species, distributed in 3 Orders (Oscillatoriales and related), 5 families and 12 genera. Of the total species, seven corresponded to new records for the state (representing a 26% increase in specific richness) and 4 for the Mexican Atlantic. The Principal Component Analyzes of the 7 new records yielded six components, of which the first two explained more than 95% of the variance. The measurements that provided the most information were the length and width of the cells. In the phylogenetic characterization, 11 sequences with the 16S rRNA gene, a Bayesian inference analysis and interspecific genetic distances were obtained. From the hypothesis obtained, it is established that Coleofasciculales, Leptolyngbyales and Oscillatoriales do not form monophyletic groups, this mainly due to the few sequences of cyanoprokaryotes with which to compare and make robust hypotheses. However, it also evidenced the polyphyletic nature of the group. It is concluded that knowledge of the specific richness of benthic marine cyanoprokaryotes is underestimated in Mexico, so an in-depth study is suggested that integrates different analysis approaches: morphological, morphometric and phylogenetic.

2- Introducción

Los cianoprocariontes poseen las características típicas de las células procariontes, como la ausencia de organelos y la presencia de ADN en un único cromosoma circular; también presentan una pared celular tipo Gram negativa y glucógeno como material de reserva. Asimismo, poseen pigmentos accesorios del tipo ficocianina y ficoeritrina, contenidos en fotosistemas que se agrupan en el sistema intertilacoidal de la célula, lo que les confiere la capacidad de realizar fotosíntesis oxigénica como proceso metabólico primario; algunas especies producen metabolitos secundarios tóxicos (Lee, 2018) Presentan una gran variedad de tipos y formas de crecimiento, tales como cocoides, filamentosas, coloniales, unicelulares o pseudotejidos (León-Tejera *et al.*, 2009; Komárek, 2013). Se estima que surgieron hace 2500 ma en un ambiente de agua dulce y a los 2350 ma, también colonizaron los ambientes marinos (Lee, 2018), Actualmente, el número de especies taxonómicamente correctas, de acuerdo con Guiry y Guiry (2024) y Hauer y Komárek, 2022, es de 6024 especies, contenidas en 43 órdenes ampliamente distribuidas en el planeta, encontrándose en diferentes tipos de ambientes como son: los marinos, salobres, dulceacuícolas, terrestres o incluso extremófilos (salineras, geiseros, zonas desérticas, chimeneas hidrotermales, entre otros) (Anzures *et al.*, 2021), esto debido a que poseen diversas características adaptativas, como la presencia de vaina, la cual los protege de la desecación extrema y contra los rayos UV (debido a su composición y grosor) o la cualidad de entrar en un estado de dormancia o latencia ante la presencia de condiciones desfavorables, lo que le permite proteger su material genético (Shirkey *et al.*, 2003).

Algunas especies son formadoras de Florecimientos Algales Nocivos (FAN) debido principalmente a cambios fisicoquímicos en los ambientes en que viven, tales como el aumento de la temperatura, los altos niveles de fósforo y nutrientes disueltos, poca oxigenación, entre otros factores, favoreciendo la proliferación desmedida de cianoprocariontes (Komárek *et al.*, 2014, Sant'Anna *et al.*, 2008). En los ambientes marinos, dichas proliferaciones generan numerosos problemas a las especies asociadas, dada la disminución en la transparencia del agua, la cantidad y calidad de la luz que llega al fondo, la ocupación de espacio para el establecimiento de especies bentónicas, entre otras, causando pérdidas económicas y ecosistémicas importantes, así como daños a la salud humana, principalmente en asentamientos urbanos cercanos (Morales *et al.*, 2017).

Otra problemática importante es la mortalidad de organismos marinos de consumo humano, la cual es más que notoria y rápida, ya que, por ejemplo, las hepatotoxinas y neurotoxinas presentes en los cianoprocariontes causan hemorragias internas, inhibición de la transmisión de los impulsos nerviosos o crecimiento de carcinomas, principalmente en el hígado (Brolatto, 1994; Campos *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2017; Sant'Anna *et al.*, 2008).

Las especies del orden Oscillatoriales Schaffner, son de las principales formadoras de FAN, ya que son productoras de metabolitos secundarios del tipo hepatotoxinas y neurotoxinas, que afectan al hígado y al sistema nervioso, respectivamente; así como citotoxinas y endotoxinas que afectan a la membrana celular y al sistema inmunológico (Morales *et al.*, 2017).

Este orden en particular está conformado por cinco familias y 1405 especies (Tabla 1) que se caracteriza por presentar únicamente formas filamentosas, arreglada en

cadena de células uniseriadas, conectadas entre sí, con o sin vaina; carecen de heterocitos y acinetos, son variables tanto en forma como en tamaño; su reproducción es por fisión binaria y fragmentación, a través de la formación de necridios y hormogonios (Guiry y Guiry 2024, Zammit *et al.*, 2012).

Tabla 1. Comparación de las características morfológicas y ecológicas diagnósticas entre las especies que conforman a las diferentes familias de Oscillatoriales.

Familias	Filamento	Células	Ápice	Tricoma	Vaina	Reproducción	Ecología
Homoeotrichaceae	Filamentoso, solitario o en grupos. Sin heterocitos y acinetos.	Isodiamétricos en distintas variaciones.	Isopolar, atenuados en ambos extremos, similar a un pelo.	Arqueado por la mitad. Ramificación falsa.	Vaina firme, marrón o amarillenta, lamelada.	Por hormogonios, en ambos extremos.	En litoral, aguas cálidas y frías. Endogloicos de algas.
Microcoleaceae	Filamentos libres o en matas móviles, crecimientos espiralados, fasciculados.	Sin aerotopos o solo en las planctónicas, isodiamétricos. Con gránulos. Color rojo, amarillo, verde-azul, olivo, Tilacoide, perpendicular en la célula, muy amplio.	Sin caliptra, puede tener ápice atenuado, isopolar.	No ramificado Constreñido o no.	Generalmente ausente o facultativas, lamelada.	Tricomas hija pueden o no crecer cerca del progenitor Hormogonios y necridios.	Marinos, dulceacuícolas, lagunas hipersalinas, litoral marino, perifiton, epibionte de algas.
Oscillatoriaceae	Talo verde-azul, solitario o fasciculado, formador de biopelículas micro o macroscópico, móviles.	Cilíndricas. 4gránulos de cianoficina. No aerotopos Tilacoide parietal. células cilíndricas cortas, más cortas que anchas, discoides.	Sin atenuación o si, sin caliptra o con, ligeramente redondeado. Isopolares.	Recto o ligeramente curvado, flexuoso, Ligeramente constreñido. Tricomas dentro de una vaina firme o no.	Delgada y a veces incolora, vaina difluente y abierta en el ápice. A veces con ramificación falsa solo en vaina.	Hormogonios pequeños, con ayuda de necridios.	Únicamente acuáticos. Litoral marino, pantanos salinos, cerca de detrito.
Sirenicapillariaceae	Uniseriado, filamento, talo planctónico, fasciculado o no.	Interior granulado.	Isopolar, células redondeadas o cónicas, discoides, con caliptra o no.	Recto, ligeramente curvo o enrollado, constreñido o no.	Hialina y delgada.	Hormogonios con ayuda de necridios.	Béntico en costas marinas.

				Poco común la ramificación falsa.			
Vermifilaceae	Talo postrado, fasciculado, móvil.	Discoidales, verde oscuro, verde olivo, o rojo-morado. Mas cortas que anchas	Redondeadas o cónicas, en ocasiones con caliptra. Atenuación facultativa	Con constriccione s, uniseriados.	Ausente	Hormogonios, necridios y fragmentación.	Litoral marino, no cerca de manglares.

La taxonomía tradicional de este grupo está basada principalmente en la morfología de los organismos, siendo el tamaño y la forma de la célula (principalmente de los ápices), la constricción de las paredes, las granulaciones de pigmentos o minerales en el citoplasma y la presencia y tipo de vaina, los caracteres diagnósticos sugeridos para la identificación de las especies; no obstante, la validez de estos caracteres ha sido cuestionada debido al cambio en la morfología que presentan algunas especies, cuando se observan en condiciones controladas, llegando a modificar su morfología inicial (en condiciones naturales), lo que podría generar observaciones imprecisas y, con ello, identificaciones erróneas (Komárek y Anagnostidis, 2005). En la actualidad, los estudios en diversidad de cianoprocariontes, han incorporado técnicas moleculares que complementan la observación morfológica, lo que ha permitido el reconocimiento de nuevas especies y modificaciones en los sistemas clásicos de clasificación (Komárek *et al.*, 2014; Toro *et al.*, 2010).

En este sentido, el uso de los oligonucleótidos ribosomales 16S, 23S e ITS de rARN, han permitido diversos cambios en la estructura taxonómica del grupo, tales como la identificación de clados polifiléticos, que han resultado en cambios nomenclaturales como la descripción de nuevos taxa en todos los niveles jerárquicos (Chatchawan *et al.*, 2012; Komárek y Anagnostidis, 2005; Komárek *et al.*, 2014; León-Tejera *et al.*, 2016; Tatsuya *et al.*, 2001).

En México, Novelo y Tavera, (2019) registraron 883 especies, de las cuales León-Tejera *et al.* (2019) identificaron 164 para ambientes marinos, concretamente 148 con distribución en las costas mexicanas del Golfo de México y Caribe mexicano (Johansen *et al.*, 2011; Osorio-Santos *et al.*, 2014)

Particularmente, las especies de Oscillatoriales han sido escasamente estudiadas a nivel nacional, sobre todo en los ambientes marinos, a pesar de ser uno de los grupos más comunes en estos ambientes (Dreckmann, 2012; Komárek y Anagnostidis, 2005; Whitton y Potts, 2012). Desafortunadamente, la literatura especializada que se emplea tradicionalmente para la identificación de estas especies, por tratarse de compilaciones más amplias y completas sobre el grupo, está enfocada a los ambientes dulceacuícolas y templados o fríos y, en su mayoría, para especies europeas; por lo que, las descripciones referidas en dichas obras no suelen coincidir plenamente con los caracteres encontrados en las poblaciones tropicales de ambientes marinos. Adicionalmente, en la mayoría de los trabajos en que se enlista a los cianoprocariontes, son referidos como parte de listados ficoflorísticos sin datos morfológicos, ecológicos y moleculares, dejando una pérdida de información que sería relevante para el grupo (Aké-Castillo *et al.*, 2014; Castellanos-Páez *et al.*, 2018; Collado-Vides *et al.*, 1994; Nava-Olvera *et al.*, 2017; Okolodkov *et al.*, 2011; Okolodkov y Blanco-Pérez, 2011; Ortega *et al.*, 2001; Ortégón-Aznar *et al.*, 2008; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2011). Dada su importancia, conferida a partir de la producción de metabolitos secundarios, la conformación de un sistema robusto de clasificación para este grupo permitiría la incursión en áreas como: la biotecnología, para la elaboración de suplementos alimenticios, como productores de biomasa, bioplásticos con biofilms; como captadores de CO₂ en biorreactores (Kumar *et al.*, 2021); en la farmacología, dado que existen especies productoras de metabolitos secundarios, componentes antimicrobianos, antivirales, anticancerígenos, componentes antiprotozoicos (Kumar *et al.*, 2021); y en la astrobiología, en donde son ocupados para la experimentación

como formadores de atmósferas que pueden aportar alta desecación y la influencia de rayos UV.

El litoral veracruzano, representa uno de los sitios ficológicamente más diversos del Atlántico mexicano (Sentíes y Dreckmann, 2013), donde las condiciones fisiográficas, permiten el establecimiento de muchas especies de Oscillatoriales. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar morfológica y molecularmente a las especies de cianoprocariontes marinos bentónicos del orden Oscillatoriales en las costas de Veracruz, México.

3- Antecedentes

El conocimiento de la riqueza específica de los Oscillatoriales en el estado de Veracruz se encuentra subestimado. Dentro de los registros previos para el estado, se cuenta con 10 obras que proporcionan información para el grupo (Tabla 2). La primera, se trata de un trabajo compilatorio de todos los grupos de algas registrados para el Golfo de México y el Caribe mexicano, incluyendo todas las obras previas al 2001 (Ortega *et al.*, 2001); cinco capítulos de libros sobre compilaciones generales, mismos que no incorporan información adicional sobre los sitios o ambientes en que se registran e incluso, algunos contienen nombre incorrectos (Okolodkov y Blanco-Pérez, 2011; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2011) y cuatro artículos que, si bien tratan de estudios ecológicos que incluyen al grupo, se le trata de manera colateral, sin proporcionar información sobre las descripciones de las especies (Aké-Castillo, 2011; Aké-Castillo *et al.*, 2014; de la Cruz-Francisco *et al.*, 2020; Nava-Olvera *et al.*, 2017). Finalmente, se cuenta con una base de datos digitalizada en CONABIO que resume los registros del grupo, con información de los sitios y ambientes, así como un tratamiento taxonómico somero.

Cabe resaltar que para las especies de Oscillatoriales se cuenta con pocos estudios especializados, incluso aquellos que aborden análisis filogenéticos. No obstante, actualmente dentro del orden, se encuentran grupos de especies afines, que fueron descritos a partir de la revisión y reorganización de las especies previamente registradas en el orden, por lo que morfológicamente son muy parecidas, de hábito; estos grupos son Coleofasciculales Strunecký *et al.*, 2023, y Leptolyngbyales Strunecký *et al.*, 2023 (Strunecký *et al.*, 2023). Para la región de Veracruz, sólo se

cuenta con un artículo enfocado a los cianoprocariontes, aunque del orden Nostocales Cavalier-Smith, donde se describe detalladamente a las especies (Cabrera-Becerril *et al.*, 2024). Asimismo, este último grupo es el único que ha sido tratado filogenéticamente en el estado, de donde ha resultado la descripción de tres nuevas especies (González-Reséndiz *et al.*, 2018; Johansen *et al.*, 2021)

Tabla 2. Resumen de la literatura en que se registran especies de Oscillatoriales para Veracruz. Se presentan clasificadas por tipo de obras: CL) Capítulo de libro; A) Artículo; CT) Catálogo.

	Obra	Tipo de obra
1	Ortega <i>et al.</i> , (2001)	CL
2	Aké-Castillo (2011).	A
3	Okolodkov y Blanco-Pérez (2011)	CL
4	Okolodkov <i>et al.</i> , (2011)	CL
5	Ramírez-Rodríguez <i>et al.</i> , (2011)	CL
6	Aké-Castillo <i>et al.</i> , (2014)	A
7	Nava-Olvera <i>et al.</i> , (2017)	A
8	Castellano-Páez <i>et al.</i> , (2018)	CL
9	León-Tejera <i>et al.</i> , (2019)	CT
10	De la Cruz-Francisco <i>et al.</i> , (2020)	A

4- Justificación

Veracruz es uno de los estados con una alta riqueza en flora y fauna, más visitado por estudiantes, profesores e investigadores de varias universidades del país; sin embargo, la mayoría de los datos obtenidos en dichas visitas, normalmente están contenidos únicamente en trabajos de tesis que no son de amplia distribución, con lo que su consulta es restringida. A pesar de su abundancia, accesibilidad de los sitios de crecimiento y fácil detección en el intermareal rocoso, además de ser de los principales productores primarios y constituir una parte importante de la dieta base de

una gran variedad de organismos de importancia comercial, los cianoprocariontes y, principalmente, las especies de Oscillatoriales han sido poco estudiadas (Komárek y Anagnostidis, 2005; Whitton y Potts, 2012).

Para la identificación de las especies que crecen en los ambientes tropicales y cálidos de México, las principales publicaciones con las que se cuentan, se enfocan en especies de ambientes templados y fríos, por lo que, las características morfológicas y anatómicas, así como sus rangos de medidas, no suelen coincidir con los especímenes encontrados en zonas tropicales; consecuentemente, la identificación de las especies no es precisa, generando numerosos registros erróneos e importantes problemáticas de subestimación de la riqueza específica.

La introducción de procedimientos moleculares en la identificación de las especies del orden Oscillatoriales, en conjunto con los trabajos morfo-estadísticos, han proporcionado un mejor entendimiento del grupo, principalmente en un mejor entendimiento de las relaciones filogenéticas de las especies y posibles consecuencias taxonómica (Casamatta *et al.*, 2005; Hasler *et al.*, 2012).

Dado lo anteriormente expuesto, así como la importancia ecológica del grupo, en el caso particular de México y sobre todo del estado de Veracruz, es necesario abordar el estudio de la riqueza específica desde una perspectiva taxonómica, ecológica y biogeográfica, con los métodos moleculares.

5- Preguntas de investigación

- ¿La riqueza específica de cianoprocariontes del orden Oscillatoriales para las costas del estado de Veracruz puede ser mayor o igual a la actualmente conocida?

- ¿Las especies delimitadas son endémicas para el país o se encuentran distribuidas fuera de él?
- ¿Existirán caracteres morfométricos que sustenten a las especies delimitadas molecularmente?

6- Hipótesis

La integración de los enfoques morfológico y molecular en la identificación de las especies de Oscillatoriales marinos bénticos en las costas de Veracruz, evidenciará problemáticas taxonómicas en el orden, así como la consecuente subestimación o sobrestimación de la riqueza específica para el estado.

7- Objetivos

7.1- Objetivo general

Caracterizar morfológica y molecularmente a las especies de cianoprocariontes marinos bénticos del orden Oscillatoriales en las costas de Veracruz, México.

7.2- Objetivos específicos

- Proporcionar descripciones morfológicas detalladas con fotografías para especímenes mexicanos.
- Evaluar mediante análisis morfométricos la existencia de un patrón de variación morfológica entre las especies identificadas molecularmente, y con ello determinar las posibles medidas que las delimitan.
- Estimar la riqueza específica de cianoprocariontes para el estado de Veracruz.
- Obtener secuencias genéticas con los marcadores ribosomales 16S y 23S

8- Material y métodos

8.1- Área de estudio

El estado de Veracruz se encuentra en la parte central de la llanura costera del Golfo de México (Fig. 1), cuenta con un litoral de 750 km de longitud, formado por diferentes ambientes costeros, entre los que destacan aquellos formados por rocas. El clima de esta región se distribuye de norte a sur desde el semiseco muy cálido y cálido, hasta el cálido subhúmedo y cálido húmedo (INEGI, 2010; Mateo-Cid *et al.*, 2024). La temperatura superficial de las costas veracruzanas es muy fluctuante, y está dada, en invierno por los frentes fríos y nortes, registrando valores de 15 a 23 °C, mientras que en verano la temperatura alcanza los 28 °C y está determinada por la influencia de las corrientes cálidas de El Lazo y la del Mar Caribe; mismas que al mezclarse con el agua subsuperficial tras los giros ciclónicos y anticiclónicos característicos del Golfo de México, le brinda una salinidad de 36.5. Las mareas son mixtas con dominancia diurna, clasificadas como micromareales por su rango de marea menor a un metro. En cuanto al oleaje, este suele ser de baja energía (Mateo-Cid *et al.*, 2024; Vilchis *et al.*, 2018). Cuenta con varios afluentes hídricos de los cuales destacan: los ríos Pánuco, Tuxpan y Cazones al norte; los ríos Actopan, Antigua y Jamapa en el centro; y Papaloapan y Coatzacoalcos al sur. Estos aportes de agua son sumamente importantes, al igual que la topografía contrastante y heterogénea del estado, ya que dan lugar a los diversos ecosistemas que en él se encuentran (Guerrero-Carrera *et al.*, 2015).

Bióticamente, la composición de la flora y fauna marina del litoral de Veracruz se basa principalmente en especies con afinidad tropical, que encuentran su límite de distribución al norte del centro de la entidad, específicamente en Cabo Rojo, cuya

ubicación también se ha reconocido como el límite sur de la distribución de especies con afinidad templada, destacando así, una zona de transición biótica, que le brinda al estado una alta diversidad taxonómica (Vilchis *et al.*, 2018). Esta última, ha servido como criterio para el establecimiento de distintos sitios prioritarios para su conservación en la entidad, entre los que se encuentra el Sistema Arrecifal Veracruzano, uno de los ecosistemas más grande, estudiado y diverso del país, con una dimensión de 52 238 hectáreas, las cuales han ayudado a disminuir la erosión y el oleaje en la zona costera durante las tormentas tropicales y los huracanes (INEGI, 2010); además, de servir como refugio, alimento y zonas de reproducción para muchos tipos de organismos, tanto de vertebrados como invertebrados (Aguilar *et al.*, 2008). En este sentido, también resulta importante mencionar, que, aunque la flora y fauna marina del estado de Veracruz es de las más conocidas del Atlántico mexicano, aún hay grupos poco o nada estudiados, tal es el caso de los cianoprocariontes, cuya información es limitada (García-García *et al.*, 2020).

8.2- Trabajo de campo

Los muestreos para la colecta de cianoprocariontes marinos del orden Oscillatoriales y afines, se llevaron a cabo en tres localidades del litoral rocoso del estado de Veracruz en los meses de marzo y agosto del 2020 y 2022 (Fig. 1 y Tabla 3). Los crecimientos encontrados fueron fotografiados en su entorno, con el fin de capturar las características en las que se desarrollaban y las asociaciones con otros organismos (Fig. 2-4). En cada punto de muestreo se registró el pH, la salinidad y la temperatura del agua (Anexo 1).

Tabla 3. Localidades de colecta en el estado de Veracruz, en marzo del 2020 y agosto 2022.

Municipio	Localidades	Coordenadas
Alto Lucero	Playa Muñecos	N19.743955, O-96.406015
Actopan	Morro de la Mancha	N19.595821, O-96.371061
Veracruz	Costa de Oro	N19.154795, O-96.095695

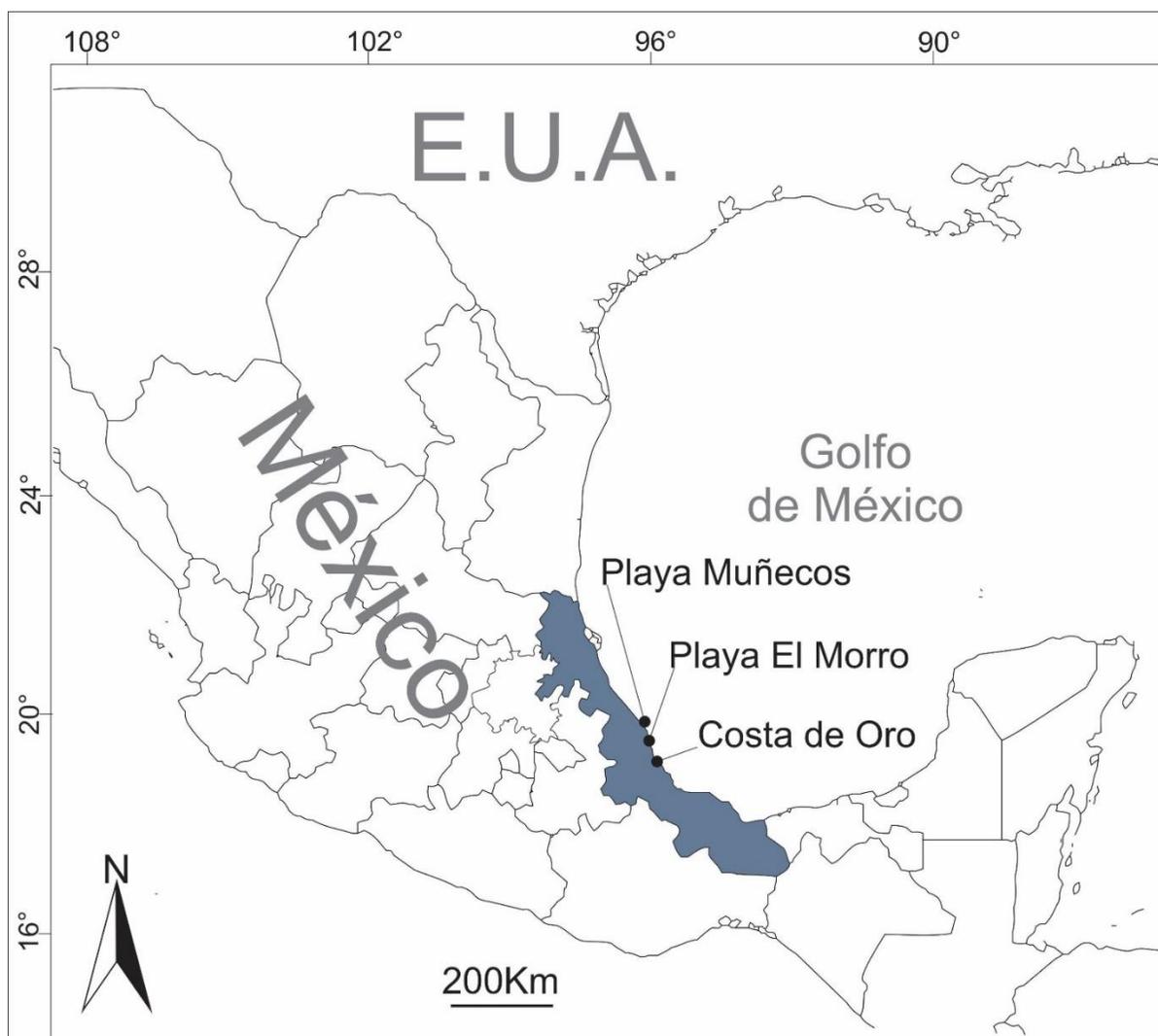


Fig. 1. Ubicación geográfica del estado de Veracruz y las localidades muestreadas.

La colecta de las muestras se realizó de forma manual con ayuda de marro y cincel; posteriormente dividiendo una porción para tener muestras secas y otra porción

hidratada con agua marina artificial (Sal Marina Para Acuarios Oceanic FL1501, Marca Lomas), la cual fue cambiada semana a semana hasta terminar la toma de micrografías, montaje de preparaciones semipermanentes y cultivo de las mismas (de 2-4 meses aproximadamente, posterior a la colecta), para procurar trabajar con el material original y tener mejor detalle de las características.



Fig. 2. Localidad Costa de Oro. A) Lado sur de la localidad. B) Lado norte de la localidad. C) Crecimiento mucilaginoso, por su consistencia viscosa. D) Crecimientos café a verde oscuro. E) Crecimiento filamentosos sobre estructura de cemento. F) Diferentes crecimientos de cianoprocariontes sobre estructura de cemento, frente a desagüe. Las flechas señalan crecimientos de cianoprocariontes.

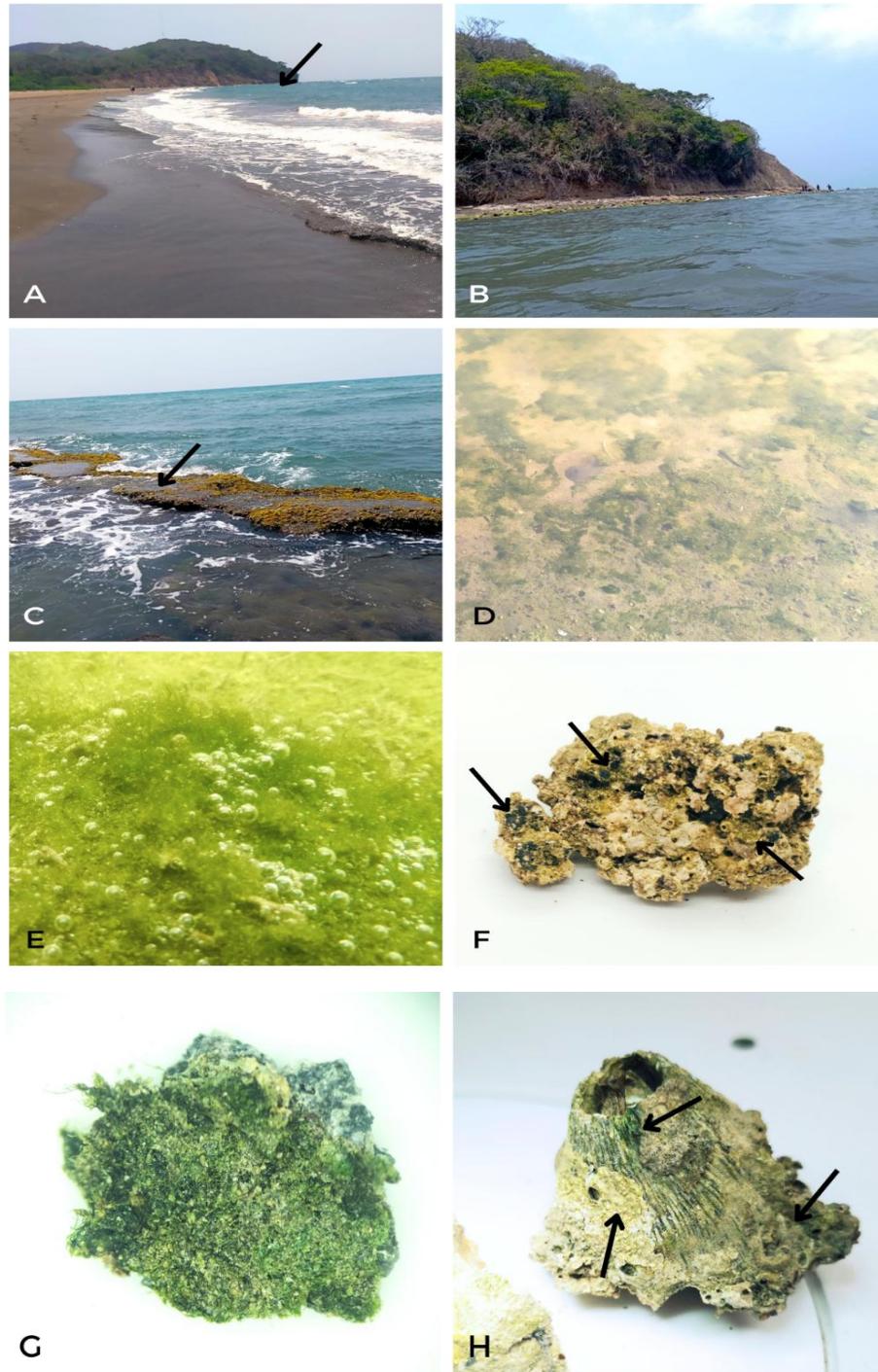


Fig. 3. Localidad Morro de La Mancha. A) Vista panorámica del sitio, la flecha señala el punto de colecta. B) Litoral rocoso. C) Plataforma arrecifal sumergida, flecha señala el punto de colecta, muestras subacuáticas. D) Muestra sumergida aproximadamente a 15 cm. E) Muestras subacuáticas liberando oxígeno. F) Muestra de la plataforma arrecifal, flecha muestra crecimientos de cianoprocariontes. G) Muestra de litoral rocoso a orillas de la costa. H) Las flechas señalan crecimientos de cianoprocariontes epizoicos.

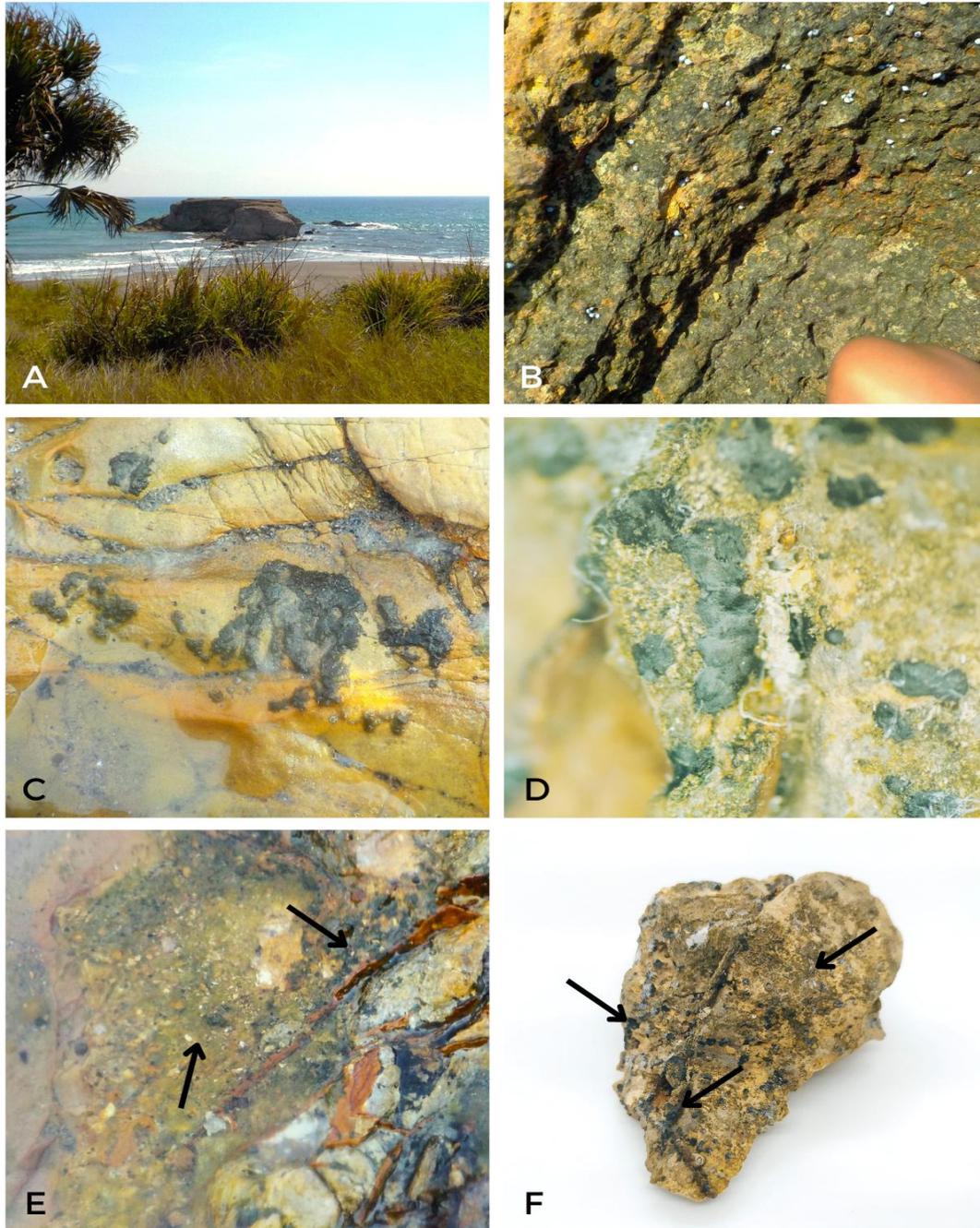


Fig. 4. Localidad Playa Muñecos. A) Vista panorámica del sitio. B) Crecimientos epilíticos verde oscuro. C) Muestra verde-oscura a negro. D) Muestra vista desde microscopio estereoscópico. E) Muestras en poza de marea, las flechas señalan los crecimientos. F) Tres crecimientos diferentes señalados con flechas.

8.3- Cultivos

Se aislaron cianoprocariontes a partir de las muestras hidratadas, de los cianoprocariontes colectados en cada muestra, con ayuda de un microscopio óptico Leica DMLB (Heidelberg, Germany) y microscopio estereoscópico e instrumental de odontología (exploradores).

Se colocó el material aislado en un portaobjetos donde fue macerado ligeramente con el cubreobjetos o una espátula pequeña, posteriormente con agujas de disección se procedió a frotar la muestra en cajas de Petri estériles con medio de cultivo duro BG11 marino (Rippka *et al.*, 1979).

Los cultivos fueron colocados en una cajonera de color blanco buscando favorecer la captación de la luz solar y disminuir la contaminación que pudieran recibir del exterior (polvo, bacterias, esporas de hongos y plantas). El fotoperiodo se mantuvo con ciclos alternados de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Es importante mencionar que, en primera instancia, los cultivos mostraron crecimientos de bacterias, hongos, microalgas y otros cianoprocariontes, que se encuentran naturalmente asociados, por lo que, con la finalidad de aislar a los Oscillatoriales se realizaron resiembras de crecimientos de interés.

8.4- Morfología

Para la caracterización morfológica de los ejemplares colectados, se prepararon muestras semipermanentes con gelatina marina glicerizada en proporción 2:1, usando azul de metileno para resaltar algunas estructuras que no se pueden observar a simple vista, como las vainas que poseen algunas especies del orden Oscillatoriales. La

observación y toma de micrografías se realizó el microscopio óptico Leica DMLB (Heidelberg, Germany) con cámara digital Quasar adaptada. La identificación de cada ejemplar se realizó siguiendo la obra de Komarék y Anagnostidis, (2005).

8.5- Morfometría

Los análisis morfométricos se realizaron con las especies identificadas morfológicamente siguiendo el método que a continuación se describe.

En los programas Top View 3.7.8481 (ToupTek Photonics Co., Ltd) y Fiji J. (Schindelin *et al.*, 2012), empleando las micrografías mencionadas en el apartado anterior, se midieron en cada ejemplar las características que se muestran en la Figura 5.

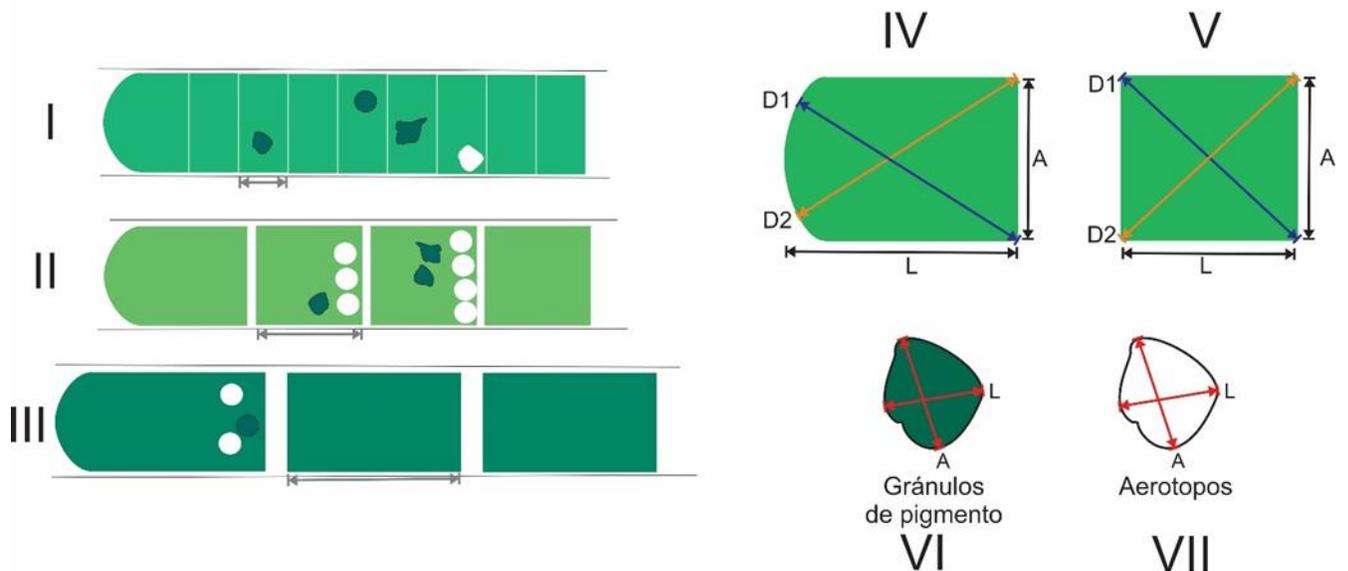


Fig. 5. I, II, III) Tipos de células que conforman los tricomas en cianoprocariontes. IV y V) Medidas que se toman en cuenta para la identificación de especies y géneros; IV= Células del ápice; V= Células intermedias; A=Ancho; L=Largo; D1=Diagonal 1; D2= Diagonal 2. VI) Medidas tomadas en los gránulos de pigmento. VII) medidas tomadas en los aerotopos.

Las medidas o caracteres cuantitativos fueron organizados en diferentes matrices para su posterior análisis, de acuerdo con el tipo de estructura: Matriz 1) Largo, ancho,

diagonal 1 y 2 de los ápices; Matriz 2) Largo, ancho, diagonal 1 y 2 de las células intermedias; Matriz 3) Largo y ancho de los pigmentos; y Matriz 4) Largo y ancho de los aerotopos.

Finalmente, cada matriz fue sometida a un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) en el programa PAST versión 2.17 (Hammer *et al.*, 2001), con la intención de evaluar la existencia de un patrón de variación morfológica entre las especies, y de esta manera identificar las medidas que determinan la formación de grupos dentro del espacio multivariado. Adicionalmente, en el mismo programa, la Matriz 1 fue sometida a un análisis de agrupamiento, bajo el índice de disimilitud de distancia euclidiana y el algoritmo por ligamento promedio no ponderado (UPGMA, por sus siglas en inglés), para una mejor visualización de los grupos formados.

8.6- Filogenia

Bajo un microscopio óptico se obtuvo de cada cultivo cerca de 20 mg de tejido, procurando eliminar el mayor número de materia orgánica y revisando cuidadosamente la muestra. El material seleccionado al microscopio fue depositado en tubos eppendorf de 1.5 ml, estériles. Posteriormente, se procedió a la trituración manual del tejido dentro de cada tubo, con ayuda de un pistilo, también estéril. Para la extracción del ADN, se utilizó el Kit DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Valencia, CA, USA), siguiendo los protocolos de manufactura. Una vez obtenido el ADN, se realizó la amplificación, vía PCR, de los marcadores 16S y 23S del ARN ribosomal, utilizando los oligonucleótidos F1, F5 y R2, R6 (Tabla 4) (Boyer *et al.*, 2002) e igualmente utilizando el kit de amplificación Taq PCR Core Kit (Qiagen), siguiendo el procedimiento y protocolos de PCR (Tabla 5) descritos en Vaccarino y Johansen,

(2011). Para confirmar el éxito de la amplificación, se elaboraron geles de agarosa al 1%, donde los productos de PCR fueron confirmados por electroforesis. Los productos de la PCR fueron purificados siguiendo los protocolos con el kit Purification Kit (Qiagen) 39; Al terminar este último procedimiento las muestras fueron enviadas al instituto de Biología de la UNAM para ser secuenciadas.

Tabla 4. Oligonucleótidos moleculares. Características y secuencia específica de los oligonucleótidos utilizados en la amplificación de las especies de Oscillatoriales y afines.

Primers	Gen Posición	Secuencia	Cita
1	Forward 16S	CTC TGT GTG CCT AGG TAT CC	Boyer <i>et al.</i> 2002
2	Reverse 16S	CTC TGT GTG CCT AGG TAT CC	Boyer <i>et al.</i> 2002
5	Forward 23 S	TGT ACA CAC CGG CCC GTC	Boyer <i>et al.</i> 2002
6	Forward 23S	GAC GGG CCG GTG TGT ACA	Boyer <i>et al.</i> 2002

Tabla 5. Condiciones. Condiciones específicas de PCR empleadas para la amplificación de los oligonucleótidos utilizados en el presente estudio.

	Temperatura inicial	Desnaturalización	Alineamiento	Elongación	Temperatura final
Temperatura	95°C	95°C	57°C	72°C	4°C
Tiempo	5 min.	1min.	45seg.	5min.	hasta 24hrs.
Número de ciclos		35	35	35	

Las secuencias obtenidas fueron editadas con el programa Sequencher® v. 5.4.5 y el alineamiento final, junto con secuencias de Oscillatoriales y ordenes afines (Coleofasciculales y Leptolyngbyales) obtenidas del GenBank, se realizó en el programa Bioedit (Hall, 1999). *Nostoc punctiforme* Hariot, fue seleccionada como grupo externo debido a que pertenece a otro orden de cianoprocariontes diferente de

Oscillatoriales o afines. Para los análisis filogenéticos se realizó máxima verosimilitud (ML por sus siglas en inglés) e inferencia Bayesiana (IB). El análisis de ML se construyó en el programa RaxML (Stamatakis, 2014), El soporte para cada rama fue obtenido con 10 000 réplicas de bootstrap. El análisis de IB, fue construido con el programa Mr. Bayes (Ronquist *et al.*, 2012), para el cual, se usaron cuatro cadenas de Markov y cadenas de Monte Carlo, empezando con un árbol aleatorio y muestreando los datos cada 500 generaciones de 5×10^6 generaciones. El 25% de los árboles fue descartado mediante un burnin. El modelo evolutivo para cada análisis fue determinado en función de la prueba de probabilidad máxima implementada por el programa TOPALi versión 2 (Milne *et al.*, 2008), para este caso, el modelo que se ajustó mejor a los datos fue K2+G+I (Kimura 2 parámetros + distribución gama + sitios invariables). Finalmente, se calcularon únicamente distancias genéticas p (no corregidas) entre las especies, utilizando el software Mega versión 11 (Tamura *et al.*, 2013) para conocer únicamente la disimilitud entre las secuencias generadas. Las distancias genéticas corregidas no fueron calculadas, debido a que la disimilitud de los datos generó sesgos en el cálculo de las distancias a partir de un modelo evolutivo de corrección, pues las secuencias comparadas no forman grupos monofiléticos, ni siquiera a nivel genérico.

9- Resultados

Se presentan los resultados morfológicos, morfométricos y filogenéticos obtenidos del estudio de las especies de Oscillatoriales marinas bentónicas y especies afines, registradas en Veracruz, México.

9.1- Morfología

Actualmente, y como resultado del presente estudio, la riqueza específica de Oscillatoriales y órdenes afines de reciente circunscripción (Leptolynbyales y Coleofasciculales), registradas para el estado de Veracruz, está conformada por 27 especies taxonómicamente correctas, distribuidas en cinco familias y 12 géneros (Tabla 6). De estas, siete constituyeron nuevos registros para el estado y cuatro para el Atlántico mexicano. Asimismo, se proporcionan las descripciones morfológicas detalladas, así como el registro fotográfico de los caracteres diagnósticos para estas especies. Adicionalmente, se presentan ocho morfotipos que, por ausencia de coincidencias en datos reportados en la literatura, no fueron identificados a nivel de especie.

9.1.1- Listado taxonómico

Se presenta el listado taxonómico potencial (que incluye registros de la literatura y los reportados en el presente estudio) de las especies marinas bentónicas de Oscillatoriales y ordenes afines que, actualmente, constituyen la riqueza específica del grupo en el estado de Veracruz (Tabla 6). En dicho listado se presenta, en primer lugar, las especies de Oscillatoriales y las dos familias de las que se registraron especies ordenadas alfabéticamente. Posteriormente, se presenta a las especies pertenecientes a tres familias de los órdenes afines, igualmente ordenados de manera alfabética.

Tabla 6. Listado taxonómico. de las especies de Oscillatoriales y órdenes afines registradas para el estado de Veracruz. Con "X", se indica a las especies vistas en este estudio. En la columna de sinónimos se indica el nombre con el que fueron registradas originalmente, actualmente sinónimos de otras especies. (Tamps) Tamaulipas. Ver)

Veracruz. Tab) Tabasco. Cam) Campeche. Yuc) Yucatán. QRoo) Quintana Roo. En negrita, se indican los registros que contienen descripciones morfológicas e ilustraciones.

Orden	Familia	Género	Especie	Sinónimos	Estado	Ambiente	Referencia
Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	4	<i>Blennothrix lyngbyacea</i> (Kützing ex Gomont) <u>Anagnostidis & Komárek</u>	<i>Microcoleus lyngbyaceus</i> (Gomont) Drouet	Tamps, Ver, Tab, Cam, Yuc, QRoo	E, L, I	1, 2, 7, 12
			<i>Lyngbya aestuarii</i> Liebman ex Gomont		Ver, Cam, Yuc, QRoo	E, L, I	2, 9
			<i>L. lutea</i> Gomont	<i>Oscillatoria lutea</i> C.Agardh; <i>Porphyrosiphon luteus</i> (Gomont) <i>Anagnostidis & Komárek</i>	Ver, Yuc, QRoo	E, L, I	1, 2, 7, 14
			<i>L. majuscula</i> Harvey ex Gomont		Tamps, Ver, Tab, Cam, Yuc, QRoo	E, L, I	2, 3, 11, 12, 13
			<i>L. semiplena</i> J.Agardh ex Gomont		Ver, Tab, Cam, Yuc	E, L, I	2, 12, X
			<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont	<i>Phormidium limosum</i> (Dillwyn) P.C.Silva	Ver, Cam, Yuc	E, L, I	10, 11
			<i>O. obtusa</i> N.L.Gardner		Ver	E	11
			<i>O. tenuis</i> C.Agardh ex Gomont		Ver, Yuc	E, L	6
			<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont		Ver, QRoo	L, I	7, 12, X
			<i>P. interruptum</i> Kützing ex Forti	<i>Lyngbya interrupta</i> Kützing ex Gomont	Ver	L	7
			<i>P. lucidum</i> Kützing ex Gomont		Ver	L	X
			<i>P. nigroviride</i> (Thwaites ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	<i>Oscillatoria nigroviridis</i> Thwaites ex Gomont	Tamps, Ver, Yuc	E, I	2, 10, 11
			<i>P. retzii</i> Kützing ex Gomont		Ver, QRoo	E, L, I	7, 10, 11, 12
			<i>P. submembranaceum</i> Kützng ex Gomont	<i>Oscillatoria submembranacea</i> (Ardiss. & Strafforello) Gomont, 1892	Ver, Cam, Yuc, QRoo	L, I	2, 7, 12
			<i>Arthrospira platensis</i> Gomont		Ver	E	11
			<i>Kamptonema formosum</i> (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & J.Smarda		Ver	E	6
			<i>Limnoraphis hieronymusii</i> (Lemmermann) J.Komárek, E.Zapomelová, J.Smarda, J.Kopecký, E.Rejmánková, J.Woodhouse, B.A.Neilan & J.Komárková	<i>Lyngbya hieronymusii</i> Lemmermann	Ver, QRoo	L	11
			<i>Leibleinia inconspicua</i> (Skuja) Anagnostidis & Komárek		Ver	L	X
			<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen		Ver	L	9
			<i>M. vaginatus</i> Gomont		Ver, QRoo	E, L, I	2, 12

Coleofasciculales	Coelofasciculaceae	1	<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont	<i>Oscillatoria erythraea</i> (Ehrenberg) Geitler	Tamps, Ver, Cam, QRoo	E, L, I	2, 4, 5, 6, 7, 8
			<i>T. thiebautii</i> Gomont	<i>Oscillatoria thiebautii</i> (Gomont) Geitler	Ver, Yuc, QRoo	E, L, I	2, 5, 6, 8
Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	1	<i>Coleofasciculus chthonoplastes</i> (Gomont) M.Siegesmund, J.R.Johansen & T.Friedl	<i>Microcoleus chthonoplastes</i> Thuret ex Gomont	Tamps, Ver, Cam, Yuc	L	2, X
			<i>Leptolyngbya jadertina</i> (Kützing ex Hansgirg) Anagnostidis		Ver	L	X
	Trichocoleaceae	1	<i>Schizothrix arenaria</i> Gomont		Tamps Ver, Yuc, QRoo	L	2
			<i>Schizothrix cf. helva</i> Frémy		Ver	L	X
			<i>Schizothrix mexicana</i> Gomont		Tamps, Ver, QRoo	L	2

Collado-Vides *et al.*, 1994; 2) Ortega *et al.*, 2001; 3) Ortegón-Aznar *et al.*, 2008; 4) Aké-Castillo, 2011; 5) Okolodkov *et al.*, 2011; 6) Okolodkov y Blanco-Pérez, 2011; 7) Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2011; 8) Aké-Castillo *et al.*, 2014; 9) Nava-Olvera *et al.*, 2017; 10) Castellanos-Páez *et al.*, 2018; 11) Figueroa-Torres *et al.*, 2018; 12) León-Tejera *et al.*, 2019; 13) de la Cruz-Francisco *et al.*, 2020.

9.1.2- Descripciones morfológicas

Se presentan las descripciones detalladas, así como el registro fotográfico de los caracteres morfológicos diagnósticos en su identificación, para siete especies identificadas en ese nivel y ocho morfotipos para los cuales no se llegó a la identificación específica.

Orden Oscillatoriales

9.1.2.1- Familia Oscillatoriaceae

Lyngbya C. Agardh ex Gomont

9.1.2.1.1- *Lyngbya semiplena* J. Agardh ex Gomont (Fig. 6)

Descripción: Crecimientos como tapetes, lamoso, en amplios manchones de aproximadamente 2 x 3 m, color verde brillante, con manchones aislados de color verde oscuro y negro, textura mucilaginosa y quebradiza (Fig. 6B). En cultivo líquido y sólido presentó motilidad evidente, dirigido hacia las paredes del recipiente y la caja de petri (Fig. 6E, F). Tricomas, verde oscuro a verde olivo, de forma cilíndrica (Fig. 5A), recto o con ligeras curvaturas en los filamentos que son muy largos, gránulos de pigmento verde oscuro (Fig. 6C); ligeramente constreñido o sin constricciones, sin ningún tipo de ramificación o caliptra. Vaina evidente, translúcida, sumamente delgada, 0.6334 μm de ancho. Ápices isopolares, de 5.42 a 9.88 μm de ancho x 1.22 a 4.23 μm de largo, ligeramente curvos o redondeados. Células siempre más anchas que largas, de 7.03 a 9.12 μm de ancho x 0.99 a 3.13 μm de largo, interior granuloso, límites entre células bien definidos (Fig. 6D). Reproducción con presencia de necridios y hormogonios (Fig. 6B).

Datos de campo: Morfo 2. Morro de La Mancha, punto 1 (16/03/2020).

Hábitat: Marino, insolación directa, sumergido a 20 cm de profundidad, crecimiento sobre arena, poco movimiento de agua, zona inundada por temporadas.

Comentarios taxonómicos: de acuerdo con el catálogo de identificación de Komárek y Anagnostidis, (2005), nuestros especímenes coincidieron con la forma macroscópica

del crecimiento, la coloración y la forma, la proporción de tamaño 1/3, siendo más ancho que largo, la presencia de granulaciones en las células, la ausencia de constricciones en el filamento y la ausencia de caliptra; en cuanto al tamaño de las células del ápice, así como las células intermedias, el intervalo de medida de nuestros especímenes se encontró dentro del rango publicado (máximo 10 μm), sin embargo, el largo de las células fue distinto en el límite inferior (0.99 μm) reportado, en donde las células presentan de 2 a 3 μm de largo. Reportada previamente para el litoral de Veracruz (León-Tejera *et al.*, 2019), en ambiente estuarinos para Tabasco (Mendoza-González *et al.*, 2017), en el litoral de Campeche (Mateo-Cid *et al.*, 2013) e insular en Yucatán (Ortega *et al.*, 2001).

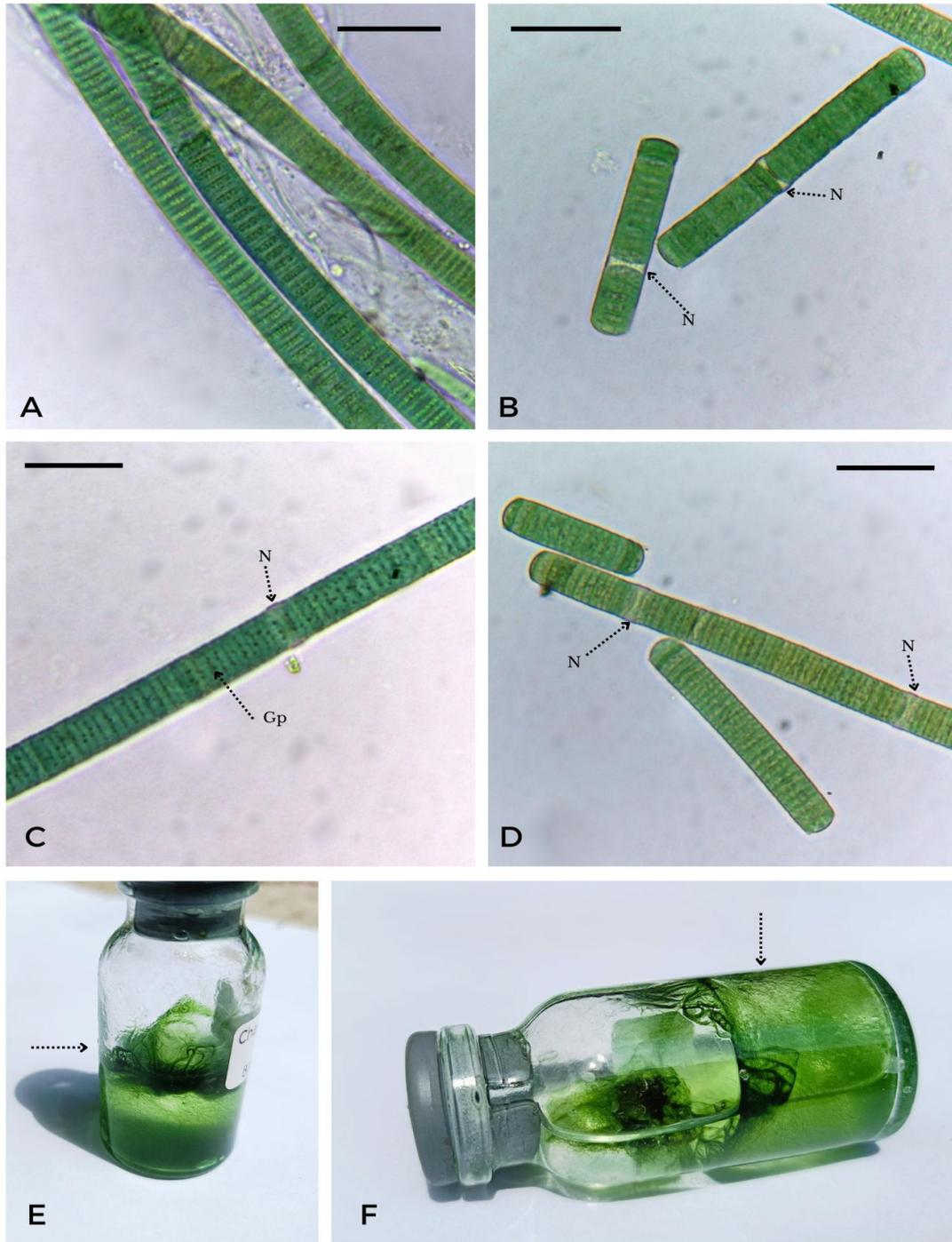


Fig. 6. *Lyngbya semiplena*. A) Tricoma. B) Hormogónios, con N se indica la formación de los necridios. C) Detalle del tricoma mostrando la formación de un necridio (N) y gránulos de pigmento (Gp). D) Detalle del tricoma mostrando la forma de las células. E) Cultivo líquido, la flecha muestra acumulación de *L. semiplena* en la superficie del agua. F) Frasco girado, la flecha muestra al tricoma fijándose a lo largo de la pared del recipiente, principalmente en las zonas con agua. Escala= 20 μ m.

***Phormidium* Kützing ex Gomont**

9.1.2.1.2- *Phormidium ambiguum* Gomont (Fig. 7)

Descripción: Crecimiento cespitoso, verde olivo, cubriendo cerca de 2 a 5 m, sumamente frágil al tacto (Fig. 7A). Tricomas, verde claro, olivo u oscuro (Fig. 7B), rectos a ligeramente curvados en la zona media de los tricomas cuando son largos, cilíndricos, isopolares, ligeramente constreñidos o no, enredados entre crecimientos de otros cianoprocariontes. Vaina translúcida, muy adherida al filamento, hialina, únicamente distinguible al presentar hormogonios o fragmentación del tricoma, con un grosor promedio de 0.491 μm . Ápices de 4.31 a 5.45 μm de ancho x 1.07 a 3.06 μm de largo, curvados o redondeados, sin pelos apicales o caliptra. Células siempre más anchas que largas, de 4.37 a 5.45 μm de ancho x 0.82 a 2.77 μm de largo, cromatoplasma presente, aerotopos emparejados con las vacuolas de las células adyacentes (Fig. 7C); citoplasma granuloso, verde oscuro intenso, olivo a amarillento, con presencia de gránulos de pigmentos irregulares, de 0.7 a 1.07 μm de ancho x 0.47 a 0.58 μm de largo. Reproducción por presencia de hormogonios (Fig. 7D), fragmentación y presencia de necridios.

Datos de campo: Morfo 3. Morro de La Mancha, punto 1 (16/03/2020).

Hábitat: Marino, insolación directa, sumergido a 20 cm de profundidad, crecimiento sobre arena, poco movimiento de agua; zona inundada por temporadas.

Comentarios taxonómicos: de acuerdo con el catálogo de Komárek y Anagnostidis, (2005), las características de nuestros especímenes coincidieron con el género *Phormidium*, sin embargo, son pocas las especies descritas bajo este género y la mayoría han sido registradas para ambientes dulceacuícolas *P. ambiguum* es la única

especie del grupo que ha sido reportada como cosmopolita, no obstante, aunque nuestros especímenes concordaron con el ancho de las células, el largo fue mucho menor (0.82 μm) al reportado previamente (1.5 μm). Se debe tomar en cuenta que en el catálogo de Komárek y Anagnostidis, (2005), se sugiere una revisión más exhaustiva de la especie, ya que podría tratarse, en realidad, de diferentes entidades taxonómicas reconocidas, lo que se sustenta también con la distribución cosmopolita de dicha especie. Reportada previamente para el litoral de Veracruz en Ramírez-Rodríguez *et al.*, (2011).

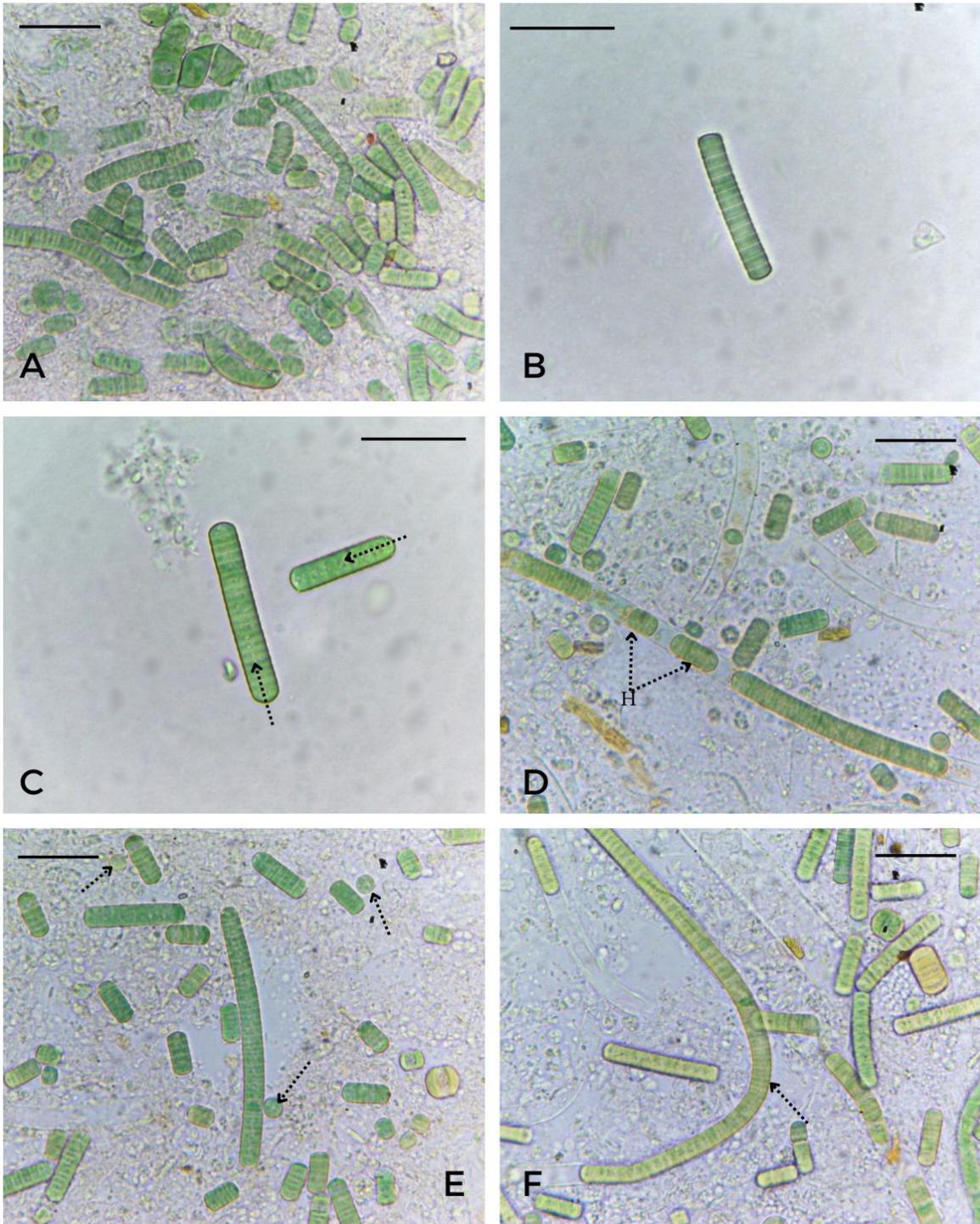


Fig. 7. *Phormidium ambiguum*. A) Tricomas y hormogonios. B) Detalle de filamento aislado. C) Detalle de filamentos mostrando vacuolas en la zona ecuatorial del filamento, indicados con flechas. D) Hormogonios (H), en vaina. E) Células solitarias (indicadas con flecha) en la vaina, de forma circular, indicando la forma cilíndrica del tricoma. F) Tricoma curvado (indicado con flecha). Escala= 20 μ m.

9.1.2.1.3- *Phormidium lucidum* Kützing ex Gomont (Fig. 8)

Descripción: Crecimiento como lama, desprendiendo burbujas de oxígeno (Fig. 8D), de color verde brillante, intercalando filamentos verde-oscuro, claramente distinguibles entre los filamentos más claros. Tricomas rectos, isopolares, cilíndricos, verde oscuro muy intenso, con gránulos de pigmento, no constreñido. Vaina muy evidente, de 0.37 a 1.04 μm de grosor, color amarillo ocre en tricomas maduros, rígida, no lamelada. Ápices de 5.51 a 8.46 μm de ancho y 0.72 a 2.18 μm de largo, con caliptra color amarillo o café claro (Figs. 8A, B), forma de chupón, redondeado en el extremo contrario. Células siempre más anchas que largas, de 6.97 a 9.02 μm de ancho x 0.61 a 2.74 μm de largo; gránulos de pigmentación evidentes, de forma circular, 0.47 a 1.49 μm de ancho x 0.26 a 1.11 μm de largo (Fig. 8D), variables en número por célula, aunque no se encuentran presentes en cada una de ellas; cuando están presentes, pueden llegar a saturar el citoplasma, intercalado en el tricoma entre células hialinas verde oscuro de interior uniforme, con ausencia de gránulos. Reproducción con presencia de hormogonios y necridios (Fig. 8C)

Datos de campo: Morfo 4.1. Morro de La Mancha, punto 1 (16/03/2020).

Hábitat: Marino, insolación directa, sumergido a 20 cm de profundidad, crecimiento sobre arena, poco movimiento de agua, zona inundada por temporadas.

Comentarios taxonómicos: nuestro material coincidió con las descripciones proporcionadas por Komárek y Anagnostidis (2005), principalmente en tallas celulares y de los tricomas, siguiendo una proporción de 1/6 más ancho que largo; sin embargo,

nuestros ejemplares no presentaron constricción en el tricoma, en la descripción original de la especie si se menciona dicha constricción. Nuevo reporte para México

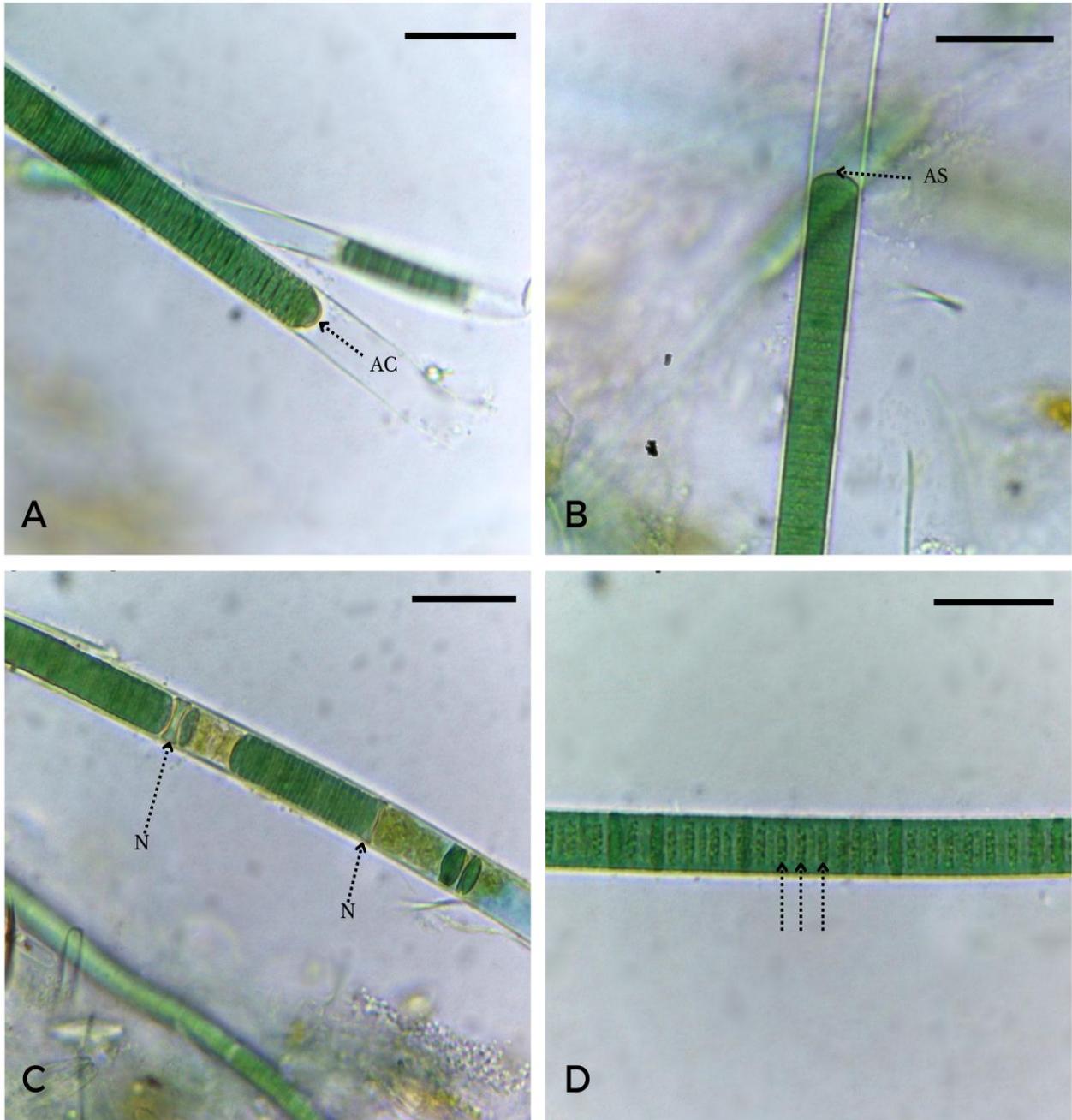


Fig. 8. *Phormidium lucidum*. A) Detalle del ápice del tricoma con caliptra (AC). B) Filamento visto en el extremo opuesto, mostrando ápice sin caliptra (AS). C) Detalle de necridios (N) en el tricoma. D) Detalle de las células en el tricoma, mostrando el acomodo de los gránulos de pigmento (flechas). Escala= 20 μ m.

9.1.2.2- Familia Microcoleaceae

Leibleinia (Gomont) Hoffman

9.1.2.2.1- *Leibleinia inconspicua* (Skuja) Anagnostidis & Komárek (Fig. 9)

Descripción: Crecimientos epífitos en las vainas de cianoprocariontes heterocistas (Fig. 9C), creciendo como manchones sobre balanos (Fig. 9E) y rocas calcáreas. Tricomas fasciculados (más de un filamento por vaina), sujetos o rodeando para anclarse de la vaina de la heterocista, rectos en estadios jóvenes, con mayor flexibilidad en los estadios maduros, formando ondulaciones o curvaturas (Fig. 9D), claramente constreñido, de 11 a 43 μm de largo.

Vaina hialina, sin coloración. Células de color verde olivo a oscuro, con interior homogéneo, de isodiamétricas a más anchas que largas, 0.29 a 1.18 μm de ancho x 0.46 a 2.38 μm de largo, con un espacio promedio entre células de 0.37 μm .

Reproducción por fragmentación

Datos de campo: Morro de La Mancha, punto 3 (16/03/2020).

Hábitat: marino, principalmente sumergido alrededor de 10cm de profundidad, insolación indirecta, creciendo sobre plataforma arrecifal (rompeolas), crecimiento de heterocistas sobre balanos, rodeados de crecimiento de algas de aproximadamente 13cm de alto.

Comentarios taxonómicos: Aunque las características de nuestros especímenes coincidieron con la descripción de la especie *L. inconspicua* (Komárek y Anagnostidis, 2005), tanto en ambiente como en el largo del filamento y su forma de vida epífita, se

citan tallas de ancho y largo de la célula superiores a las nuestras (0.29 μm de ancho), iniciando desde 1 μm . Nuevo reporte para México.

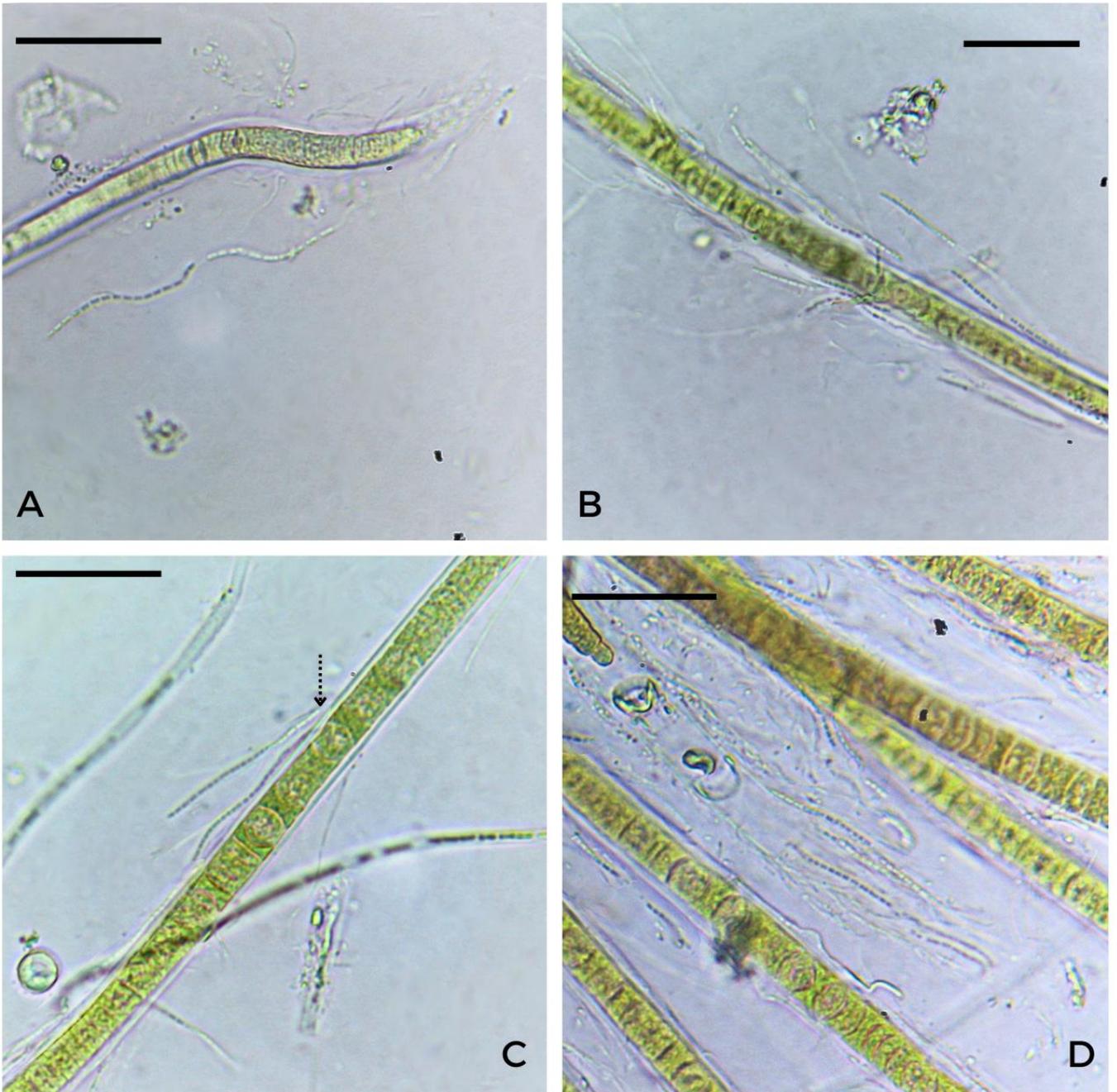


Fig. 9. *Leibleinia inconspicua*. A) Tricoma con ondulaciones o curvaturas, mostrando la flexibilidad del tricoma. B) Filamentos de diferentes tamaños. C) Fijación del tricoma a la vaina de la heterocistosa, señalado con una flecha. D) Varios tricomas por vaina, principalmente rectos, no enroscados en la heterocistosa. Escala= 20 μm .

Orden Coleofasciculales

9.1.2.3- Familia Coelofasciculaceae

Coleofasciculus Siegesmund, Johansen et Friedl

9.1.2.3.1- *Coleofasciculus chthonoplastes* (Gomont) M.

Siegesmund, J.R. Johansen & T. Friedl (Fig. 10)

≡ *Microcoleus chthonoplastes* Thuret ex Gomont

Descripción: Crecimiento cespitoso, color verde claro a oscuro, enredado entre filamentos de mayor tamaño, distinguible a simple vista (Fig. 10C). Tricomas fasciculados, mínimo cinco filamentos por vaina (Fig. 10A), isopolares, rectos, constreñidos, verde amarillento u oscuro, fragmentados a lo largo del tricoma. Vaina de 0.58 a 1.03 μm de grosor, translúcida, hialina (Fig. 10C). Ápices de 5.41 a 7.58 μm de ancho x 2.58 a 9.23 μm de largo, redondeados (Fig. 10B), sin caliptra. Células isodiamétricas, de 5.54 a 8.88 μm de ancho x 3.23 a 9.07 μm de largo, con gránulos de pigmento verde oscuro o pálido, casi amarillo, de forma irregular, 0.57 a 1.43 μm de ancho x 0.13 a 1.19 μm de largo; aerotopos de 0.64 a 1.77 μm de ancho x 0.24 a 1.4 μm de largo; tanto gránulos de pigmento como aerotopos, varían en cantidad y tamaño de célula a célula; separación clara entre células, pared de la célula verde-café pálido a intenso. Reproducción por presencia de hormogónios y necridios de color amarillo evidente (Fig. 10D).

Datos de campo: Morfo 6. Morro de La Mancha, punto 3 (16/03/2020).

Hábitat: marino, principalmente sumergido alrededor de 10 cm de profundidad, insolación indirecta, creciendo sobre barrera calcárea (rompeolas).

Comentarios taxonómicos: nuestras observaciones coincidieron con la descripción proporcionada por Komárek y Anagnostidis, (2005) en la mayoría de los caracteres descritos, sin embargo, el intervalo máximo para el ancho de las células en nuestros especímenes fue de 8.88 μm , superior al proporcionado en la literatura (6 μm). Asimismo, las células para esta especie se han registrado también como heterodiamétricas y mientras que las nuestras fueron isodiamétricas. Reportado previamente para Veracruz como *Microcoleus chthonoplastes* Thuret ex Gomont en Ortega *et al.*, (2001).

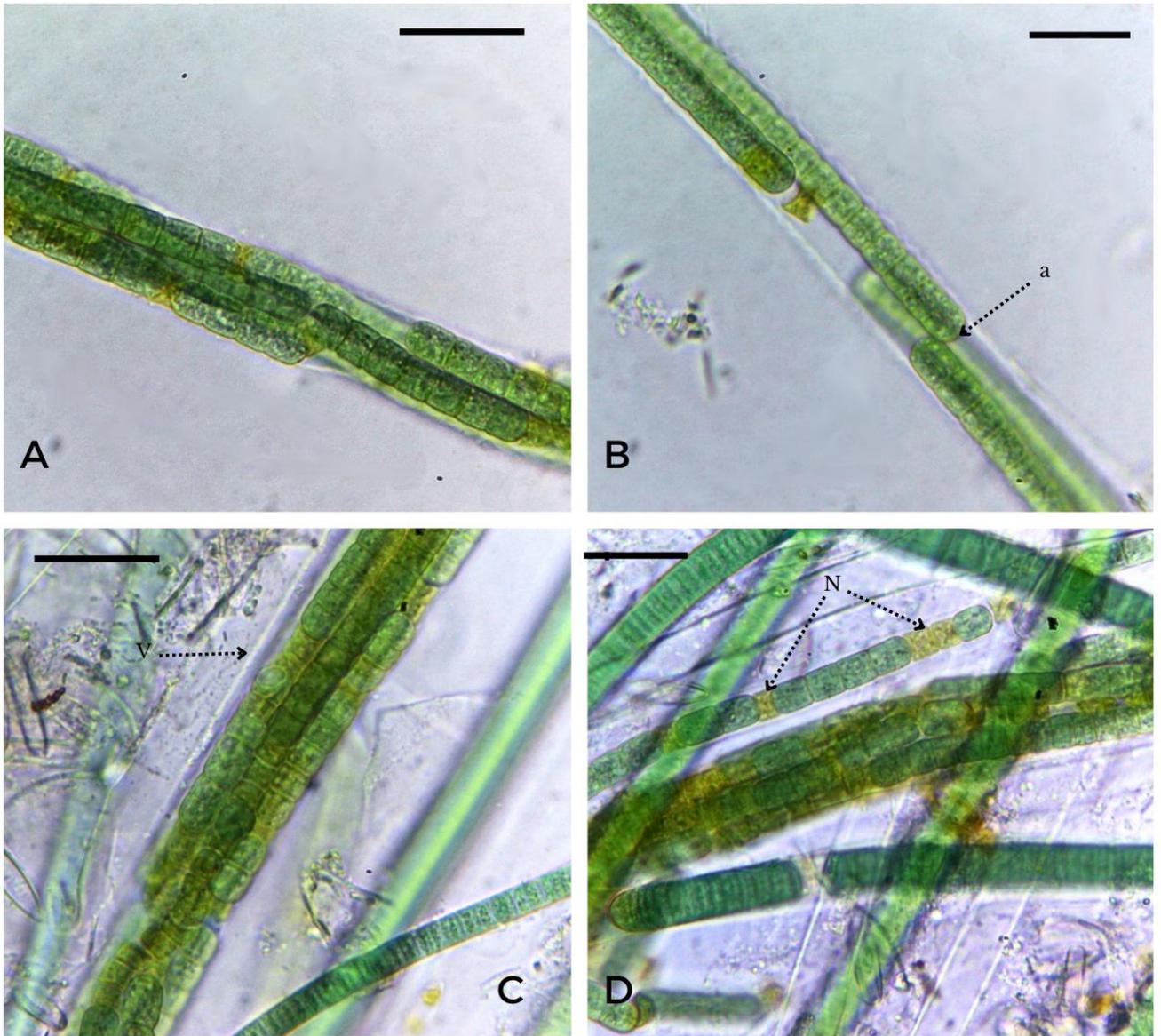


Fig. 10. *Coleofasciculus chthonoplastes*. A) Detalle de tricoma fasciculado. B) Detalle de la forma de los ápices (a) en el tricoma. C) Detalle de la vaina (v), señalada con flecha. D) Formación de necridios (N) en el tricoma. Escala= 20 μ m.

Orden Leptolyngbyales

9.1.2.4- Familia Leptolyngbyaceae

Leptolyngbya Anagnostidis et Komárek

9.1.2.4.1- *Leptolyngbya jadertina* (Kützing ex Hansgirg)

Anagnostidis (Fig. 11)

Descripción: Crecimiento sobre rocas, aprovechando las hendiduras (Fig. 11A), formando costras o manchones irregulares, de color verde oscuro. Tricomas solitarios, flexibles, presentando ondulaciones, de hasta 44.7 μm de largo, isopolares (Fig. 11B, D). Vaina poco evidente, de 0.42 μm de grosor promedio (Fig. 11C). Ápices con forma redondeada, de 3.18 a 5.81 μm de ancho x 2.54 a 4.86 μm de largo (Fig. 11A). Células color verde olivo a oscuro, con orillas amarillentas o levemente rojizas, de 2.18 a 3.12 μm de ancho x 2.17 a 6.98 μm de largo, con un espacio promedio de 0.4 μm entre ellas; la mayoría de las células presentan gránulos de pigmento y aerotopos principalmente redondos, de 0.37 a 1.45 μm de ancho x 0.23 a 1.7 μm de largo (Fig. 11A), variando su presencia y cantidad por célula. Reproducción por fragmentación y presencia de necridios (Fig. 11B).

Datos de campo: Morfo 6. Morro de La Mancha, punto 2 (16/03/2020).

Hábitat: marino, sobre roca en la línea de costa, insolación directa e indirecta en marea alta, sumergido alrededor de 10 cm.

Comentarios taxonómicos: Nuestros especímenes coinciden con la descripción, tipo de ambiente y esquemas de referencia publicados en Komárek y Anagnostidis, (2005), sin embargo, no mostraron coincidencia con los intervalos del ancho de las células, de mayor tamaño en nuestro material. Se identificó a nuestros especímenes bajo este

nombre, dado que las otras en el género pertenecen a ambientes dulceacuícolas y, las pocas especies marinas, deben presentar coloraciones muy evidentes en las vainas (amarillento y rojizo), lo cual no concordó con nuestras observaciones. Nuevo reporte para México.

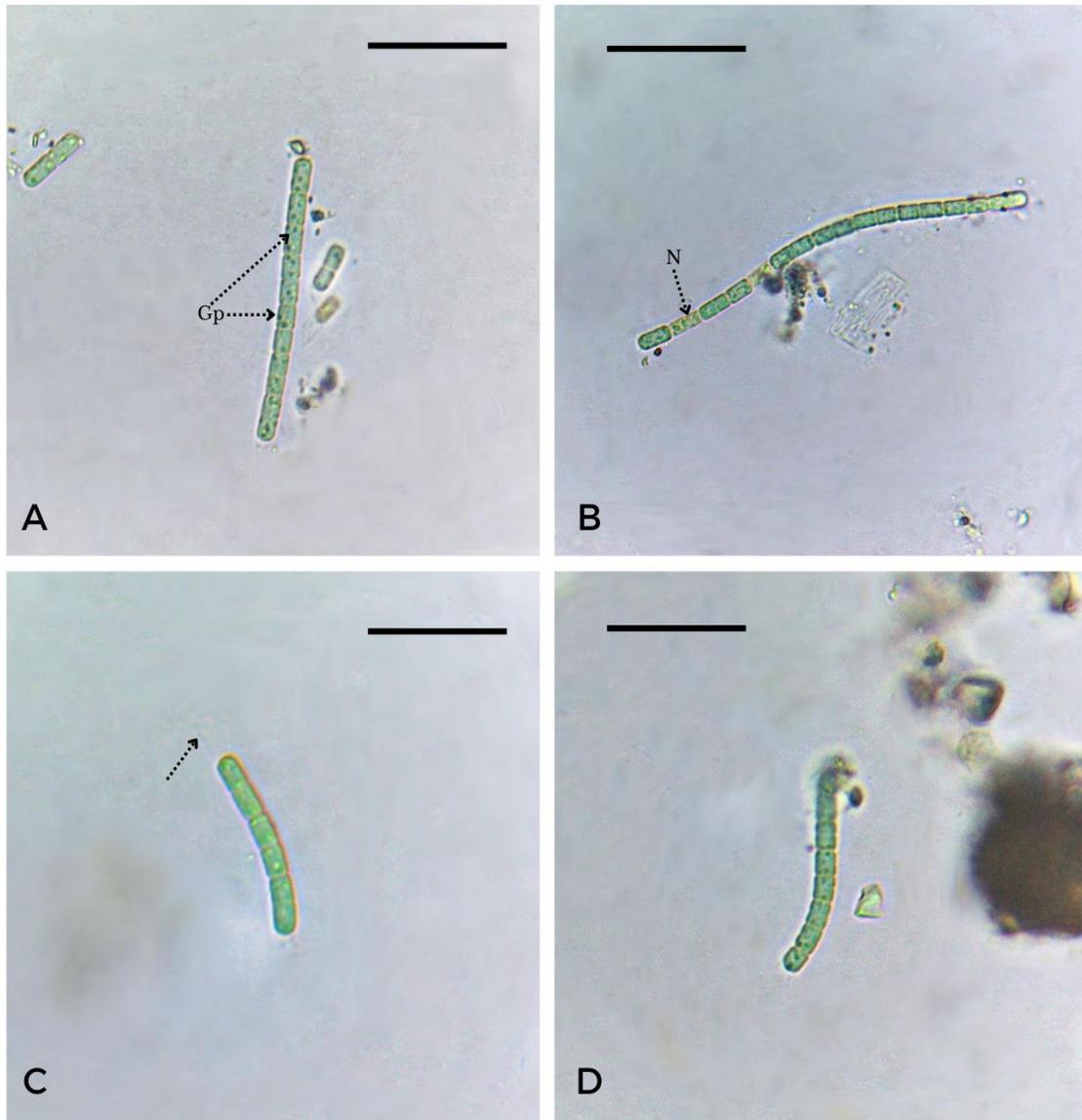


Fig. 11. *Leptolyngbya jadertina*. A) Detalle del tricoma mostrando células con gránulos de pigmento (Gp). B) Detalle de tricoma mostrando necridios (N) en formación. C) Remanente de la vaina señalado con una flecha. D) Filamento mostrando la flexibilidad que puede tener el tricoma. Escala = 20 μ m.

9.1.2.5- Familia Trichocoleusaceae

Schizothrix Kützing ex Gomont

9.1.2.5.1- *Schizothrix* cf. *helva* Frémy (Fig. 12)

Descripción: Crecimiento como lama en el fondo de encharcamiento que se fragmenta con facilidad, color verde claro a amarillo-rojizo. Tricomas fasciculados, con filamentos delgados, isopolares, desde 14 por vaina (Fig. 12D), intercalando filamentos de diferentes tallas, flexibles, constreñidos; filamentos intermedios de menor longitud, muy constreñidos (Fig. 12B). Vaina translúcida, hialina y difluente. Ápices de 0.54 a 3 μm de ancho x 1.07 a 3.68 μm de largo; ápices atenuados (Fig. 12C). Células de color verde claro a amarillo ocre o rojizo, de 0.4 a 2.38 μm de ancho x 0.2 a 4.32 μm de largo, isodiamétricas, separadas entre sí, de 0.14 a 1.07 μm . Reproducción por fragmentación.

Datos de campo: Morfo 5. Muestra 63.2. Morro de La Mancha, punto 1 (16/03/2020).

Hábitat: Marino, insolación directa, a 20 cm de profundidad, crecimiento sobre arena, poco movimiento de agua. zona inundada por temporadas.

Comentarios taxonómicos: de acuerdo con el catálogo de Komárek y Anagnostidis, (2005), nuestros especímenes coinciden con dos especies, *Schizothrix septentrionalis* Gomont y *S. helva* Frémy, sin embargo, *S. septentrionalis* fue descartada por las medidas y la forma de las células, principalmente rectangulares con proporciones 1/2 a 1/3, en nuestros ejemplares, las células son isodiamétricas y la coloración de la vaina reportada es amarillento o café y claramente lamelada, mientras que en nuestro material es hialina, no lamelada. Para el caso de *S. helva*, nuestros especímenes

fueron más próximos (0.4 a 2.38 μm de ancho) al intervalo de medidas proporcionado en la literatura para el ancho de las células (2.5 a 5 μm). En el catálogo de Komárek y Anagnostidis, (2005), el género *Schizothrix* tiene únicamente tres especies marinas, por lo que se requiere de una revisión más profunda de las poblaciones tropicales marinas para el género. Nuevo reporte para México.

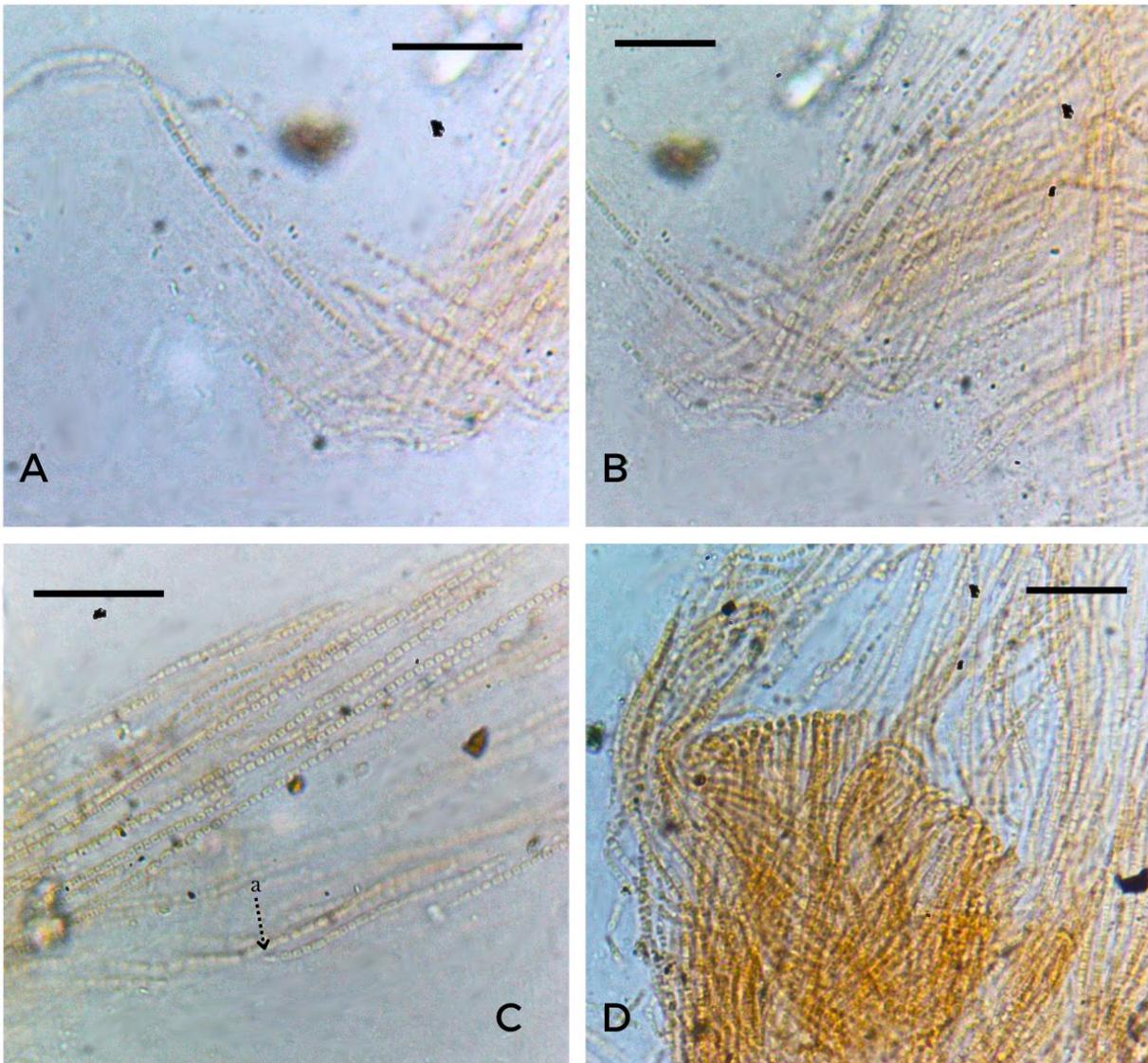


Fig. 12. *Schizothrix* cf. *helva*. A) Detalle del tricoma. B) Detalle de los tricomas mostrando su flexibilidad. C) Detalle del ápice (a), de un tricoma. D) Detalle de diferentes tricomas contenidos en una misma vaina. Escala= 20 μm .

9.1.3- Morfotipos

Los siguientes ejemplares fueron determinados únicamente como morfotipos dado que las características observadas, no coincidieron con alguna de las descripciones de especies conocidas, por lo que no fue posible llegar a una identificación.

Morfotipo A (Fig. 13)

Descripción: Crecimientos como tapetes lamosos, distribuidos en un área aproximada de 2 x 3 m, de color ocre o café-amarillento, con manchones aislados de color verdes oscuro y negro, límites muy evidentes, todos de textura mucilaginosa. Tricomas delgados, verde olivo, constreñidos, presencia de vaina, con varios aerotopos por célula. Ápices isopolares, redondeados. Células de 1.14 a 3 μm de ancho x 1.04 a 1.76 μm de largo, distinción evidente entre células. Reproducción por fragmentación.

Datos de campo: muestra 63, Costa de Oro (08/2022).

Hábitat: insolación directa, expuesto a salpicadura y sumergido a diferentes horas del día; creciendo sobre una estructura artificial de cemento, frente a un desagüe, con escurrimientos de agua dulce muy reducida.



Fig. 13. Morfotipo A. Tricoma con detalle de las células que lo conforman, vaina visible. Escala= 20 µm.

Morfotipo B (Fig. 14)

Descripción: Crecimiento como manchones de un color verde oscuro a brillante, irregulares a lo largo de toda la botella. Tricomas delgados, flexibles, de color verde olivo a amarillento, vainas poco evidentes. Ápices isopolares, redondeados. Células de 1.12 µm a 2.38 µm de ancho x 1.27 µm a 4.02 µm de largo, heterodiamétrico, ligeramente más largas que anchas, distinción evidente entre células, interior homogéneo. Reproducción por fragmentación.

Datos de campo: muestra 63, Costa de Oro (16/03/2020), 113 (20/08/2022).

Hábitat: insolación directa, creciendo sobre botella de plástico de tres litros, utilizada como boya; expuesto a salpicadura.

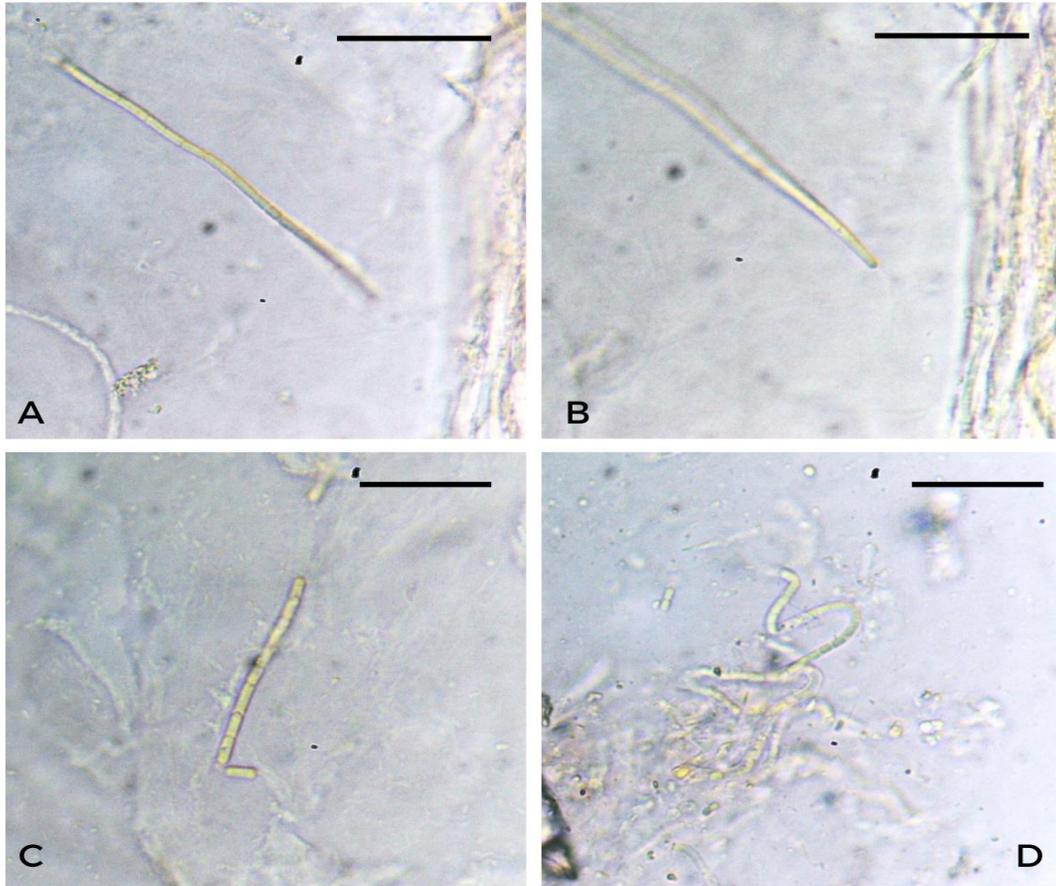


Fig. 14. Morfotipo B. A) Células del tricoma. B) Detalle del ápice. C) Mayor detalle del tipo de células. D) Flexibilidad del tricoma. Escala 20 μm .

Morfotipo C (Fig. 15)

Descripción: Crecimientos como pompones y tapetes, entre las grietas de las trazas de óxido de las piedras; de color negro a verde oscuro, de alrededor de 1 a 3 cm de extensión; textura firme, fuertemente adheridas a la roca. Tricomas isopolares, flexibles, con secciones en espiral y rectas; color amarillento a ocre, pocos de color verde claro; vainas muy evidentes, hialinas y difluentes. Ápices redondeados, en ocasiones atenuados, sin formar pelo terminal. Células de 1.21 a 3.35 μm de ancho x 2.33 a 8.09 μm de largo, heterodiamétrico, más largas que anchas, con interior homogéneo.

Datos de campo: muestra 65 y 70, Playa Muñecos (08/2022).

Hábitat: insolación directa, expuesto a salpicadura y sumergido a diferentes horas del día; creciendo sobre un sustrato rocoso, con trazas de un mineral que se oxida, dando la coloración rojiza del sitio.

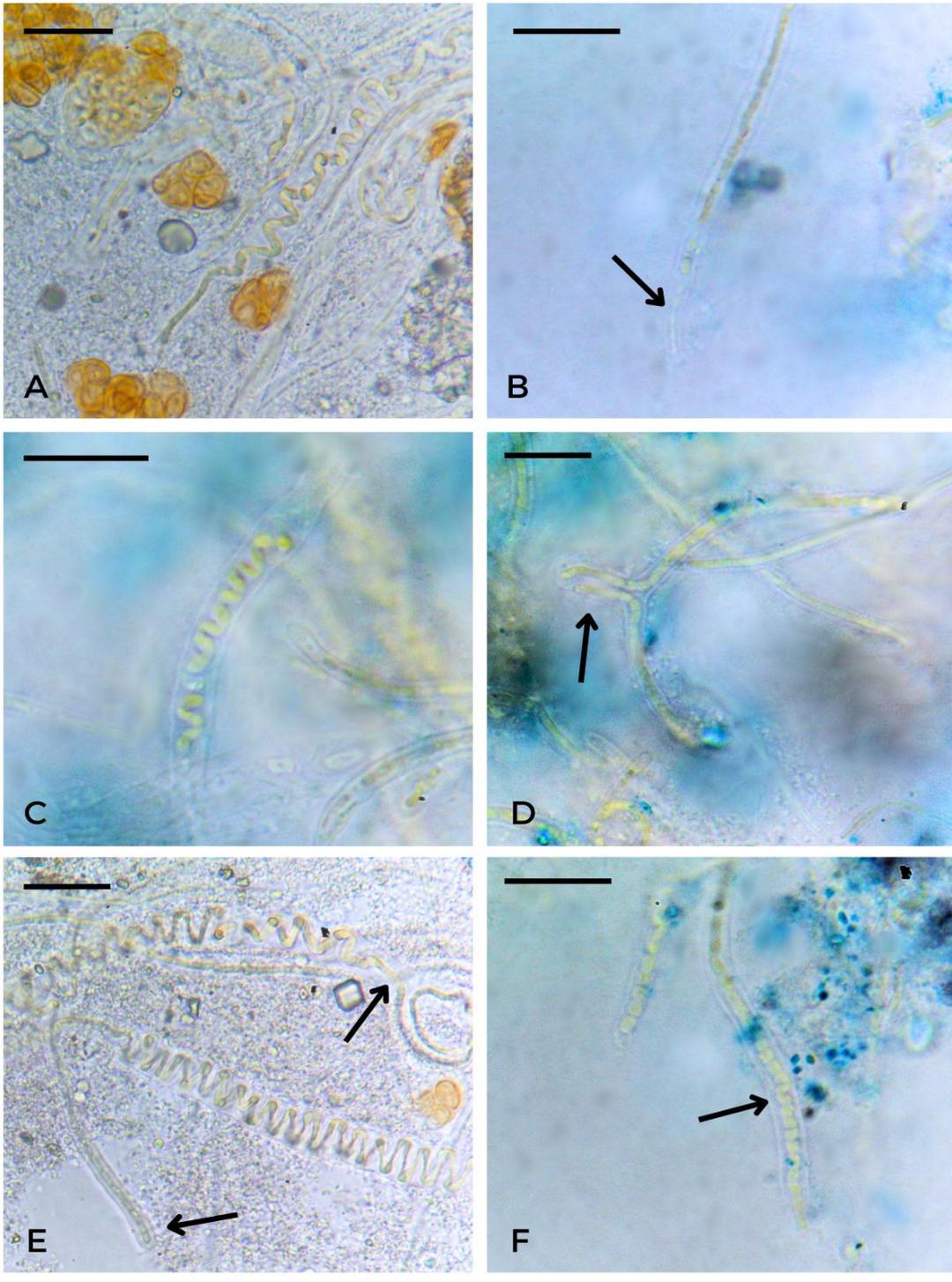


Fig. 15. Morfotipo C. A) Ejemplo del tricoma. B) Ápice. C) Tricoma enroscado en vaina. D) Ramificación falsa, indicada con flecha. E) Cambio de forma en el tricoma, señalado con la flecha. F) Cambio de la forma de la célula, indicado con flecha. Escala 20 μm .

Morfotipo D (Fig. 16)

Descripción: Crecimientos sobre rocas en el fondo, cubriéndolo todo, color café verdoso y amarillo en las zonas expuestas, crecimientos muy frágiles, textura arenosa.

Tricomas isopolares, delgados, verde claro, con vaina hialina, casi imperceptible. Ápice redondeado. Células de 0.65 a 1.93 μm de ancho y 1.58 a 5.84 μm de largo, heterodiamétricas, más largas que anchas, interior homogéneo.

Datos de campo: muestras 85 y 90, Laguna de la Mancha (17/03/2020).

Hábitat: sumergido a lo largo del día ± 30 cm, de profundidad.

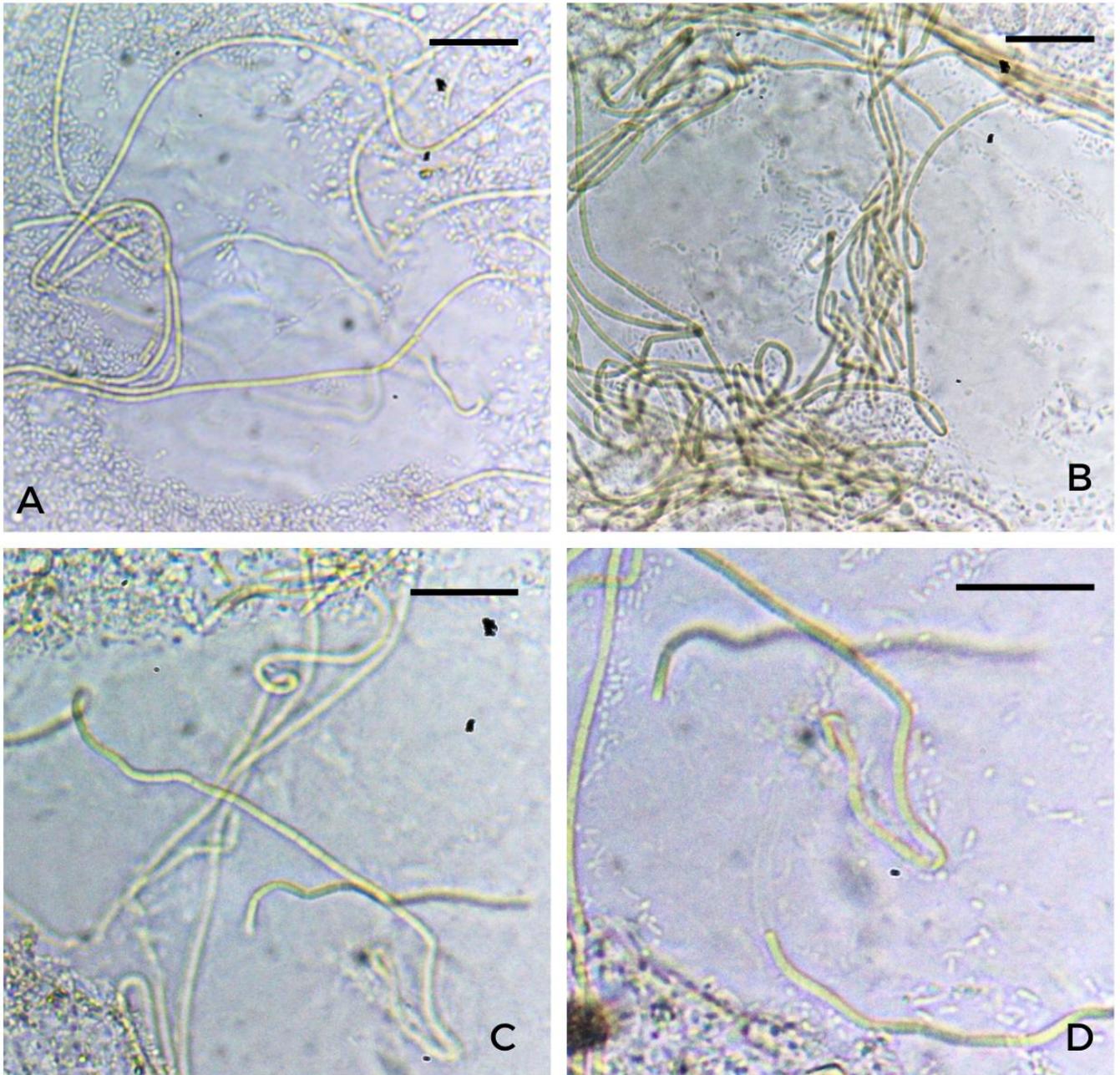


Fig. 16. Morfotipo D. A) Tricoma. B) Tricoma enredado en otros tricomas. C) Detalle de las células. D) Tipo de ápices y vaina visible. Escala 20 μm .

Morfotipo D.1. *Jaaginema* sp. (Fig. 17)

Descripción: creciendo sobre banqueta de cemento, escondido entre crecimiento de macroalgas, pequeños pompones, de color verde claro, poco evidentes, textura

mucilaginosa. Tricomas isopolares, muy delgados, verde claro a amarillo, con vaina muy delgada. Ápices redondeados. Células de 0.69 a 1.46 μm de ancho x 1.11 a 3.46 μm de largo, heterodiamétricas, más largas que anchas, se requiere aceite de inmersión para distinguir entre células.

Datos de campo: 131, 138 Morro de la Mancha (08/2022).

Hábitat: insolación directa, expuesto a salpicadura y principalmente sumergido a diferentes horas del día, creciendo sobre una escollera improvisada de cemento.

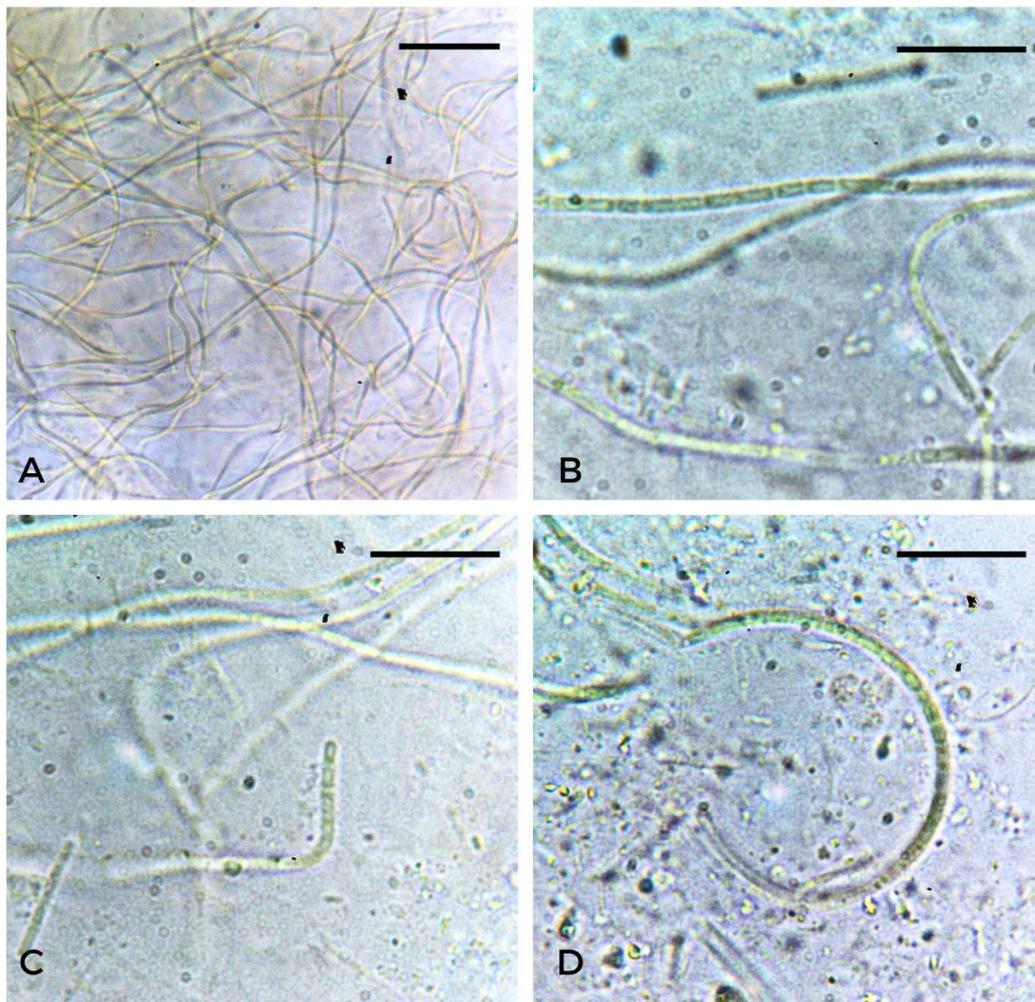


Fig. 17. Morfotipo D.1. A) Vista general de los tricomas, Escala 20 μm . B) Detalle de las células del tricoma. C) Forma del ápice. D) Flexibilidad del tricoma. Escala 6 μm .

Morfotipo E. *Schizothrix* sp. (Fig. 18)

Descripción: Crecimientos cespitosos, como tapetes, verde-oscuro, entre tapetes más grandes de color amarillo, poco mucilaginosos. Tricomas isopolares, fasciculados, de 2 a 4 tricomas dentro de una misma vaina, color amarillo dorado, interior con gránulos café, rojizos y verde oscuro; presencia de aerotopos. Vaina hialina a transparente, muy evidentes, vaina abierta en las zonas más distales. Ápices redondeados. Células de 0.81 a 2.86 μm de ancho y 1.33 a 5.61 μm de largo, heterodiamétricas más largas que anchas.

Datos de campo: 98 Costa de Oro (16/03/2020).

Hábitat: insolación directa, sumergido al menos la mitad del día, creciendo sobre una estructura artificial de cemento fragmentada de una pared de un desagüe.

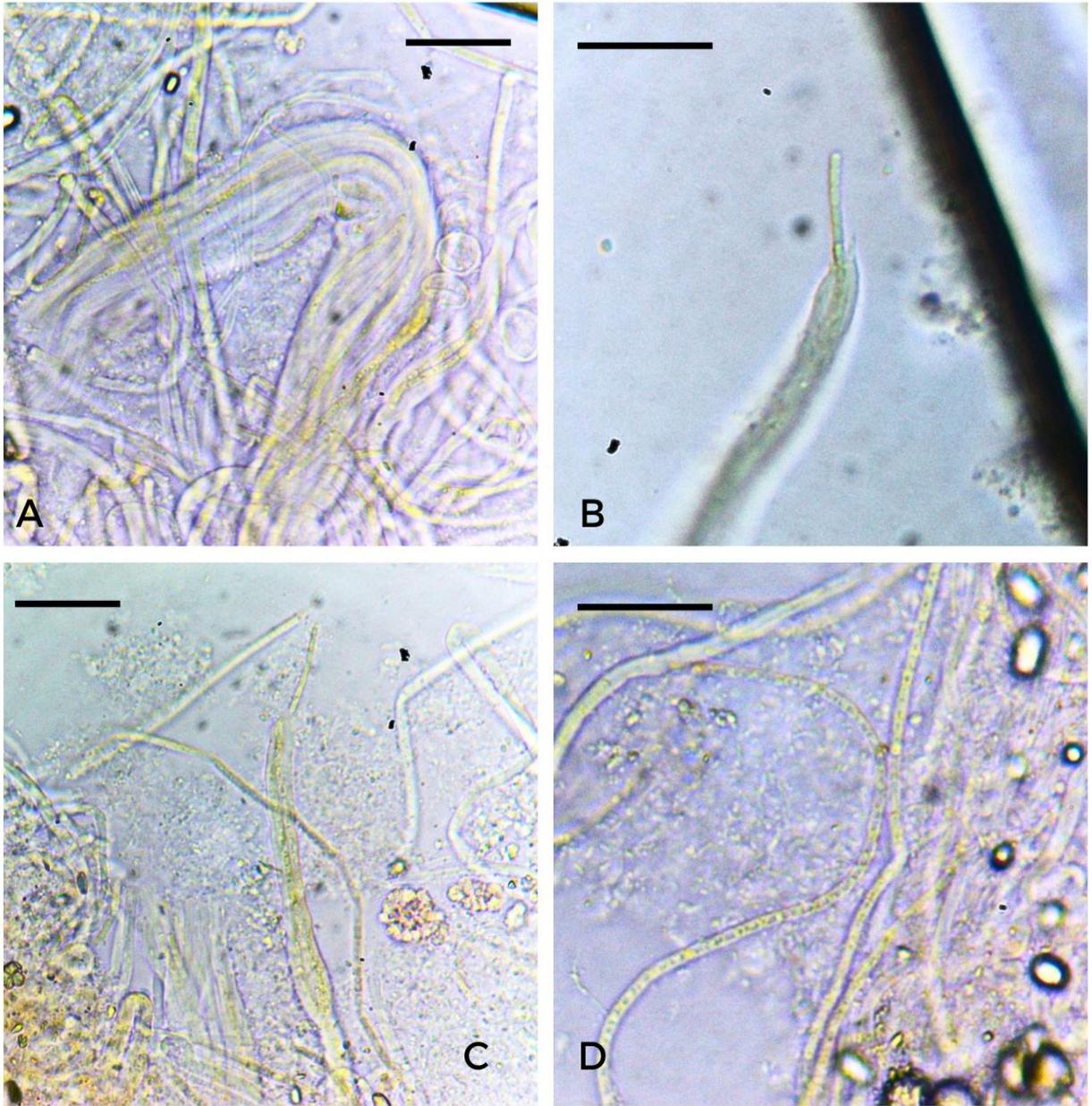


Fig. 18. Morfotipo E. A) Tricoma fasciculado. B) Forma del ápice y vaina abierta. C) Vista particular del tricoma. D) Detalles de la célula. Escala= 20 μ m.

Morfotipo F (Fig. 19)

Descripción: Crecimientos como tapetes de aproximadamente 15 a 30 cm, sobre rocas en una escollera, color amarillo-cafesoso, textura mucilaginoso a lo largo de todo el crecimiento, la base del crecimiento tiene una coloración verde oscuro, pero es una zona muy reducida. Tricomas delgados, con cierta flexibilidad, verde claro y amarillo, presencia de vaina, interior homogéneo. Ápices isopolares, redondeados. Células de 1.17 a 3.09 μm de ancho x 1.16 μm a 4.78 μm de largo, mayormente heterodiamétricas, más largas que anchas, distinción evidente entre células.

Datos de campo: muestra 127, Playa Gaviota (Costa de Oro) (16/03/2020).

Hábitat: Creciendo sobre la línea de costa, insolación directa, expuestos a salpicaduras; sobre una escollera.

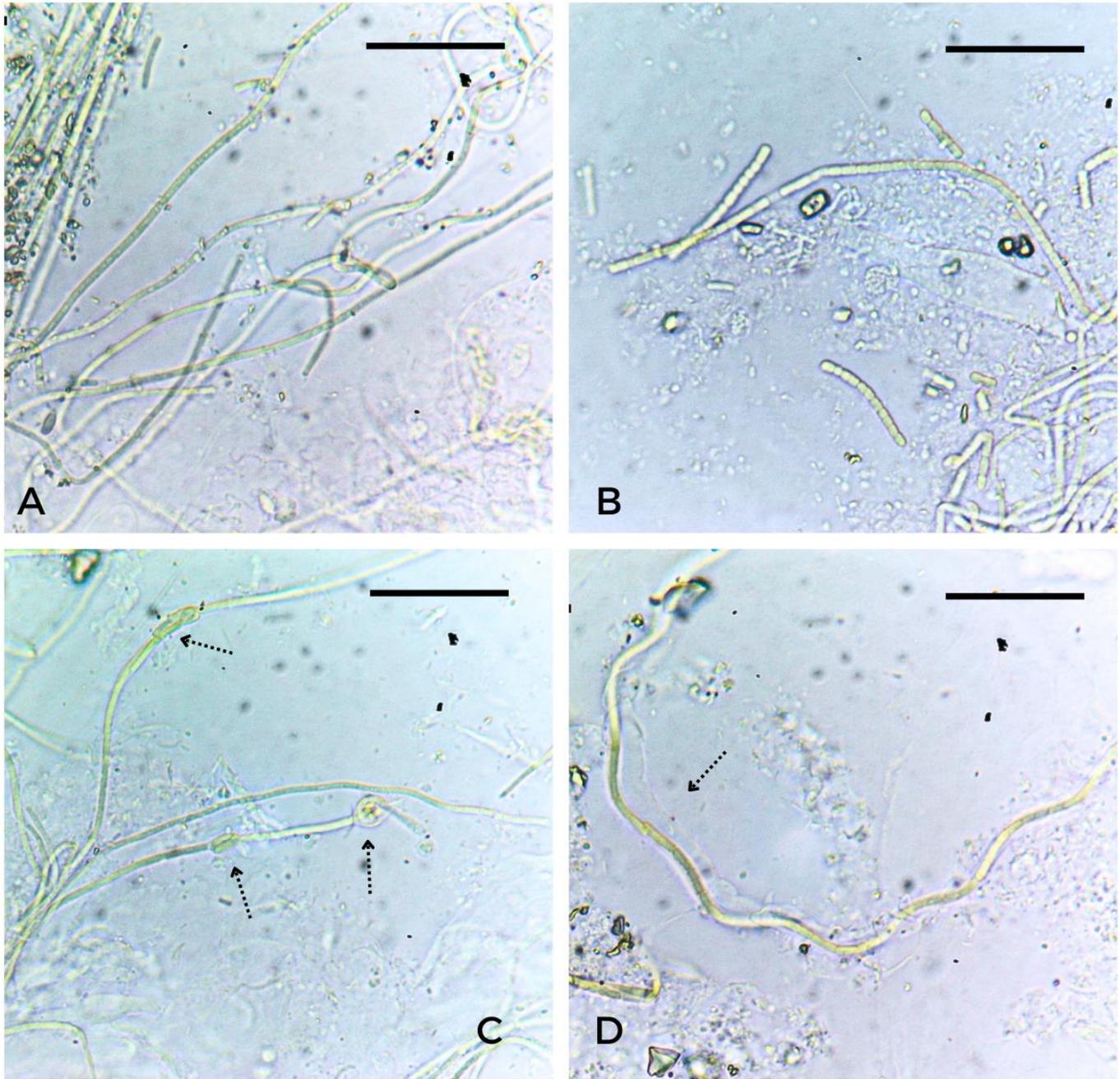


Fig. 19. Morfotipo F. A) Detalles del tricoma. B) Forma de las células que componen el tricoma. C) Pliegues del tricoma. D) Sobreposición de tricomas y amplia vaina hialina. Escala 20 μm .

Morfotipo G (Fig. 20)

Descripción: Crecimientos pequeños, visibles a simple vista, de aproximadamente 0.7 a 0.3 cm de superficie, color verde oscuro, sobre balanos. Tricomas isopolares, fasciculados, de 10 a 20 μm , muy delgados, quebradizos, color verde claro, presencia de vaina transparente, ligeramente lamelada, ápices redondeados. Células de 0.85 a 0.95 μm de ancho x 3.16 a 4.58 μm de largo, heterodiamétricos, más largas que anchas.

Datos de campo: insolación directa un par de horas al día, sumergido a más o menos 30 cm el resto del día, en la cresta de la rompiente de olas.

Hábitat: Muestra 137, Morro de la Mancha (16/03/2020).

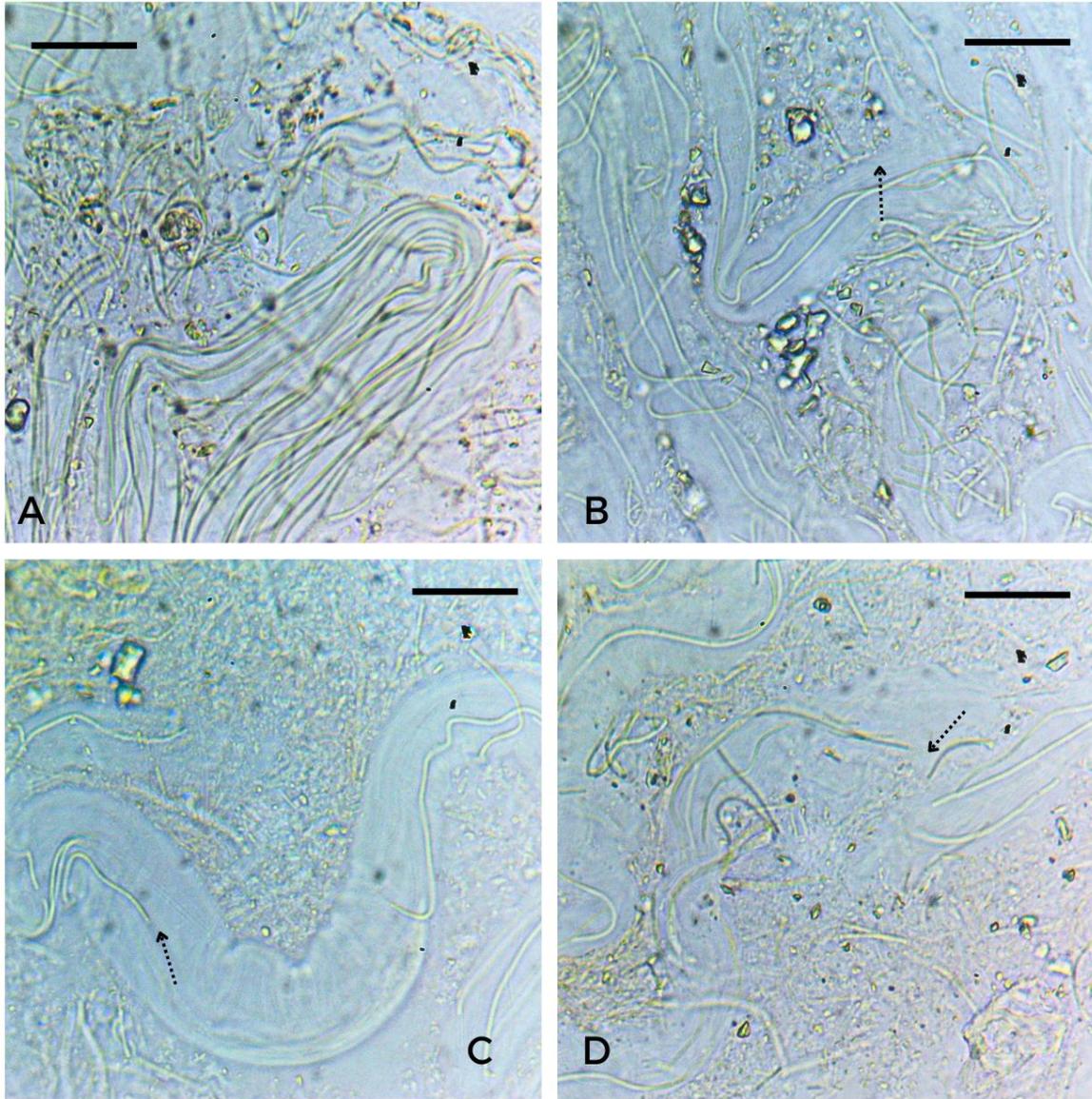


Fig. 20. Morfotipo G. A) Tricoma fasciculado. B) Vaina lamelada. C) Señalado con una flecha el ápice. D) Tricomas con separación evidente entre filamentos, señalado con una flecha

9.2- Morfometría

Los cuatro Análisis de Componentes Principales arrojaron seis componentes, de los cuales, los dos primeros explicaron más del 95% de la varianza (Tabla 5), y las variables que aportaron más información en la separación de los grupos fueron el largo

y el ancho de todas las estructuras analizadas. Los datos cuantitativos de las diagonales medidas en los ápices y las células intermedias no aportaron información suficiente en la formación de los grupos.

El dendograma basado en la matriz de los caracteres de los ápices mostró una concordancia, en el número de grupos formados (5), con el Análisis de Componentes Principales (Fig. 21 y 22). El primer grupo involucró a las especies *Leibleinia inconspicua* y *Schizothrix cf. helva*, el segundo a *Phormidium ambiguum*, el tercero a *Leptolyngbya jadertina*, el cuarto a *Coleofasciculus chthonoplastes*, y por último el quinto grupo formado por *Lyngbya semiplena* y *Phormidium lucidum*.

Tabla 7. Porcentajes de varianza que explican los primeros dos componentes principales para cada grupo de estructuras analizadas.

Estructura	% Varianza explicada		%Varianza acumulada
	CP1	CP2	
Ápice	83.2%	15.3%	98.6%
Células intermedias	93.1%	5.5%	98.7%
Gránulos de pigmentos	62.8%	37.1%	100%
Aerotopos	87.5%	12.4%	100%

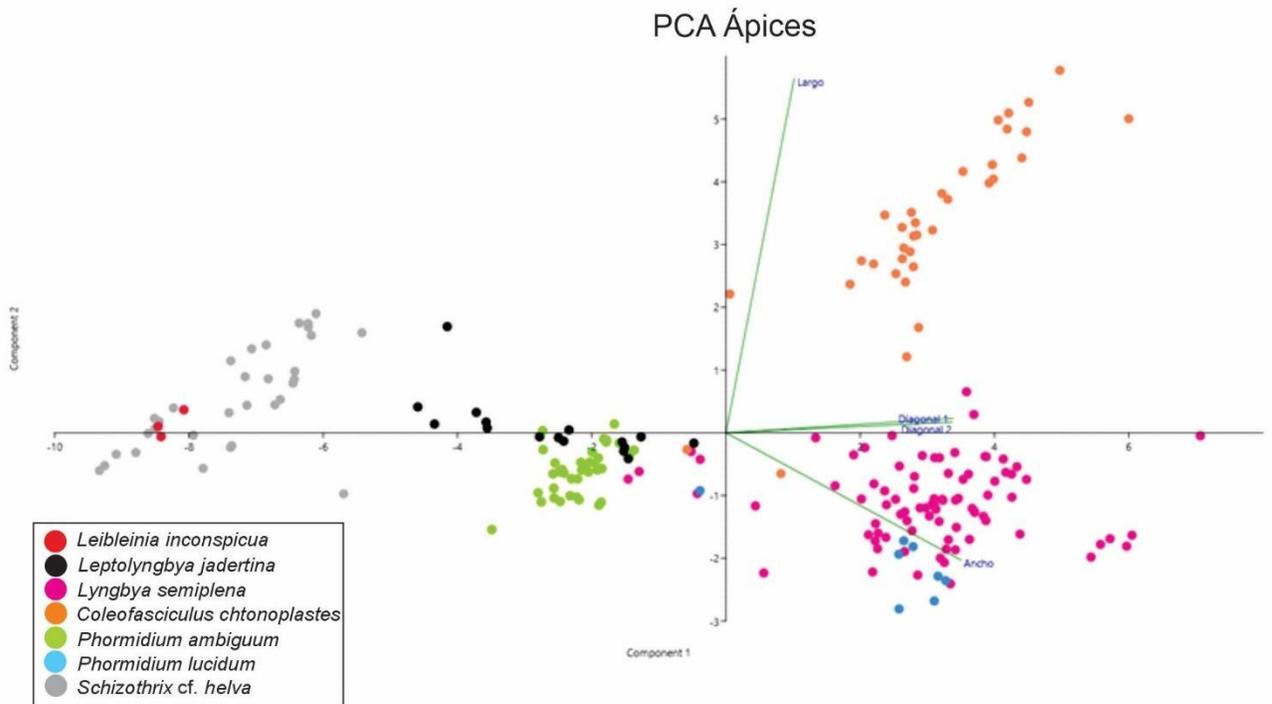


Fig. 21. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los ápices.

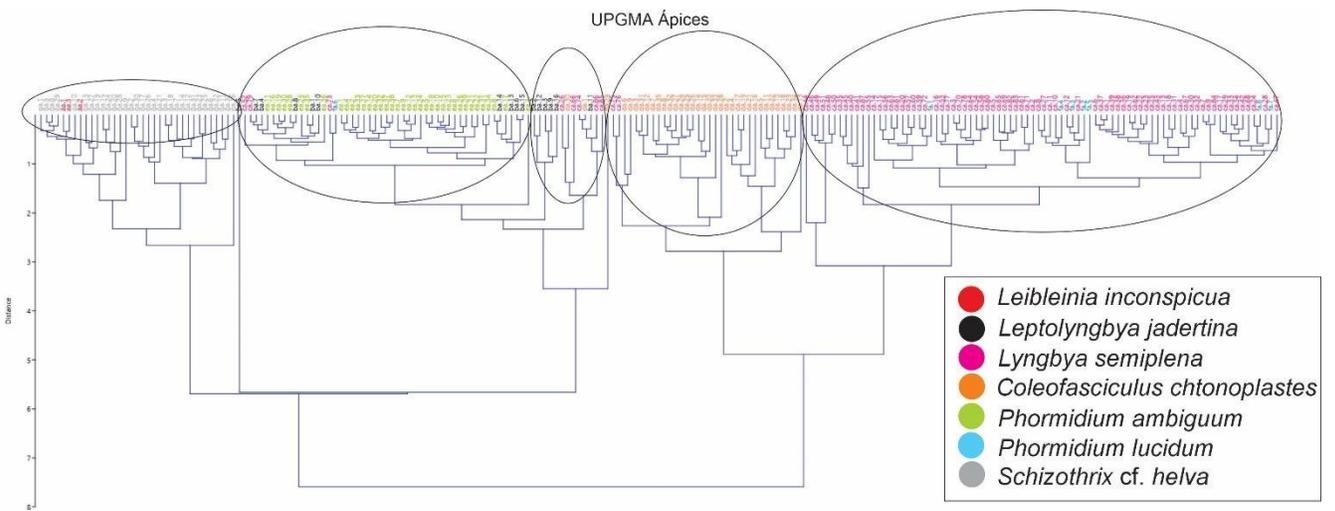


Fig. 22. Dendrograma. Resultado del análisis de agrupamiento bajo el índice de disimilitud euclidiana y el algoritmo UPGMA, basado en cuatro caracteres cuantitativos tomados en los ápices.

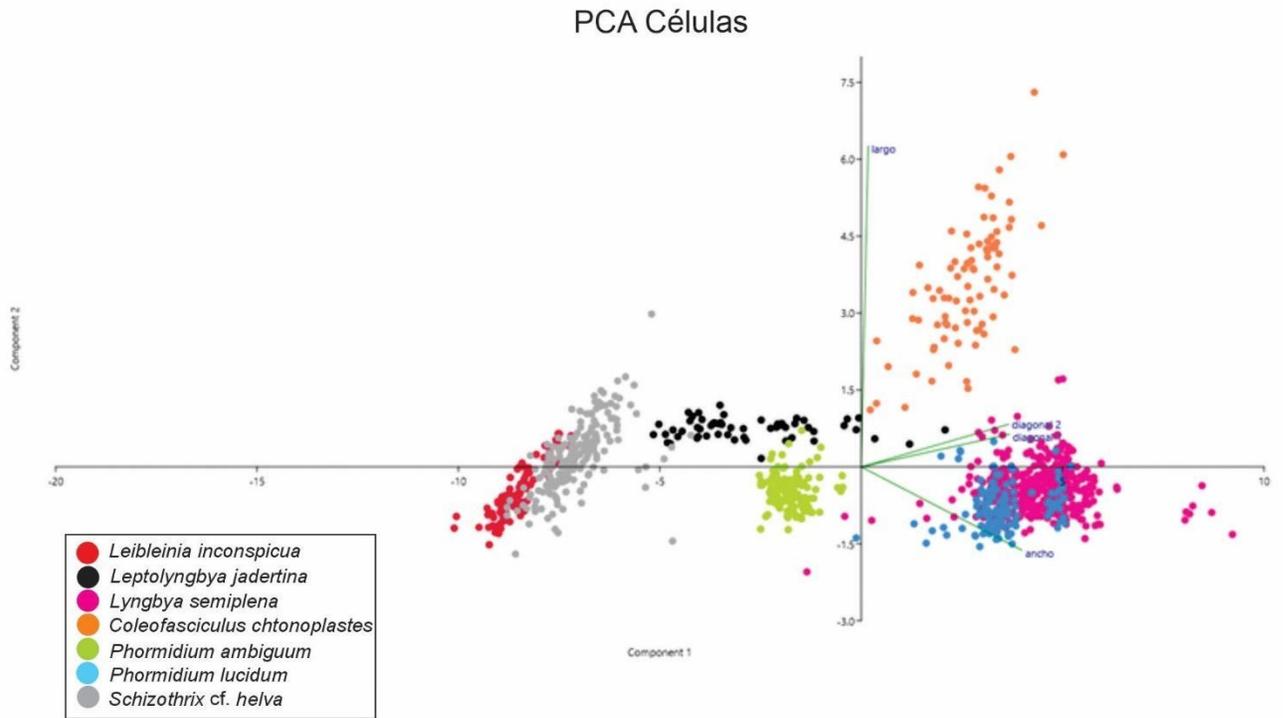


Fig. 23. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en las células intermedias.

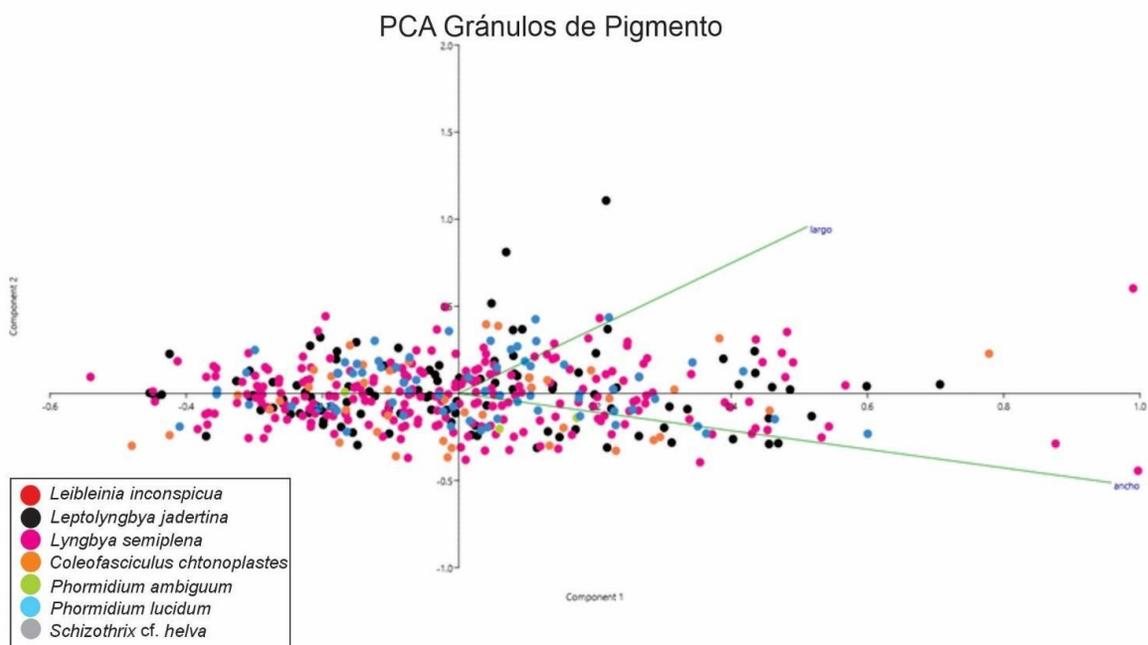


Fig. 24. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los gránulos de pigmento.

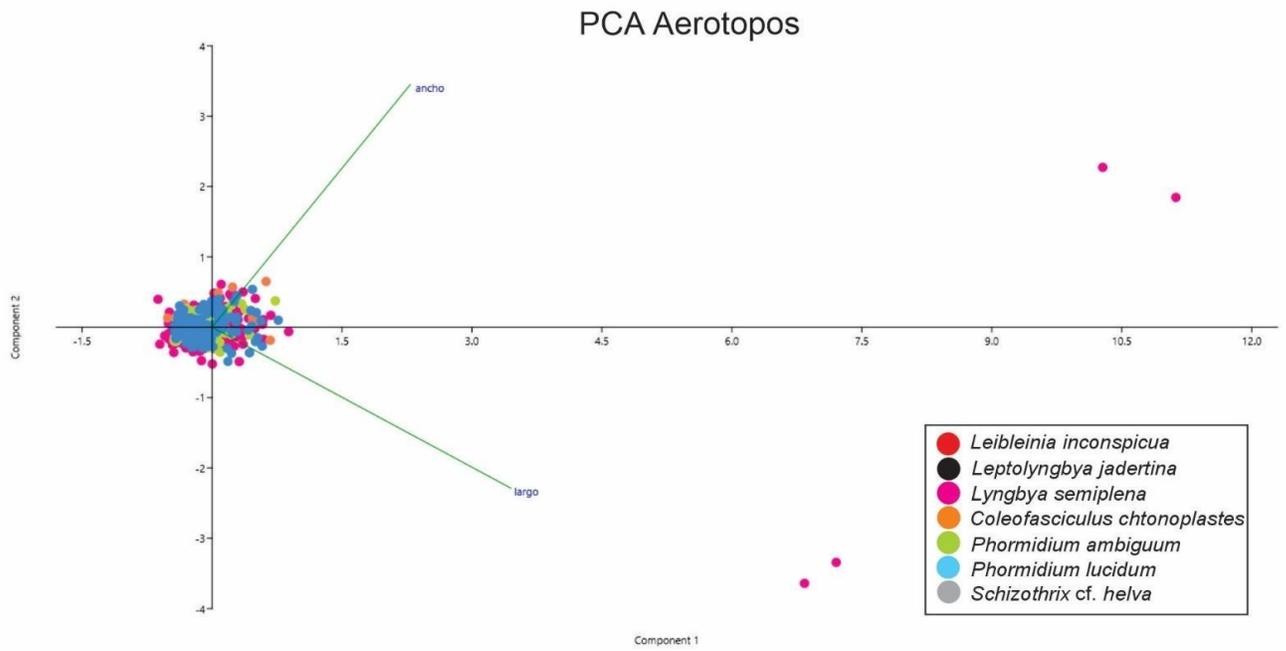


Fig. 25. Diagrama de los dos primeros componentes principales, obtenidos a partir de los caracteres medidos en los aerotopos.

9.3- Filogenia

Se generó un alineamiento final para el gen 16S ribosomal, junto con secuencias obtenidas del GenBank (Anexo 2), el cual consistió en 59 secuencias de especies de Oscillatoriales y órdenes afines, con una longitud total de 2300 pares de bases, 11 de las cuales fueron generadas en el presente estudio (Tabla 8). Las topologías resultantes de ML e IB fueron idénticas, por lo que sólo se presenta la hipótesis de ML con los valores de IB en un árbol consenso (Fig. 26).

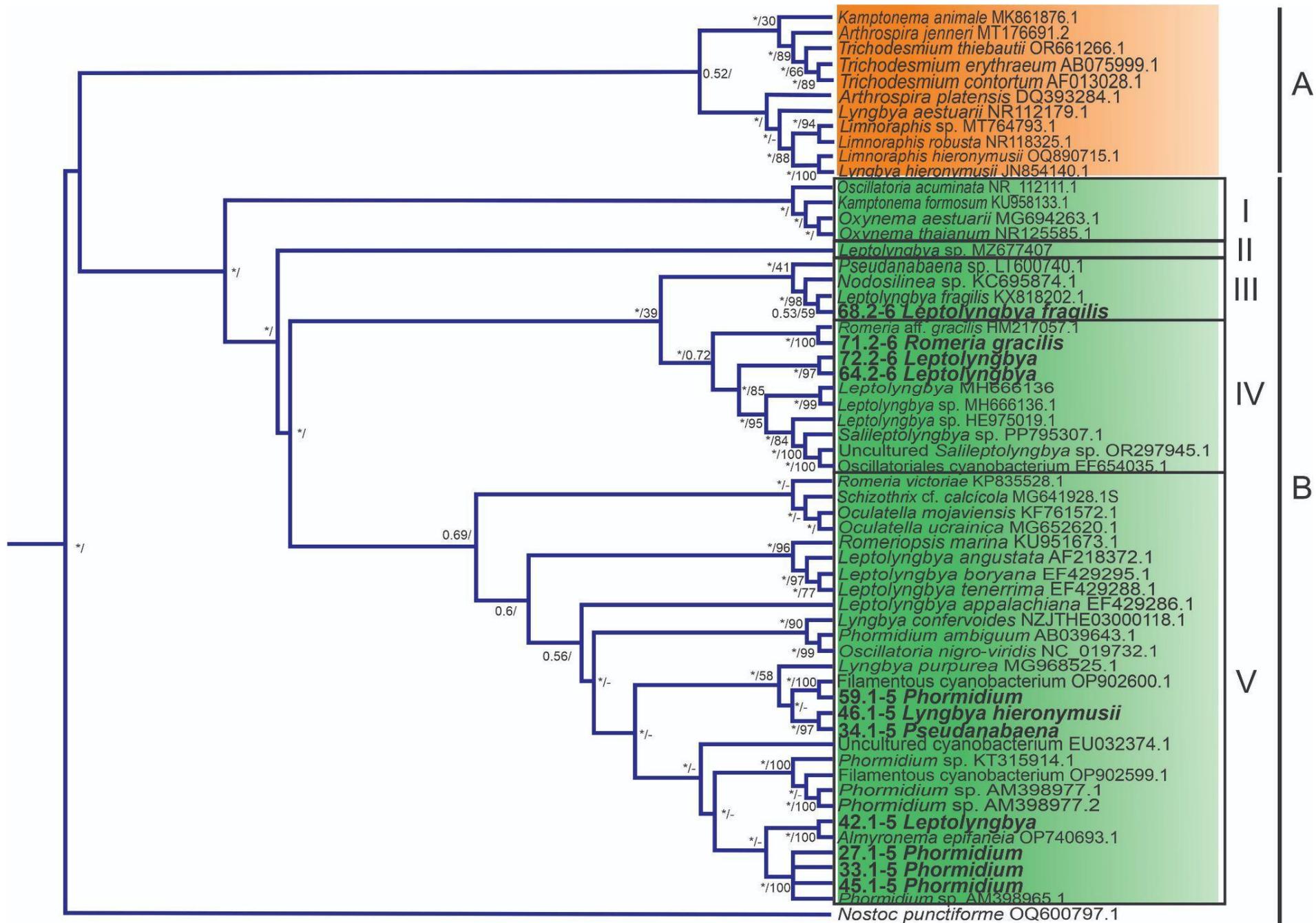
A partir de un análisis de BLAST en la base de datos del NCBI, nuestras secuencias fueron identificadas dentro de cinco géneros de Oscillatoriales y afines: *Leptolyngbya*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Pseudanabaena* Lauterborn y *Romeria* M. Koczwara (Tabla 8). Sin embargo, ninguna coincidió en un porcentaje de identidad superior al 95% con alguna de las especies disponibles en el GenBank.

En la topología consenso de ML e IB, las especies consideradas en el análisis se agruparon en dos grandes clados hermanos (Fig. 26), Clado A, sin soporte filogenético (IB = 0.52; ML = s/s) que agrupó a especies de la familia Microcoleaceae y el Clado B, con máximo soporte filogenético (IB = 1.0: ML= 100%), el cual agrupó al resto de las familias de Oscillatoriales y afines. A su vez, en el clado B, se reconocieron cinco subclados (numerados en romano del I al V). Las secuencias generadas en el presente estudio se agruparon en los subclados III, IV y V, siendo este último el que contuvo al mayor número (7/11). Sin embargo, se evidenció una alta polifilesis a lo largo de toda la topología, en donde secuencias bajo una denominación genética, se distribuyeron en diferentes clados a lo largo de toda la filogenia. De este modo, el género *Leptolyngbya* del cual obtuvimos cuatro secuencias, se ubicó en los subclados II, III,

IV y V; *Lyngbya* y *Phormidium* se ubicaron únicamente en el subclado V, aunque en distintas posiciones a lo largo de este y, relacionados con especies distintas; *Pseudanabaena* se ubicó en los clados III y V, y *Romeria* en el clado IV y V (Fig. 26).

Tabla 8. Especímenes confirmados molecularmente de las especies de Oscillatoriales y afines para el estado de Veracruz, México.

Id mol	Especie	Estado	Lugar	Fecha
46	<i>Lyngbya hieronomusii</i>	Veracruz	Costa de Oro	16/03/2020
64	<i>Leptolyngbya</i> sp.	Veracruz	Costa de Oro	16/03/2020
42	<i>Leptolyngbya</i> sp.	Veracruz	Laguna La Mancha	17/03/2020
72	<i>Leptolyngbya</i> sp.	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020
68	<i>Leptolyngbya fragilis</i>	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020
33	<i>Phormidium</i> sp.	Veracruz	Laguna La Mancha	17/03/2020
45	<i>Phormidium</i> sp.	Veracruz	Costa de Oro	16/03/2020
27	<i>Phormidium</i> sp.	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020
59	<i>Phormidium</i> sp.	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020
34	<i>Pseudanabaena</i> sp.	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020
71	<i>Romeria gracilis</i>	Veracruz	Playa Muñecos	17/03/2020



2.0

Fig. 26. Árbol consenso. gen 16S para especies de Oscillatoriales y afines, mostrando los valores de soporte de IB (izquierda) y de ML (derecha), en los nodos de las ramas. Con * se indica el máximo soporte filogenético, con - se indica valores por debajo de 50. En color naranja (Clado A) y verde (Clado B), se resaltan los grandes grupos hermanos formados. Los números romanos del I al V, indican los subclados formados al interior del clado B. Las secuencias generadas en el presente estudio se muestran en negrita.

9.3.1- Distancias genéticas interespecíficas.

Del análisis de distancias genéticas interespecíficas (distancias p) con el oligonucleótido 16S rARN, para las especies de Oscillatoriales y afines, se obtuvieron intervalos de valores para las especies identificadas dentro de los cinco géneros con quienes nuestras secuencias mostraron afinidad. De este modo, se eliminó la distancia que confería en la matriz de datos general las secuencias notablemente distantes. Consecuentemente, nuestra comparación y valores de distancias genéticas interespecíficas al interior de cada género fue más fiable, eliminando la distancia entre el total de las secuencias comparadas.

Para el género *Leptolyngbya* (Tabla 9), los valores de distancia genética interespecífica oscilaron en un rango de 3.8% (entre secuencias identificadas como *Leptolyngbya* sp. del GenBank (MH666136.1) y dos de las secuencias generadas en este estudio, una de Costa de Oro y otra de Playa Muñecos) a 28.7% (entre una secuencia generada en este estudio, identificada como *Leptolyngbya* sp. de Costa de Oro y *L. appalachiana* R. Johansen & Olsen del GenBank (EF429286.1)). Asimismo, las secuencias identificadas como 64.2-6 *Leptolyngbya* sp. con 72.2-6 *Leptolyngbya* sp., fue de 0.2%, lo que revela que, en Costa de Oro y Playa Muñecos, es posible encontrar al mismo espécimen.

Tabla 9. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género *Leptolyngbya*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Leptolyngbya</i> sp.												
1 MZ677407												
2 72.2-6 <i>Leptolyngbya</i>	0.281											
<i>Leptolyngbya</i>												
3 MH666136	0.109	0.038										
<i>Leptolyngbya</i> sp.												
4 HE975019	0.184	0.24	0.029									
5 42.1-5 <i>Leptolyngbya</i>	0.687	0.676	0.685	0.678								
<i>Leptolyngbya</i> sp.												
6 MH666136	0.109	0.038	0	0.029	0.685							
7 64.2-6 <i>Leptolyngbya</i>	0.113	0.002	0.035	0.044	0.669	0.035						
<i>Leptolyngbya fragilis</i>												
8 KX818202	0.101	0.076	0.081	0.087	0.684	0.081	0.078					
68.2-6 <i>Leptolyngbya fragilis</i>												
9	0.195	0.125	0.193	0.2	0.674	0.193	0.12	0.127				
1 <i>Leptolyngbya boryana</i>												
0 EF429295	0.211	0.297	0.107	0.212	0.682	0.107	0.122	0.118	0.178			
1 <i>Leptolyngbya angustata</i>												
1 AF218372	0.105	0.118	0.118	0.12	0.687	0.118	0.121	0.127	0.227	0.005		
1 <i>Leptolyngbya tenerrima</i>												
2 EF429288	0.212	0.296	0.106	0.212	0.681	0.106	0.121	0.118	0.177	0.003	0.005	
1 <i>Leptolyngbya appalachiana</i>												
3 EF429286	0.198	0.287	0.105	0.217	0.67	0.105	0.116	0.104	0.162	0.205	0.087	0.205

En cuanto al género *Lyngbya* (Tabla 10), los valores de distancia genética interespecífica oscilaron en un rango de 3.5% (entre *L. aestuarii* (NR112179) y *L. hieronymusii* (JN854140), ambas provenientes del GenBank) a 75.5% (entre una secuencia generada en este estudio de Costa de Oro y *L. confervoides* del GenBank (NZJT03000118)). Cabe resaltar que las distancias genéticas interespecíficas para el género *Pseudanabaena* fueron calculadas junto con los géneros *Lyngbya* y *Leptolyngbya*, debido a la estrecha relación filogenética de estas secuencias (Tabla 10, Fig. 26).

Tabla 10. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género *Lyngbya*.

	1	2	3	4	5
1 46.1-5 <i>Lyngbya hieronymusii</i>					
2 <i>Lyngbya hieronymusii</i> JN854140.1	0.689				
3 <i>Lyngbya purpurea</i> MG968525.1	0.746	0.576			
4 <i>Lyngbya aestuarii</i> NR112179.1	0.652	0.035	0.57		
<i>Lyngbya confervoides</i>					
5 NZJTHE03000118	0.755	0.611	0.683	0.592	

Para el género *Phormidium* (Tabla 11), los valores de distancia genética interespecífica oscilaron en un intervalo de 0% (entre las secuencias generadas en este estudio) y 68.4% (entre nuestras secuencias y *P. ambiguum* (AB039643) del GenBank).

Tabla 11. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género *Phormidium*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 <i>Phormidium</i> sp. AM398977									
2 27.1-5 <i>Phormidium</i>	0.169								
3 33.1-5 <i>Phormidium</i>	0.167	0.000							
4 <i>Phormidium</i> sp. AM398977	0.000	0.169	0.167						
5 45.1-5 <i>Phormidium</i>	0.168	0.000	0.000	0.168					
6 59.1-5 <i>Phormidium</i>	0.635	0.616	0.615	0.635	0.615				
7 <i>Phormidium</i> sp. AM398965	0.169	0.000	0.000	0.169	0.000	0.616			
8 <i>Phormidium</i> sp. KT315914	0.111	0.189	0.188	0.111	0.189	0.632	0.189		
<i>Phormidium ambiguum</i>									
9 AB039643	0.705	0.683	0.683	0.705	0.684	0.747	0.683	0.726	

Finalmente, para el género *Romeria* (Tabla 12), los valores de distancias genéticas interespecíficas oscilaron en entre 6.4% (entre la secuencia generada en este estudio y *R. gracilis* (HM217057) del GenBank) y 15.5% (entre nuestra secuencia y *R. victoriae* KP835528).

Tabla 12. Valores de distancias genéticas no corregidas (distancias p) para el gen 16S entre las secuencias disponibles en el GenBank para el género *Romeria*.

	1	2	3
1 <i>Romeria</i> aff. <i>gracilis</i> HM217057			
2 71.2-6 <i>Romeria gracilis</i>	0.064		
3 <i>Romeria victoriae</i> KP835528	0.12	0.155	

Cabe resaltar que las distancias genéticas corregidas no fueron calculadas, debido principalmente a que la disimilitud de los datos comparados generó sesgos en el cálculo de las distancias a partir de un modelo evolutivo de corrección, pues las secuencias comparadas no formaron grupos monofiléticos, ni siquiera a nivel genético, ya que, aunque se logró establecer una relación de las secuencias generadas en el presente estudio, con alguna secuencia del GenBank, no se logró una identificación a nivel específico, tampoco las secuencias obtenidas de esta base de datos la presentaron, la mayoría incluyó identificaciones a nivel sp.

10- Discusión

En el presente estudio se logró caracterizar morfológica y molecularmente a las especies del orden Oscillatoriales y otros afines, en las costas de Veracruz, México. De la caracterización de dichas especies, se obtuvo un listado potencial, a partir de la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos en este estudio, de 27 especies taxonómicamente correctas que constituyen la riqueza específica para el estado.

Del análisis de la literatura, se obtuvo que en general las especies de cianoprocariontes marinos bentónicos ha sido realmente subestimada en todo el mundo, pues poco se sabe sobre su distribución, ecología, biogeografía y morfología, lo que se ve reflejado en toda la problemática taxonómica que acompaña al grupo, no sólo en México (Cabrera-Becerril *et al.*, 2024; Johansen *et al.*, 2021). Particularmente en México, estos organismos han sido registrados únicamente en dos obras dedicadas a su estudio, siendo sólo una de ellas la que ha proporcionado datos de su morfología y registro fotográfico (Aké-Castillo, 2011), el resto, pertenecen a listados ficoflorísticos de algas superiores en los que estos organismos son mencionados de manera indirecta.

En cuanto a los aspectos dirigidos en el presente estudio, la morfología, la morfometría y la filogenia, encontramos problemáticas precisas al abordar el estudio de cada uno de estos aspectos, mismas que se discuten a continuación.

10.1- Morfología

A partir del análisis morfológico, fue posible llegar a la identificación taxonómica de las especies de Oscillatoriales y afines, únicamente para siete especies. No obstante, al momento de contrastar las características morfológicas de estas con las proporcionadas en la literatura especializada consultada (Komárek y Anagnostidis, 2005), se observaron numerosas diferencias en los caracteres. Tradicionalmente, la identificación específica de estos

organismos ha dependido de los caracteres de forma como largo y ancho de las células, forma de los ápices y condiciones ambientales. Sin embargo, se observó que la contrastación de dichas características no fue suficiente para la identificación de los especímenes de ambientes tropicales.

De las siete especies identificadas a este nivel, únicamente *Phormidium ambiguum* y *P. lucidum* coincidieron plenamente con la descripción de Komárek y Anagnostidis, (2005); sin embargo, ambas especies han sido reportadas como cosmopolitas en diferentes condiciones ambientales, razón por la cual no es posible asociarlas a un tipo de ambiente en particular. Komárek y Anagnostidis, (2005), han mencionado incluso la necesidad de realizar una revisión profunda de estas especies, ya que consideran que podría tratarse de un complejo de especies. Por otra parte, las cinco especies restantes no mostraron coincidencia total con las características descritas en Komárek y Anagnostidis, (2005), dado que los rangos del largo y ancho de las células fueron mayores (*Lyngbya semiplena*, *Leibleinia inconspicua* y *Coleofasciculus chthonoplastes*). Por otra parte, aunque *Leptolyngbya jadertina* si coincidió con las medidas celulares proporcionadas para la especie, otros caracteres asociados a la vaina no concordaron con la descripción dado que, se menciona que la vaina de esta especie presenta tonalidades rojizas, mientras que en los especímenes observados la vaina siempre fue hialina. Otro caso es *Schizothrix* cf. *helva*, quien no presentó características afines a ninguna de las especies descritas por Komárek y Anagnostidis, (2005), sin embargo, estos autores sólo presentan tres especies marinas de las cuales la más semejante con nuestros especímenes fue *S. helva*, quien presentó el rango de medidas más cercano, aunque variando en la forma y proporción. La vaina que presentaron estos especímenes también fue diferente en términos de su coloración hialina versus muy colorida y lamelada, tal como la describen

estos autores. Asimismo, dichos autores también hacen hincapié en la necesidad de revisar a mayor profundidad al grupo.

Adicionalmente, en este trabajo se presentaron las descripciones de ocho morfotipos para los que fue difícil llegar a una identificación específica e incluso genérica, dado que sus características no pudieron ser plenamente evaluadas debido principalmente a la falta de éxito en su cultivo.

A pesar de que se presenta la determinación a nivel específico de las siete especies mencionadas, es importante recalcar que la riqueza específica para el estado aún puede cambiar, ya que, como se menciona, estas especies no coincidieron plenamente con lo previamente reportado (Collado-Vides *et al.*, 1994; Ortega *et al.*, 2001; Ortegón-Aznar *et al.*, 2008; Aké-Castillo, 2011; Okolodkov *et al.*, 2011; Okolodkov y Blanco-Pérez, 2011; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2011; Aké-Castillo *et al.*, 2014; Nava-Olvera *et al.*, 2017; Castellano-Páez *et al.*, 2018; Figueroa-Torres *et al.*, 2018; León-Tejera *et al.*, 2019; de la Cruz-Francisco *et al.*, 2020), sugiriendo que podrían constituir una flora particular para la región que debe ser ampliamente evaluada, considerando también otro tipo de caracteres morfológicos y herramientas adecuadas para determinar la robustez de un conjunto de caracteres.

10.2- Morfometría

En cuanto a los análisis morfométricos, de acuerdo con Komárek y Anagnostidis, (2005), son el largo y el ancho de las células que conforman un tricoma, los que permiten la discriminación de especies y géneros de cianoprocariontes filamentosos que carecen de necridios y acinetos. Lo anterior se ve reflejado en los resultados morfométricos obtenidos en este trabajo, donde el largo y el ancho de los ápices y las células intermedias son los caracteres de mayor peso en la formación de los cinco grupos, de los cuales, dos muestran superposición entre dos especies de diferentes géneros; el primero conformado por *Leibleinia inconspicua* y *Schizothrix cf. helva*,

y el segundo por *Lyngbya semiplena* y *Phormidium lucidum*. En ambos casos, aunque las medidas sean similares, morfológicamente, están claramente diferenciadas por su coloración, número de tricomas por vaina, tipo de crecimiento macroscópico y primordialmente las formas. En cuanto a los gránulos de pigmentos y los aerotopos, tradicionalmente solo se tomaba en cuenta la presencia y ausencia de ellos, y en pocas ocasiones su posición en el tricoma, por lo que, en el presente estudio se consideró por primera vez su diámetro, con la finalidad de encontrar nuevos caracteres que pudieran influir en la discriminación de las especies analizadas, sin embargo, se evidenció que esta característica no permite tal diferenciación mostrando una superposición entre las siete especies.

De lo anterior, se mantiene que el largo y el ancho de las células en el tricoma de las especies de Oscillatoriales y afines, son caracteres robustos en la delimitación de la mayoría de las especies. No obstante, en algunos casos estos caracteres son sujetos a confusión debido a que los intervalos de medida son parecidos, llegando a su sobreposición, por lo que es indispensable continuar con los estudios morfométricos, incorporando, a su vez, la perspectiva geométrica cuyo análisis de las estructuras podría proporcionar nuevos caracteres que discriminen a las especies.

10.3- Filogenia

En cuanto a los aspectos filogenéticos, en el presente estudio se lograron obtener 11 secuencias que, a su vez, se agruparon como parte de cinco géneros: *Leptolyngya*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Pseudanabaena* y *Romeria*. A pesar de ello, la identificación a nivel específico no fue posible debido, principalmente, a la falta de secuencias moleculares disponibles en la base de datos de GenBank, con las cuales comparar, ya que, la mayoría, se encontraban únicamente identificadas como sp. o una denominación más general como cianoprocarionte. Lo anterior, revela la drástica falta de estudios especializados en el conocimiento de este

grupo, por lo que, hablar de relaciones filogenéticas aún es muy prematuro, ya que no se cuenta ni siquiera con el respaldo morfológico para estos registros que permita comparar con lo obtenido. Por otra parte, los valores de distancias genéticas interespecíficas obtenidos entre las secuencias generadas en este estudio y aquellas del GenBank para el oligonucleotido 16S rRNA, fueron muy superiores. Lo anterior, sumado al hecho de que en la filogenia resultante (Figura 26) la mayoría de los géneros fueron polifiléticos, evidencia que al interior de un mismo género existen diversos taxones que podrían corresponder con géneros o incluso familias diferentes. No obstante, es evidente la necesidad de realizar un estudio detallado en forma para resolver la problemática al interior de Oscillatoriales y afines. Sin embargo, en el presente estudio, no fue fácil la obtención de secuencias de estos organismos debido a la presencia de un alto nivel de epifitismo en las vainas, ya que constituyen un sustrato denso y nutritivo para el establecimiento de numerosas especies no sólo del orden. Se sugiere contar con protocolos de análisis más adecuados e incluso con genes particulares para el grupo.

En general, los cianoprocariontes marinos bentónicos, han sido poco estudiados a nivel molecular. Particularmente en México, los estudios filogenéticos se han centrado al grupo de los Nostocales (León-Tejera *et al.*, 2016; González-Reséndiz *et al.*, 2013, 2018; Johansen *et al.*, 2021; Cabrera-Becerril *et al.*, 2024), dejando al resto sin información con la que comparar. De lo anterior, aunque obtuvimos las secuencias de lagunas de estas especies, no fue posible establecer las relaciones filogenéticas entre ellas, únicamente se evidenció una problemática taxonómica intensa que revela una composición florística particular para la región de Veracruz, aún desconocida y que debe ser estudiada. Asimismo, no existió ninguna correspondencia filogenética con lo molecularmente descrito, por lo que la subestimación de la riqueza florística de este grupo en la región es un hecho.

Finalmente, el presente estudio representa una primera aproximación al estudio especializado de las especies de cianoprocariontes marinos filamentosos no heterocistasas en ambientes marinos tropicales de México, por lo que, aunque sienta las bases para futuros posteriores, aún queda mucho por realizarse.

11- Consideraciones

A partir del estudio de cianoprocariontes marinos bentónicos del orden Oscillatoriales y afines en Veracruz, se sugiere que, para garantizar un estudio detallado y exitoso, el procesamiento de las muestras debe realizarse de manera inmediata a su recolección, ya que, al deshidratarlas para conservarlas, la desecación induce a la modificación de su morfología original, generando sesgos en la contratación de las características morfológicas con aquellas descritas en la literatura.

Asimismo, se sugiere realizar el registro fotográfico del mayor número de caracteres y organismos asociados a la muestra, a fin de poder capturar la mayor cantidad de información que puede perderse en el proceso de revisión.

Por otra parte, es necesario comenzar desde cero con la elaboración de manuales de identificación de las especies, a partir del trabajo que ya se tiene avanzado, a fin de contar con una guía específica para las condiciones ambientales de los ambientes tropicales.

En cuanto al enfoque morfométrico, se recomienda explorar la robustez de los caracteres geométricos, no sólo las medias lineales, a fin de contar con una evaluación más completa de la forma, ya que se trata de organismos unicelulares donde la disponibilidad de caracteres es limitada.

En cuanto al análisis molecular, es importante iniciar con los procesos de extracción desde el inicio en la proliferación de los organismos en cultivo, ya que, a mayor espacio de tiempo, es posible perder biomasa o ganar epífitos.

Finalmente, se sugiere explorar un nuevo conjunto de marcadores más específicos para trabajar al grupo, que permita la eliminación a priori de numerosos organismos epífitos como bacterias no fotosintéticas asociadas y hongos que reducen el éxito de la amplificación

12- Conclusiones

A partir de nuestros resultados morfológicos, morfométricos y moleculares, concluimos que: en el estado de Veracruz, la riqueza específica de los cianoprocariontes marinos bentónicos está subestimada, esto, en gran parte, es el resultado de una historia de falta de estudios morfológicos detallados con los cuales comparar a las especies de ambientes marinos tropicales. En particular, dada la relativa sencillez estructural que presentan, las especies del orden Oscillatoriales, son de las menos estudiadas; nuestros resultados revelaron incluso su relación y parecido morfológico con otras especies filamentosas morfológicamente muy parecidas, de los órdenes Coleofasciculales y Leptolyngbyales. En total, contribuimos con el conocimiento de la riqueza específica de Oscillatoriales y afines en siete registros nuevos para Veracruz y cuatro para el Golfo de México, y un incremento del 26% en la riqueza específica del grupo. Asimismo, se presentan las primeras descripciones morfológicas detalladas, documentadas fotográficamente y con datos ecológicos, para especies de Oscillatoriales y afines en ambiente marinos tropicales.

Por otro lado, el análisis de secuencias moleculares no confirmó la identidad de ninguna de las especies previamente registradas a partir de la morfología, lo que, junta con la descripción de ocho morfotipos para los que no se llegó a una identificación específica, evidencia posible nueva diversidad específica que debe ser descrita, sugiriendo un incremento en el número de especies conocidas actualmente en Oscillatoriales y afines.

Por otro lado, el análisis de secuencias moleculares no confirmó la identidad de ninguna de las especies previamente registradas a partir de la morfología, lo que, junta con la descripción de ocho morfotipos para los que no se llegó a una identificación específica, evidencia una posible

nueva diversidad específica que debe ser descrita, sugiriendo un incremento en el número de especies conocidas actualmente en Oscillatoriales y afines.

En cuanto a las relaciones filogenéticas del grupo, existen diversos géneros polifiléticos al interior de Oscillatoriales y afines, sin embargo, dicha hipótesis no presentó correspondencia con la evidencia morfológica, ya que los cuatro órdenes presentados aquí, se agruparon en distintos clados. Consecuentemente, la filogenia del grupo de los Oscillatoriales y ordenes afines se desconoce y debe ser descrita en detalle, involucrando evidencia total, morfológica, ecológica y filogenética.

Por otra parte, se desconoce al momento si la flora de Oscillatoriales marinas mexicanas se comparte con otros sitios fuera del país, ya que las especies caracterizadas molecularmente, no presentaron correspondencia con lo que existe actualmente en el GenBank para comparar.

Los análisis morfométricos corroboraron que el largo y el ancho de las células que conforman un tricoma son caracteres que permiten la discriminación entre especies del orden Oscillatoriales y afines, mientras que los gránulos de pigmentos y los aerotopos no brindan información para tal diferenciación. Sin embargo, al ser tan escasos los caracteres diagnósticos en estos organismos y solo contar con descripciones de especies que habitan lugares fríos y templados, es necesario continuar e integrar otro tipo de análisis que permitan hallar nuevos caracteres de delimitación taxonómica, como, por ejemplo, los análisis de morfometría geométrica.

Se obtuvieron 11 secuencias de ADN del gen 16S rARN de cianoprocariontes marinos que son las primeras para México, de ambientes tropicales, dando lugar a la identificación de dos especies potenciales y siete nuevas propuestas de especies para el estado.

Finalmente, el grupo de cianoprocariontes marinos en el país requiere de mayores estudios, únicamente enfocados en el grupo que cuenten con descripciones, tallas, fotografías de igual forma trabajos que aporten secuencias y se trabaje con herramientas moleculares, ya que se requieren obras con las cuales hacer las comparaciones para poder llegar a identificaciones correctas y pasar a otro tipo de estudios abordando problemáticas ecológicas, aprovechamiento, biotecnología y áreas de la salud.

13- Referencias

- Aguilar, V., M. Kolb, D. Hernández, T. Urquiza y P. Koleff. 2008. Prioridades de conservación de la biodiversidad marina de México. CONABIO. *Biodiversitas* 79:1-15
- Aké-Castillo, J. A. 2011. Temporal dynamics of *Trichodesmium erythraeum* (Cyanophyta) in the National Park "Sistema Arrecifal Veracruzano" in the Gulf of Mexico. *Journal of Environmental Biology* 32(4): 395.
- Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y. B., Rodríguez-Gómez, C. F., y Campos-Bautista, G. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. México: UAC, UNAM-ICMyL, CINVESTAV-Mérida*, 133-146.
- Anzures, M., Gaytán, M., y Cuna, E. 2021. Algas extremófilas: estrategias de supervivencia y uso potencial. *BioTecnología* 25(2): 9-21.
- Boyer, S. L., Johansen, J. R., Flechtner, V. R. y Howard, G. L. 2002. Phylogeny and Genetic Variance in Terrestrial *Microcoleus* (Cyanophyceae) Species Based. In Sequence Analysis of the 16s rRNA Gene and Associated 16S–23S ITS REGION. *Journal of Phycology* 38: 1222 – 1235 pp.

- Brolatto, M. P. 1994. Cianobacterias potencialmente tóxicas en plantas de tratamiento de agua en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*: 5-8.
- Cabrera-Becerril, E., García-García, A. M. E., Núñez Resendiz, M. L., Dreckmann, K. M., y Sentíes, A. 2024. Diversity of marine benthic species of Nostocales (Cyanobacteria) in Veracruz, Mexico. *Botanical Sciences* 102(2): 561-585.
- Campos, V., Muñoz, D., Straube, M., Lisperguer, S., y Weckesser, J. 2007. Péptidos tóxicos y no tóxicos de cianobacterias en cuerpos de agua dulce de La V Región, Chile. *Boletín Micológico* 22.
- Casamatta, D. A., Johansen, J. R., Vis, M. L., y Broadwater, S. T. 2005. Molecular and morphological characterization of ten polar and near-polar strains within the Oscillatoriales (Cyanobacteria) 1. *Journal of Phycology* 41(2): 421-438.
- Castellanos-Páez, M. E., Herrera, A. E., Aldeco-Ramírez, J., y Pagano, M. 2018. *Ecology of the Sontecomapan lagoon, Veracruz*. IRD Éditions
- Chatchawan T., Komárek, J., Strunecky, O., Smarda, J. y Peerapornpisal, Y. 2012. *Oxynema*, a New Genus Separated from the Genus *Phormidium* (Cyanophyta). *Cryptogamie, Algologie* 33(1): 41-59. (1 febrero 2012). <https://doi.org/10.7872/crya.v33.iss1.2011.041>.
- Collado-Vides, L., González-González, J., y Gold-Morgan, M. 1994. A descriptive approach to the floating masses of algae of a Mexican Caribbean coastal lagoon. *Botanica Marina* 37: 391-396.
- de la Cruz Francisco, V., Medrano, R. E. O., y González, M. G. 2020. Lista actualizada de la flora marina bentónica de cinco arrecifes coralinos del norte de Veracruz, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 12(1): 69-97.

- Dreckmann, K. M. 2012. Los géneros *Gracilaria* e *Hydropuntia* (Gracilariaceae, Rhodophyta) en las costas mexicanas del Golfo de México y Caribe. *Monografías Ficológicas* 4:111-178 pp.
- Figueroa- Torres, M. G., Encarnación, S. A., Ferrara-Guerrero, M. J., & Pagano, M. (2018). *Phytoplankton of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz, Mexico. Ecology of the Sontecomapan Lagoon, Veracruz*, 105.
- García-García, A. M. E., Cabrera Becerril, E., Núñez- Reséndiz, M. L., Dreckmann, K. y Senties, A. 2020. Actualización taxonómica de las algas rojas (Rhodophyta) marinas bentónicas del Atlántico mexicano. *Acta Botánica Mexicana* 127: e1677. 1-25 pp.
- González-Resendiz, L., León-Tejera, H. P., Díaz-Larrea, J., Alba-Lois, L., Y Segal-Kischinevzky, C. (2013). *Hassallia littoralis* sp. nov. (Cyanobacteria, Microchaetaceae) from Mexico's marine supralittoral based on morphological and molecular evidence. *Phytotaxa*, 137(1), 35-47.
- González-Resendiz, L., Johansen, J. R., Escobar-Sánchez, V., Segal-Kischinevzky, C., Jiménez-García, L. F., y León-Tejera, H. 2018. Two new species of *Phyllonema* (Rivulariaceae, Cyanobacteria) with an emendation of the genus. *Journal of Phycology* 54(5): 638-652.
- Guerrero-Carrera, J., Landeros-Sánchez, C., Martínez-Dávila, J. P., López-Romero, G., Nikolskii-Gavrilov, I., Hernández-Pérez, J. M., y Soto-Estrada, A. 2015. Climate change impact on sugarcane crop in the Gulf of Mexico: a farmers perception and adaptation measures. *Journal of Agricultural Science* 7(10): 140.
- Guiry, M. D. y G. M. Guiry. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org> (consultado Noviembre 2023).

- Hall T. A. 1999. "BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT". *Nucleic Acids Symposium Series* 41: 95-98 pp.
- Hammer, Q., D.A.T. Harper y P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9.
- Hašler, P., Dvořák, P., Johansen, J. R., Kitner, M., Ondřej, V., y Poulíčková, A. 2012. Morphological and molecular study of epipellic filamentous genera *Phormidium*, *Microcoleus* and *Geitlerinema* (Oscillatoriales, Cyanophyta/Cyanobacteria). *Fottea* 12(2): 341-356.
- Hauer, T. y Komárek, J. 2022: CyanoDB 2.0 - On-line database of cyanobacterial genera. - World-wide electronic publication, *Univ. of South Bohemia y Inst. of Botany AS CR*, <http://www.cyanodb.cz>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos 2010. Veracruz de Ignacio de la Llave. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293192>
- Johansen J. R., Kovacik L., Casamatta D. A., Fučíková K. y Kaštovský J. 2011. Utility of 16S–23S ITS sequence and secondary structure for recognition of intrageneric and intergeneric limits within cyanobacterial taxa: *Leptolyngbya corticola* sp. nov. (*Pseudanabaenaceae*, Cyanobacteria). *Nova Hedwigia* 92:283–302.
- Johansen, J. R., González-Resendiz, L., Escobar-Sánchez, V., Segal-Kischinevzky, C., Martínez-Yerena, J., Hernández-Sánchez, J., y León-Tejera, H. 2021. When will taxonomic saturation be achieved? A case study in *Nunduva* and *Kyrtuthrix* (Rivulariaceae, Cyanobacteria). *Journal of Phycology* 57(6): 1699-1720.

- Komárek J., Kaštovský J., Mares J., y Johansen J. R. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia* 86: 295–335.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. 2005. *Cyanoprokaryota 19 teil/2nd part: Oscillatoriales. Susswasserflora von Mitteleuropa*. 19/2. Budel, B., Krienitz, L., Gartner, G. y Schagerl, M. (Eds.). 19/2. Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 759 pp.
- Komárek, J. 2013. *Susswasserflora von Mitteleuropa. Freshwater Flora of Central Europe*. 19/3. *Cyanoprokaryota* 3. Teil /3rd part: Heterocytous Genera. Budel, B., Krienitz, L., Gartner, G. y Schagerl, M. (Eds.). 19/3. Elsevier/Spektrum, Heidelberg. 574 pp.
- Kumar, J., Singh, D., Tyagi, M.B. y Kumar, A. 2021. *Cyanobacteria applications in biotechnology* In: Lee, S. Y., Nielsen, J., y Stephanopoulos, G. (Eds.). John Wiley y Sons. Cap.16. USSA.
- Lee, R. E. 2018. *Cyanobacteria*. Chapter 2. 33-80 pp. In: *Phycology*. Cambridge university press. 4to. Ed. Colorado State University, USA. 558pp.
- León-Tejera, H., Gold-Morgan, M. y Montejano, G. 2009. *Benthic Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) of the Gulf of Mexico. Gulf of Mexico Origin, Waters and Biota*. Felder, D. L. y Camp, D. K. (Eds.). Texas A & M University Press, U.S.A., 47-56 pp.
- León-Tejera, H.P., González-Reséndiz L., Cabrera-Becerril, E., García-García, A. M. E., Martínez-Yerena J, Ramírez-Padilla, B. y Peralta-Caballero, M. 2016. Estado Del Conocimiento de cianoprocariontes Bénticos Marinos de La Costa Atlántica Mexicana. *Responsabilidad Para La Sustentabilidad De La Zona Costera Número Especial No.4*. Año 6. No. 11: 95 – 105.

- León-Tejera, H., González-Reséndiz, L., Johansen, J. R., Segal-Kischinevsky, C. L. A. U. D. I. A., ESCOBAR, V., y LOIS, L. A. 2016. Phylogenetic position reevaluation of *Kyrtuthrix* and description of a new species *K. huatulcensis* from Mexico's Pacific coast. *Phytotaxa*, 278(1), 1-18.
- León-Tejera, H., E. Cabrera, L. González, A. García, B. Ramírez y M. Peralta. 2019. Catálogo de autoridades taxonómicas de Cyanoprocaryota marinos bentónicos de México. *Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias*. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. KT016. Ciudad de México.
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, C., y Fredericq, S. 2013. A checklist of subtidal seaweeds from Campeche banks, Mexico. *Acta Botanica Venezuelica* 36(2): 95-108.
- Mateo-Cid, L. E., González, A. C. M., López, D. Y. G., Casas, C. M. H., y Guzmán, I. M. 2024. Diversidad de algas marinas bentónicas del litoral de Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 131: e2316. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2316>
- Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E., y García-López, D. Y. 2017. Inventory of benthic marine and estuarine algae and Cyanobacteria for Tabasco, Mexico. *Biota Neotropica* 17(4): e20170379.
- Milne I., Lindner D., Bayer M., Husmeier D., McGuire G., Marshall D.F. y Wright F. 2008. TOPALi v2: a rich graphical interface for evolutionary analyses of multiple alignments on HPC clusters and multi-core desktops. *Bioinformatics* 25 (1): 126-12.
- Morales, E., Rivera, S., Vildoza, L., y Pol, A. 2017. Floración algal nociva (FAN) producida por cianobacterias en la laguna Alalay, Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova* 8 (1):50-75 pp. ISSN: 1683-0768.
- Nava-Olvera, R., Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, Á. C. y García-López, D. Y. 2017. Macroalgas, microalgas y cianobacterias epífitas del pasto marino *Thalassia*

testudinum (Tracheophyta: Alismatales) en Veracruz y Quintana Roo, Atlántico mexicano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 52(3): 429-439pp.

- Novelo, E. y R. Tavera. 2019. bdLACET Base de datos de algas continentales. Facultad de Ciencias, UNAM. México. Disponible en: <https://bdlacet.mx>.
- Okolodkov, Y. B. y Blanco Pérez, R. 2011. *Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres*. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., Gutiérrez-Quevedo, M. G., Pérez-España, H., y Salas-Monreal, D. 2011. Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Southwestern Gulf of Mexico. Zooplankton and phytoplankton: types, characteristics and ecology. *Nova Science Publishers, New York*.
- Ortega, M. M., Godínez, J. L. y Garduño-Solórzano, G. 2001. *Catálogo de algas bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe*. Instituto de Biología, UNAM. 594 pp.
- Ortégón-Aznar, I., Leon-Tejera, H., Gold-Morgan, M., y Ramírez-Miss, N. 2008. *Preliminary results on marine algae of Madagascar Reef, Yucatan, México: a functional group approach*. In *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium* (pp. 1373-1376).
- Osorio-Santos, K., Pietrasiak, N., Bohunická, M., Miscoe, L. H., Kováčik, L., Martin, M. P. y Johansen, J. R. 2014. Seven new species of *Oculatella* (Pseudoanabaenales, Cyanobacteria): taxonomically recognizing cryptic diversification. *European Journal of Phycology* 49:450–70.

- Ramírez-Rodríguez, A. R., Blanco-Pérez y Okolodkov, Y.D. 2011. *Diversidad de algas epifitas marinas*. In: Cruz- Angon A. (ed) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Vol. II. Diversidad de especies: Conocimiento actual. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. Méx.
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J. B., Herdman, M., y Stanier, R. Y. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Microbiology* 111(1): 1-61.
- Ronquist, F., M. Teslenko, P. van der Mark, D.L. Ayres, A. Darling, S. Höhna, B. Larget, L. Liu, M.A. Suchard, y J.P. Huelsenbeck. 2012. MRBAYES 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference and model selection across a large model space. *Systematic Biology* 61:539-542
- Sant'Anna, C. L., Azevedo, M. D. P., Werner, V. R., Dogo, C. R., Rios, F. R., y Carvalho, L. D. 2008. Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Algological studies* 126(1): 251-265.
- Senties, A., y Dreckmann, K. M. 2013. Lista actualizada de las macroalgas de Tabasco, México. *Acta Botanica Venezuelica* 36(2): 109-118.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., y Cardona, A. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods* 9(7): 676-682.
- Shirkey, B., McMaster, N. J., Smith, S. C., Wright, D. J., Rodriguez, H., Jaruga, P., y Potts, M. 2003. Genomic DNA of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) becomes covalently

modified during long-term (decades) desiccation but is protected from oxidative damage and degradation. *Nucleic Acids Research* 31(12), 2995-3005.

- Stamatakis A. 2014. RAxML Version 8: A tool for Phylogenetic Analysis and Post-Analysis of Large Phylogenies. In *Bioinformatics*
- Strunecký, O., Ivanova, A. P., y Mareš, J. 2023. An updated classification of cyanobacterial orders and families based on phylogenomic and polyphasic analysis. *Journal of Phycology* 59(1), 12-51.
- Tamura, K., G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski y Sudhir Kumar. 2013. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* 30(12): 2725–2729.
- Tatsuya I., Makoto, M., W., Sugiyama, J. y Akira Y. 2001. Evidence for polyophyletic origin the members of the orders of Oscillatoriales and Pleurocapsales as determined by 16S rDNA analysis. *FEMS Microbiology Letters*: 79-82.
- Toro, I.M.V., S.G. Manríquez y G.I. Suazo. 2010. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology* 28(4): 977-990.
- Vaccarino, M. A. y Johansen, J. R. 2011. *Scytonematopsis contorta* sp. nov. (Nostocales), a new species from the Hawaiian Islands. *Fottea* 11(1): 149–161.
- Vilchis, M. I., Dreckmann, K. M., García-Trejo, E. A., Hernández, O. E., y Sentíes, A. 2018. Patrones de distribución de las grandes macroalgas en el golfo de México y el Caribe mexicano: una contribución a la biología de la conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(1): 183-192.

- Whitton, B. A., y Potts, M. 2012. Introduction to the cyanobacteria. In *Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time* (pp. 1-13). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Zammit, G., Billi, D., y Albertano, P. 2012. The subaerophytic cyanobacterium *Oculatella subterranea* (Oscillatoriales, Cyanophyceae) gen. et sp. nov.: a cytomorphological and molecular description. *European Journal of Phycology* 47(4): 341-354.

14- Anexos

Anexo 1. Parámetros fisicoquímicos. A) marzo 2020. B) agosto 2022.

	Costa de Oro		Morro de La Mancha				Playa Muñecos	
	A	B	Laguna		Morro		A	B
pH	8.1	8.1	7.1	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1
Salinidad	3	3	3	3.5	3.16	3.30	3.3	3.3
Temperatura	34.7°C	33	40°C	36°C	27.5°C	30°C	31.7°C	30°C

Anexo 2. Especies del GenBank utilizadas para el análisis filogenético.

Nombre	No. Acceso
<i>Almyronema epifaneia</i>	OP740693
<i>Arthrospira jenniferi</i>	MT176691
<i>Arthrospira platensis</i>	DQ393284
Filamentous cyanobacterium	OP902600
Filamentous cyanobacterium	OP902599
<i>Kamptonema animale</i>	MK861876
<i>Kamptonema formosum</i>	KU958133
<i>Kamptonema formosum</i>	KU958133
<i>Leptolyngbya aboryana</i>	EF429295
<i>Leptolyngbya</i>	MH666136
<i>Leptolyngbya angustata</i>	AF218372
<i>Leptolyngbya appalachiana</i>	EF429286
<i>Leptolyngbya fragilis</i>	KX818202
<i>Leptolyngbya</i> sp.	MZ677407
<i>Leptolyngbya</i> sp.	MH666136
<i>Leptolyngbya</i> sp.	HE975019
<i>Leptolyngbya tenerrima</i>	EF429288
<i>Limnoraphis hieronymusii</i>	OQ890715
<i>Limnoraphis robusta</i>	NR118325
<i>Limnoraphis</i> sp.	MT764793
<i>Lyngbya aestuarii</i>	NR112179
<i>Lyngbya confervoides</i>	NZ_JTHE03000118
<i>Lyngbya hieronymusii</i>	JN854140
<i>Lyngbya purpurea</i>	MG968525
<i>Nodosilinea</i> sp.	KC695874
<i>Nostoc punctiforme</i>	OQ600797
<i>Oculatella mojaviensis</i>	KF761572

<i>Oculatella ucrainica</i>	MG652620
<i>Oscillatoria acuminata</i>	NR_112111
<i>Oscillatoria nigro-viridis</i>	NC_019732
Oscillatoriales cyanobacterium	EF654035
<i>Oxynema aestuarii</i>	MG694263
<i>Oxynema thaianum</i>	NR125585
<i>Phormidium ambiguum</i>	AB039643
<i>Phormidium</i> sp.	AM398977
<i>Phormidium</i> sp.	AM398977
<i>Phormidium</i> sp.	KT315914
<i>Phormidium</i> sp.	AM398965
<i>Pseudanabaena</i> sp.	LT600740
<i>Romeria</i> aff. <i>gracilis</i>	HM217057
<i>Romeria victoriae</i>	KP835528
<i>Romeriopsis marina</i>	KU951673
<i>Salileptolyngbya</i> sp.	PP795307
<i>Schizothrix</i> cf. <i>calcicola</i>	MG641928
<i>Trichodesmium contortum</i>	AF013028
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	AB075999
<i>Trichodesmium thiebautii</i>	OR661266
Uncultured Antarctic cyanobacterium	EU032374
Uncultured <i>Salileptolyngbya</i> sp.	OR297945

Anexo 3. A continuación, se muestran los trabajos y foros en los que se expuso el trabajo realizado a lo largo de la maestría.

1 **Actualización taxonómica de las especies de Oscillatoriales**
2 **(Cyanoprocaryota) marinas bentónicas en el Atlántico mexicano**

3 Annie May Ek García García^{1,5}, Ernesto Cabrera Becerril², María Luisa Núñez
4 Resendiz³, Martha Isabel Vilchis⁴, Kurt Martin Dreckmann³, Abel Senties³.

5 ¹Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa
6 Apdo. postal 55-535, 09340 Cd. Mx., México.

7 ²Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma
8 Metropolitana, Apdo. postal 55-535, 09340 Cd. Mx., México.

9 ³Laboratorio de Macroalgas Marinas y Salobres de la Universidad Autónoma
10 Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Departamento de Hidrobiología, Apdo. postal 55-535,
11 09340 Cd. Mx., México.

12 ⁴Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma de Yucatán, Código Postal
13 97000, Mérida, Yucatán, México

14 ⁵Autor para la correspondencia: targarienannie@gmail.com

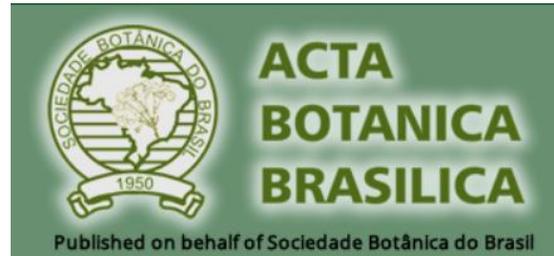
15

16 Annie May Ek García García: <https://orcid.org/0000-0003-2463-3278>
17 Ernesto Cabrera Becerril: <https://orcid.org/0000-0002-8427-4783>
18 María Luisa Núñez Resendiz: <https://orcid.org/0000-0001-6587-2609>
19 Martha Isabel Vilchis Alfaro: <https://orcid.org/0000-0002-3395-9731>



**Acta Botanica
Mexicana**

Fig. 27. Artículo en revisión. Actualización taxonómica de las especies de Oscillatoriales (Cyanoprocaryota) marinas en el Atlántico mexicano.



1 Artículo Original

2 Riqueza específica y nuevos registros de las especies marinas de *Colelofasciculales*,
3 *Leptolyngbyales* y *Oscillatoriales* (Cianoprocariontes) de La Mancha, Veracruz, México.

4 *Annie May Ek García-García; Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-
5 Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0003-2463-3278>

6 Ernesto Cabrera-Becerril; Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad
7 Autónoma Metropolitana, C.P. 09340, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0002-8427-4783>

9 María Luisa Núñez Resendiz; Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma
10 Metropolitana-Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0001-6587-2609>

12 Abel Senties; Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-
13 Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0002-8825-4720>

14 Martha Isabel Vilchis Alfaro; <https://orcid.org/0000-0002-3395-9731>

15 Kurt M. Dreckmann; Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-
16 Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0002-8855-0685>

17

Fig. 28. Artículo en revisión Riqueza específica y nuevos registros de las especies marinas de Colelofasciculales, Leptolyngbyales y Oscillatoriales (Cianoprocariontes) de La Mancha, Veracruz, México.



DIVERSITY OF MARINE BENTHIC SPECIES OF NOSTOCALES (CYANOBACTERIA) IN VERACRUZ, MEXICO

¹ ERNESTO CABRERA-BECERRIL^{1*}, ² ANNIE MAY EK GARCÍA-GARCÍA², ³ MARÍA LUISA NÚÑEZ RESENDIZ³,
³ KURT M. DRECKMANN³ AND ³ ABEL SENTÍES³

¹ Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, Mexico.

² Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Mexico City, Mexico

³ Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Mexico City, Mexico.

*Author for correspondence: votzila@gmail.com

Abstract

Background: Nostocales is a widely distributed, monophyletic order of cyanobacteria, whose species are mainly characterized by the presence of specialized structures such as heterocytes and akinetes. Despite being the most diverse group in marine environments, little is known about coastal species in Mexico. Particularly in Veracruz, only 17 species have been recorded, without photographic, morphological references, or ecological data; these records are only mentioned in floristic lists.

Questions and / or Hypotheses: The present study aimed to contribute to the knowledge of the diversity of benthic marine Nostocales species in Veracruz, Mexico, as well as to provide detailed descriptions and illustrations of the species found, which can serve as a reference in subsequent studies.

Study site and dates: Collect of cyanobacterial growths were made in three locations throughout Veracruz in 2020.

Methods: The organisms were isolated from the field material. With the use of specialized taxonomic keys, they were morphologically identified, described and photographed.

Results: A total of 20 Nostocales species were obtained, of which 17 were additions to the phycoflora of Veracruz, constituting an increase of 55 %. Taxonomic notes are added highlighting their differences with the literature. One of the species was identified as cf. and seven as sp., because their characteristics fully coincided with the generic morphology, but did not completely concur with the literature.

Fig. 29. Artículo conjunto. DIVERSITY OF MARINE BENTHIC SPECIES OF NOSTOCALES (CYANOBACTERIA) IN VERACRUZ, MEXICO.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE CIANOPROCARIOTES MARINOS BENTÓNICOS DEL ORDEN OSCILLATORIALES EN EL ATLÁNTICO MEXICANO

Annie May Ek García-García^{1, 3}; Ernesto Cabrera-Becerril^{2,3}; María Luisa Núñez Resendiz³; Martha Isabel Vilchis Alfaro³; Abel Senties³

¹Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México
²Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México;
³Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México

INTRODUCCIÓN

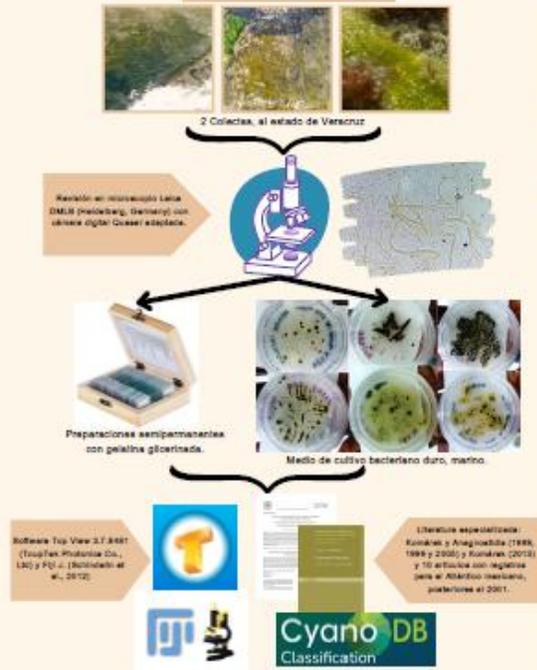
Los cianoprocariontes del orden Oscillatoriales se encuentran conformados por tallos filamentosos, unicelulares, conformados por tricomas dentro de vainas, que no presentan heterocistos ni acetinos; algunas especies son productoras de metabolitos secundarios tóxicos y formadoras de Florecimientos Algales Nocivos. Se encuentran ampliamente distribuidas en todo el mundo y en toda clase de ambientes, tanto dulceacuícolas como marinos. Algunas especies, incluso, pueden soportar altos niveles de radiación ultravioleta y adaptaciones contra la desecación extrema, gracias a la composición y grosor de sus vainas; en condiciones no favorables son capaces de permanecer en latencia o dormancia para proteger su material genético, incluso durante décadas y, al tener nuevamente condiciones idóneas, pueden volver a reproducirse (Shirkov et al., 2009).
 Dentro de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) causados por la eutrofización del agua, las temperaturas cálidas, altos niveles de fósforo y nutrientes disueltos en el agua, la poca oxigenación del cuerpo de agua por estancamiento, entre otros, provocan la proliferación de cianoprocariontes Oscillatoriales (Sent'Anne et al., 2008).

ÁREA DE ESTUDIO



Fig. 1. Área de estudio, número de especies reportadas por estado.

MATERIAL Y METODO



RESULTADOS

Se cuenta con una riqueza específica de 31 especies correctas distribuidas en 10 géneros y dos familias (Fig. 2), siendo Quintana Roo, Yucatán y Veracruz los estados que comprenden el 78% de la diversidad total, mientras que Tamaulipas (0) y Campeche (5) constituyen el 22%; asimismo, Tabasco no cuenta con reportes (Fig. 3). Veracruz fue el estado con mayor número de publicaciones con registros de Oscillatoriales (Fig. 4).

Fig. 2. Tabla taxonómica

Orden	Familia	Género	Especies
Oscillatoriales	Cylindrocapsa	Cylindrocapsa	1
		Cylindrocapsa	1
Thraustochytriales	Thraustochytriales	Thraustochytriales	1
		Thraustochytriales	1

REPORTES DE OSCILLATORIALES EN EL GULFO MEXICANO



Fig. 3. Número de especies por estado

Publicación en el tiempo cronológico por estado a partir del 2001



Fig. 4. Total de publicaciones con reportes de Oscillatoriales, por estado y año.



Fig. 5. Ejemplo de Oscillatoriales de Veracruz.

DISCUSIÓN

Los Oscillatoriales son un grupo de organismos poco estudiados para el Atlántico mexicano, la mayoría de las publicaciones se tratan de trabajos florísticos, por lo que trabajos especializados para el grupo son necesarios. A partir del Catálogo florístico de Ortega et al., 2001, se cuentan únicamente con 10 publicaciones, después de 22 años (Fig. 4), exponiendo la falta de conocimiento del estado actual de cianoprocariontes por el Atlántico mexicano, esto puede deberse a varias razones, fundamentalmente a la especialización por parte de los investigadores en el estudio de estas familias, y las características filogenéticas que no permiten una adecuada exploración, es necesario hacer identificaciones multidisciplinarias para la correcta identificación de los Oscillatoriales y darles la importancia y cuidado de organismos formadores de FANs (Florecimientos Algales Nocivos).

AGRADECIMIENTOS

Estudio apoyado por los proyectos: UAMI-CBS2019-2022: sesión 15.18-281118 y UAMI-CA-117, Programa para el Desarrollo Profesional Docente de la Secretaría de Educación Pública (PRODEP-SEP), Al posgrado en Biología y Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Iztapalapa, Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto.

REFERENCIAS

Shirkov, B., Mikhaleva, N. J., Smith, B. C., Virgitt, E. J., Rodriguez, H., Jørgen, P., & Polun, W. (2009). Genomic DNA of the cyanobacterium *Cylindrocapsa* *littoralis* recently modified during long-term (decades) survival in the coastal zone under extreme conditions. *Marine Biology Research*, 3(12), 2088-2098.
 Resendiz, M. L., Arriaga, M. S. P., Sierra, M. R., Daga, C. R., Ríos, P. R., & García, A. G. (2020). *Palmaria* (Rhodophyta) of the Gulf of Mexico. *Algal Research*, 12(1), 201-208.



Fig. 30. Participación con cartel, en La Semana de la Hidrobiología, 2023.

Annie May Ek García-García¹; Ernesto Cabrera-Becerra²; María Luisa Núñez Resendiz³; Martha Isabel Vilchis Alfaro³; Abel Senties³

¹ Maestría en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México.

² Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México.

³ Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), A. P. 55-535, 09310, Ciudad de México, México.

Oscillatoriales

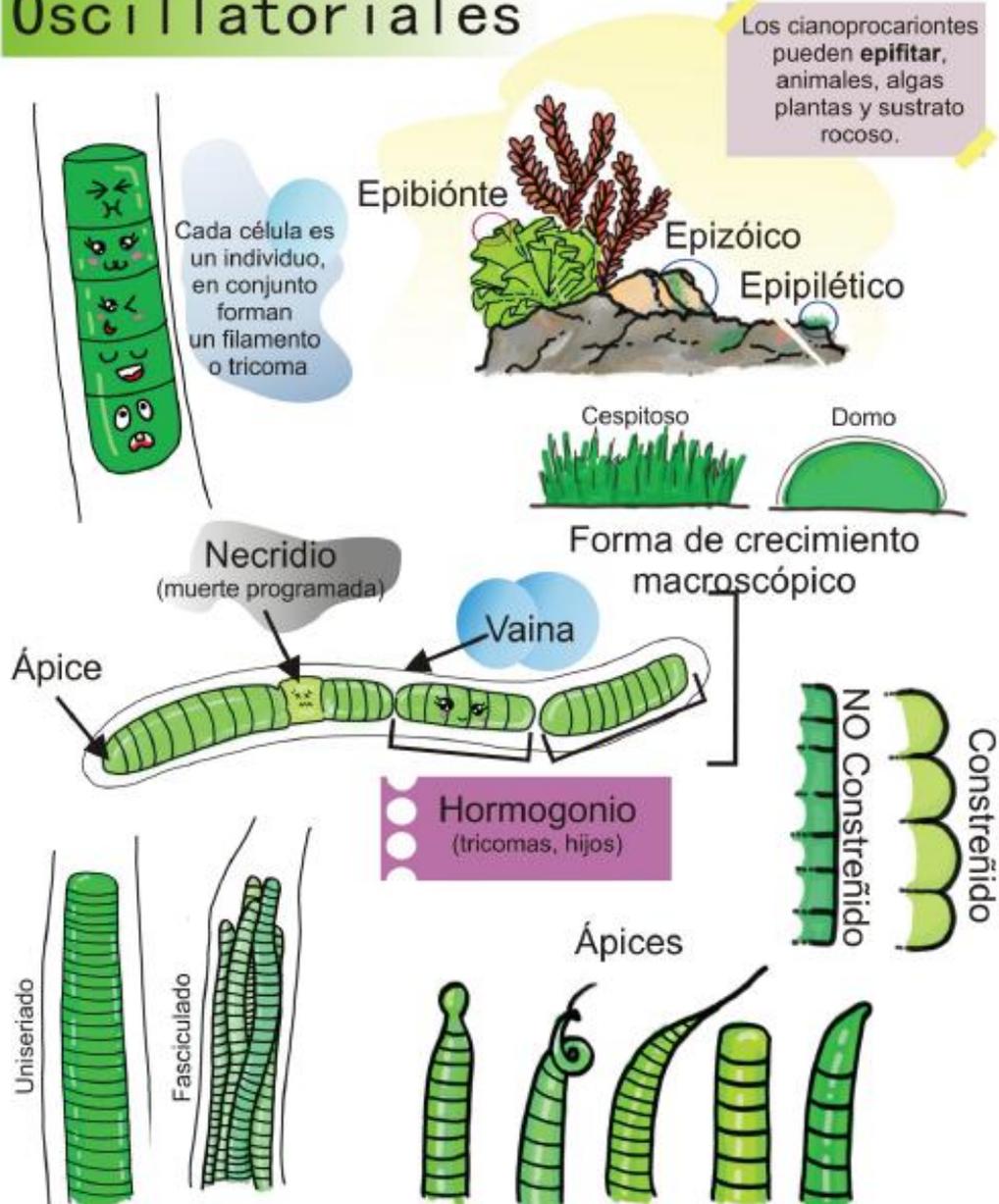


Fig. 31. Participación con infografía en La Semana de la Hidrobiología, 2023.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00234

Matrícula: 2223803961

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE LOS CIANOPROCARIOTES MARINOS BENTICOS DEL ORDEN OSCILLATORIALES EN LAS COSTAS DE VERACRUZ, MÉXICO.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 16:00 horas del día 30 del mes de octubre del año 2024 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DRA. MARTHA ISABEL VILCHIS ALFARO
MTRO. OSCAR EDUARDO HERNANDEZ CERVANTES
MTRO. ALEXIS DE JESUS ESCARCEGA BATA
M. EN C. MARIA EUGENIA ZAMUDIO RESENDIZ



ANNIE MAY EK GARCIA GARCIA
ALUMNA

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOLOGÍA

DE: ANNIE MAY EK GARCIA GARCIA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CBS

DR. JOSE LUIS GOMEZ OLIVARES

PRESIDENTA

DRA. MARTHA ISABEL VILCHIS ALFARO

VOCAL

MTRO. OSCAR EDUARDO HERNANDEZ CERVANTES

VOCAL

MTRO. ALEXIS DE JESUS ESCARCEGA BATA

SECRETARIA

M. EN C. MARIA EUGENIA ZAMUDIO RESENDIZ