



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

**“Evaluación del estado ecológico de laguna
de Términos con base en la estructura de
asociaciones de diatomeas bentónicas”**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctora en Ciencias Biológicas y de la Salud

P R E S E N T A

M. en B. Daniela López Mejía

Comité tutorial:

Codirector: Dr. Francisco J. Gutiérrez Mendieta

Codirector: Dr. David A. Siqueiros Beltrones

Asesor: José Alejandro Zavala Hurtado

15 diciembre 2022



El Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio PFP-20-93.

Numero de registro de la beca otorgada por CONACyT: 302066

CVU del becario: 566938

Los miembros del jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de las Unidades Cuajimalpa, Iztapalapa y Xochimilco de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, abajo firmantes, aprobaron la tesis que presentó Daniela López Mejía titulada "Evaluación del estado ecológico de laguna de Términos con base en la estructura de asociaciones de diatomeas bentónicas" el día 15 de diciembre del 2022

Jurado:

Presidente Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta



Secretario Dr. David Alfato Siqueiros Beltrones



Vocal Dr. José Alejandro Zavala Hurtado



Vocal Dr. Antonio Zoilo Márquez García



Vocal Dra. Armida Leticia Pacheco Mota



“La nuestra es agua de río mezclada con mar”
Vasos Vacíos
Los fabulosos Cadillacs

Agradecimientos

Al Dr. Francisco J. Gutiérrez Mendieta, por apoyarme y guiarme a lo largo de mi formación académica y personal.

Al Dr. David Siqueiros Beltrones por su pensamiento crítico.

Al Dr. Alejandro Zavala Hurtado por sus cuestionamientos.

Al proyecto “Caracterización ecológica de los ambientes costeros mexicanos”, dirigido por el Dr. Francisco Gutiérrez, por los recursos otorgados para el desarrollo de este proyecto

A los miembros del Jurado por sus comentarios y correcciones que ayudaron a mejorar mi trabajo.

A todas y cada una de las personas que me apoyaron de alguna forma y en algún punto de mi formación, tanto académica como personal, para que yo pudiera llegar al día de hoy.

Dedicatoria

Para Aidan, que transformó mi mundo.

Índice

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	4
2.1. Diatomeas bentónicas	4
2.1.1. Estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas	4
2.1.2. Florística y variables ambientales	5
2.1.3. Diatomeas bentónicas como bioindicadores	8
2.1.4. Dificultades en la evaluación ambiental de sistemas estuarinos	9
2.2. Características de los ambientes costeros estuarinos	11
2.2.1. Laguna de Términos	12
2.2.2. Zonación de la laguna de Términos	12
2.3. Pregunta de investigación	14
2.4. Hipótesis	15
2.5. Objetivo general	16
2.5.1. Objetivos particulares	16
3. Material y métodos	17
3.1. Área de estudio	17
3.2. Material y método	20
3.2.1. Trabajo de campo	20
3.2.2. Pruebas estadísticas	24
4. Resultados	28
4.1. Caracterización espacio-temporal de la laguna de Términos	28
4.1.1. Variación temporal	28
4.1.2. Variación espacial	33

4.2. Estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas	42
4.2.1. Caracterización temporal	43
4.2.2. Caracterización espacial	50
4.3. Relación entre estructura de la taxocenosis de diatomeas bentónicas y variables ambientales	69
4.3.1. Relación temporal	69
4.3.2. Relación espacial	72
5. Discusión	76
6. Conclusiones	86
7. Referencias	89

Índice de Cuadros

Cuadro 1.- Variables físico-químicas para las épocas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche. Mediana (Med); Desviación absoluta de la mediana (MAD); Porcentaje de saturación de oxígeno (O2%); Profundidad (Prof); Temperatura (Temp); Salinidad (Sal); Amonio (NH4); Fósforo reactivo soluble (FRS); Nitritos (NO2); Nitratos + Nitritos (NO3+NO2); Silicatos (SiO2). Los superíndices indican de las variables que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tres épocas de muestreo.	28
Cuadro 2.- Parámetros físico-químicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche, en la época de Secas 2017. Nitratos+Nitritos (Nitratos); No Detectado (ND)	33
Cuadro 3.- Parámetros fisicoquímicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche durante la época de Lluvias-2017. Nitratos+Nitritos (Nitratos).....	37
Cuadro 4.- Parámetros físico-químicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche durante la época de Nortes 2018. Nitratos+Nitritos (Nitratos).	39
Cuadro 5.- Especies con valores altos del índice de Valor Indicador (IndVal) para las temporadas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores mayores a 45% que indican una afinidad por la especie hacia la época.	49
Cuadro 6.- Valores calculados del índice de valor biológico (IVB) para las especies de diatomeas bentónicas más abundantes en la temporada de secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México.....	51
Cuadro 7.- Valores calculados mediante los índices de diversidad en la época de secas-2017 para cada estación de muestreo en la Laguna de Términos, Campeche, México. Solo la riqueza presentó diferencias significativas entre las zonas II y III.	52
Cuadro 8.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para las zonas de la época de secas-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los	

valores IndVal mayores al 50%. D:dulceacuícola; M:marino; E:estuarino. En negriya	
valores mayores a 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona.....	53
Cuadro 9.- Valores calculados del IVB de las especies de las especies más abundantes de diatomeas bentónicas en la temporada de lluvias-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México.....	57
Cuadro 11.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para especies de diatomeas bentónicas en las zonas de la época de lluvias-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores IndVal mayores al 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona. D: dulceacuícola; M: marino; E: estuarino.	59
Cuadro 12.- Valores calculados de IVB de las especies más abundante en la temporada de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México.	63
Cuadro 13.- Valores calculados de los índices de diversidad de la época de nortes-2018 en laguna de Términos, Campeche, México. No se presentaron diferencias significativas entre las zonas.	64
Cuadro 14.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para las zonas durante la época de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores IndVal mayores al 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona. D: dulceacuícola; M: marino; E: estuarino.	65

Índice de figuras

Figura 1.- Zonas propuestas por Carvalho et al. (2009) para la Laguna de Términos, Campeche, México. a)Costa interna de Isla del Carmen; b)Área central; c)Zona de influencia epicontinental; d)Canal de entrada de agua marina; e)Boca del carmen.	13
Figura 2.- Área de Protección de flora y fauna de Laguna de Términos, Campeche, México. Tomado de SEMARNATCAM	17
Figura 5.- Variaciones de los parámetros fisicoquímicos que presentaron diferencias significativas entre las temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.	30
Figura 6.- Variaciones de la concentración de nutrientes que presentaron diferencias significativas entre las temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.	31
Figura 7.- Gráfico del Analisis de componentes principales de la variación temporal en la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos naranjas: Secas; Puntos verdes: Lluvias; Puntos morados: Nortes.....	32
Figura 8.- Variación de la concentración de amonio en las diferentes zonas de la laguna durante la temporada de secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. ...	33
Figura 9.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la época de Secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.	34
Figura 10.- Gráfico del Análisis de Componentes Principales de la Laguna de Términos, Campeche durante la epoca de Secas-2017. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII; puntos azules: ZIII; puntos naranjas: ZIV.	35

Figura 11.- Variación de la profundidad en las diferentes zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de lluvias-2017.	36
Figura 12.- Variación del porcentaje de saturación de oxígeno y de FRS entre las diferentes zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la temporada de lluvias-17.	36
Figura 13.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Lluvias-2017. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.....	38
Figura 14.- Gráfico del Análisis de Componentes principales de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Lluvias-2017. Cuadros verdes: ZI; cuadros morados: ZII; cuadros azules: ZIII; cuadros naranjas: ZIV.	38
Figura 15.- Variación de la profundidad en las diferentes zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes.2018.	39
Figura 16.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes-2018. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.....	40
Figura 17.- Gráfico del Análisis de Componentes Principales de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes-2018. Triángulos verdes: ZI; triángulos morados: ZII; triángulos azules: ZIII; triángulos naranjas: ZIV.	41
Lámina 1.- Especies identificadas en la Laguna de Términos, Campeche: a)Amicula speculum; b)Cyclotella atomus; c)Amphora graefeana; d)Cymatosira belgica; e)Nitzschia tubicula; f)Nitzschia libertruthii; g)Haslea staurosigmaidea. Escalas = 10um	44

Figura 18.- Similitud de especies de diatomeas bentónicas entre temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México. Azul: estaciones de la temporada de lluvias; naranja: secas; verde: nortes. Línea roja: nivel de corte. Correlación cofenética = 0.702. 45

Figura 19.- Ordenación NMDS 3D que muestra la distribución de las estaciones con base en la estructura de la comunidad de diatomeas y su similitud para la Laguna de Términos, Campeche, México. Polígonos: grupo de estaciones correspondientes a cada temporada de muestreo. Secas: naranja; Lluvias: azul; Nortes: verde. 46

Figura 20.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de secas-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México. G1: costa interna de la isla del Carmen; GII: zona de influencia dulceacuícola; GIII; zona de influencia marina. Correlación cofenética = 0.779..... 54

Figura 21.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud para la Laguna de Términos, Campeche, México durante la época de secas-2017. Elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en índice de Bray-Curtis..... 55

Figura 22.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de lluvias-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. G1: costa interne de la isla del Carmen, Campeche; GII: zona de influencia dulceacuícola; GIII; zona de influencia marina. Correlación cofenética = 0.783 60

Figura 23.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud de especies de diatomeas bentónicas para la Laguna de Términos, Campeche, México. Las elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en el índice de Bray-Curtis. 61

Figura 24.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de nortes-2018 para la Laguna de Términos, Campeche, México. Correlación cofenética = 0.771. 66

Figura 25.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud para la época de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México. Elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en índice de Bray-Curtis.67

Figura 26.- Asociación entre variables ambientales mediante el ACP con los valores de diversidad como variables suplementarias para las tres épocas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche, México.....69

Figura 27.- Correlación entre las asociaciones de diatomeas bentónicas y las variables ambientales con base en el ACC para la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos naranjas: secas; puntos azules: lluvias; puntos verdes: nortes.....71

Figura 28.- Gráfico biplot del ACP que incluye las especies de diatomeas bentónicas de mayor valor IndVal como variables suplementarias para las épocas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.72

Figura 29.- ACC de la temporada de Lluvias-2017 que muestra la ordenación de estaciones para la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII puntos azules: ZIII.....73

Figura 30.- ACP para la temporada de Secas-2017 con variables suplementarias, que muestra el gradiente de las variables ambientales y taxones en la Laguna de Términos, Campeche, México. I(verde): ZI, II(magenta): ZII y III (café): ZIII.74

Figura 31.- ACP de la temporada de nortes-2018 con variables suplementarias, que muestra el gradiente de las variables ambientales y los taxones en la Laguna de Términos, Campeche, México. I (verde): ZI, II (magenta): ZII y III (café): ZIII.75

Resumen

Las diatomeas fueron de los primeros grupos de organismos empleados para la evaluación de calidad de agua y contaminación debido a su relevancia ecológica y a sus altas tasas de reproducción. Han sido utilizadas para el monitoreo biológico y para la evaluación del estado ecológico de ambientes acuícolas, principalmente continentales como ríos y arroyos, para los cuales se han desarrollado modelos de respuesta de las taxocenosis ante cambios ambientales. Debido a la importancia de las comunidades de diatomeas bentónicas se propone establecer sus asociaciones y variación como respuesta a los cambios de las condiciones ambientales, así como su posible empleo como evaluadores ecológicos, conocimiento que puede ser útil para identificar posibles fuentes de contaminación que puedan afectar a la trama trófica de la laguna. Esto llevó a plantear la interrogante de si las asociaciones de diatomeas bentónicas son adecuadas para establecer el estado ecológico de los ambientes estuarinos tales como la laguna de Términos, esperando una variación en la estructura de las asociaciones como respuesta a la alta variabilidad ambiental que caracteriza a la laguna. El objetivo principal fue el de evaluar el estado ecológico de la laguna de Términos con base en la estructura de asociaciones de diatomeas bentónicas, para lo que se colectaron muestras de sedimento de las que se obtuvieron las diatomeas bentónicas y se determinó la estructura de sus asociaciones; también se colectaron muestras de columna de agua para caracterizar las condiciones ambientales y poder determinar su relación con las asociaciones de diatomeas. Como se esperaba, las condiciones ambientales presentaron diferencias significativas tanto espaciales como temporales, respaldando la alta variabilidad que caracteriza al ambiente. Por otro lado, se identificaron un total de 562 taxones (morfoespecie) pertenecientes a 125 géneros, de los cuales los mejor representados fueron *Navicula*, *Amphora*, *Nitzschia*, *Mastogloia* y *Halamphora*; mientras la especie

Amicula speculum fue la más abundante con 5,353 valvas en todo el estudio. El 53.5% de la abundancia estuvo comprendida en solo 21 especies, mientras 338 taxones presentaron abundancia menores a las 15 valvas. Los valores de diversidad alcanzados ($H' < 3.8$) pueden ser considerados como característicos de ambientes sin perturbación y altamente productivos. La estructura de las asociaciones con las condiciones ambientales presentaron características propias de ambientes costeros al estar conformada por especies marinas, dulceacuícolas y estuarinas; y por presentar diferencias en su estructura tanto a nivel espacial como temporal; y estar relacionada con las variables ambientales.

Abstract

Due to the ecological relevance of the diatoms, they were among the first organisms used to assess the water quality and contamination and have been used for both environmental monitoring and evaluating the ecological status of the aquatic environment; mostly on rivers streams, these taxocenosis response models have been developed to NOSE environmental changes. Therefore, we propose to establish both structure and variation of benthic diatoms as the response to environmental changes in Términos Lagoon, and their use as an ecological evaluator. This would be useful to identify contamination sources that can affect the food web of the lagoon. A high variability of the diatom's community, due to the characteristic high variability of the environmental condition, was expect. The main goal was to assess the ecological status of Términos Lagoon, using the structure of the benthic diatom's association. Both samples were collected, sediment to establish the diatoms community structure and column water to characterize the environmental conditions. There were differences between spatial and temporal environmental conditions, which support the high environmental variability of the lagoon. On the other hand, 562 taxones in 125 genera were identified. The most abundant taxones were *Navicula*, *Amphora*, *Nitzschia*, *Mastogloia*, and *Halamphora*; the *Amicula speculum* taxon was the most abundant (12% of the relative abundances); and the diversity ($H' < 3.8$) reaches a value that can be considered characteristic of undisturbed and highly productive environments. The diatom community was composed of marine, estuarine and freshwater species; and was related to the environmental conditions. The results allowed a better understanding of the high variability in the Términos Lagoon, and the importance of the benthic diatoms as environmental evaluators.

Evaluación del estado ecológico de laguna de Términos con base en la estructura de asociaciones de diatomeas bentónicas

1. Introducción

Las microalgas bentónicas forman parte primordial de la base de la trama trófica acuática, siendo una fuente importante de alimento para la meiofauna y macrofauna bentónicas (Montagna et al., 1995; Siqueiros Beltrones, 2002) en los ambientes acuáticos; se ha calculado que tan solo las diatomeas bentónicas llegan a contribuir con más del 25% de la producción primaria total anual (Brito et al., 2009; Werner, 1977). Este grupo es uno de los principales componentes del microfítobentos, llegando, generalmente, a dominar las asociaciones bentónicas (Shannon et al., 2012); influyen o modifican el tipo de comunidad microbiana que caracteriza determinados hábitats; y son colonizadoras rápidas, tanto de sustratos vivos (Sieburth y Thomas, 1973) como inertes (MacLulich, 1986).

Las diatomeas bentónicas fueron de los primeros grupos de organismos empleados para la evaluación de calidad de agua y contaminación (Siqueiros-Beltrones, 2002), debido, principalmente, a la tolerancia específica que puede presentar cada especie ante las variaciones ambientales y que, en conjunto con sus altas tasas de reproducción, sus comunidades reflejan cambios sutiles en el medio en el que se desarrollan (Pandey et al., 2018).

Las asociaciones de diatomeas han sido utilizadas para el monitoreo biológico (Kelly et al., 1995; Weckström y Juggins, 2005) y para la evaluación del estado ecológico de

ambientes acuícolas, principalmente continentales como ríos y arroyos (Atazadeh et al., 2007; Blanco et al., 2008; Delgado y Pardo, 2014; Delgado et al., 2012, 2010; Kelly, 2002; Kelly et al., 1995; Passy y Bode, 2004; Round, 1991). Para esto, se han desarrollado modelos de respuesta de las taxocenosis ante cambios ambientales (Weckström y Juggins, 2005).

A pesar de su utilidad como bioindicadores, en los ambientes costeros y marinos el uso de las diatomeas ha sido limitado (Facca & Sfriso, 2007; Weckström & Juggins, 2005; Rovira et al. 2012; Lavoie et al., 2014; Tudurí et al., 2021). En el caso de los ambientes costeros, el mayor número de estudios con este enfoque se han desarrollado en ambientes templados como el mar Báltico (Weckström & Juggins, 2005).

La mayoría de los estudios existentes se llevan a cabo bajo directivas que buscan uniformizar los métodos de evaluación de los ambientes acuáticos, sin embargo no suelen estar enfocados a los ambientes costeros. Hallett et al (2016) señalan que el empleo de las diferentes directivas de evaluación de ambientes acuáticos no son adecuadas para los ambientes estuarinos de Australia, debido a que presentan características diferentes (mayor temperatura y variación de salinidad) a los ambientes localizados en Europa y Norte América, por lo que sugieren verificar si su implementación es la adecuada para el ambiente a evaluar. Por otro lado, Rovira et al. (2012), demostraron que estas directivas tampoco son aplicables para ambientes estuarinos europeos debido a la alta variabilidad de la salinidad.

En el caso de los ambientes estuarinos mexicanos es escaso el conocimiento sobre las comunidades de diatomeas bentónicas y más aun su posible uso como evaluadores ecológicos bajo perspectivas que se adecuen a las características ambientales

particulares de los ecosistemas estuarinos. Siqueiros Beltrones y Argumedo Hernández (2014) y Martínez et al. (2021) condujeron las primeras investigaciones sobre la respuesta de las asociaciones de diatomeas bentónicas a la contaminación por elementos potencialmente tóxicos como metales pesados. En estos estudios se observó la dificultad que existe en la interpretación de los resultados bajo estas aproximaciones, incluyendo su distinción respecto a cambios ambientales no antrópicos teniendo como referencia las características naturales de dichas asociaciones bajo condiciones libres de impacto ambiental.

La falta de información sobre las asociaciones de diatomeas bentónicas que habitan los ambientes costeros mexicanos, así como la importancia de establecer las condiciones ecológicas de ellos para su evaluación, resalta la necesidad de determinar si la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas pueden ser utilizadas como bioindicadores en sistemas tan dinámicos y complejos como los son estos ambientes. Es por esto que en este estudio se propone establecer las asociaciones de diatomeas bentónicas y su variación como respuesta a los cambios de las condiciones ambientales, así como su posible empleo como evaluadores ecológicos en los ambientes costeros, en este caso, específicamente, de la Laguna de Términos (LT), Campeche.

La LT es, por area y volumen, la segunda laguna costera más grande del país, y es uno de los sistemas más complejos al tener asociados un gran número de subsistemas (ríos, lagunas, arroyos, esteros, etc.) y estar bajo la influencia constante del ambiente marino y las contribuciones de los escurrimientos continentales, por lo que el conocimiento sobre la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas en ella ayudarán a entender mejor la de otros ambientes similares y menos complejos.

2. Marco Teórico

2.1. Diatomeas bentónicas

Las diatomeas son microalgas unicelulares de vida libre o coloniales, cuyo protoplasma está rodeado por una pared silíceo llamada frústula. Estas microalgas pueden presentarse en prácticamente todo hábitat que tenga la suficiente humedad para su desarrollo (Siqueiros-Beltrones, 2002).

Se clasifican dentro de la División Bacillariophyta (Lee, 1992), y según el ambiente cómo: dulceacuícolas, marinas o estuarinas; y por su localización como: planctónicas, aquellas que se encuentran principalmente en la columna de agua y dependen de las corrientes para su ubicación; y bentónicas, pertenecientes al microfitobentos y que se desarrollan en el fondo de los ambientes acuáticos. Estas últimas se pueden clasificar según el sustrato que habitan en: epifíticas que se desarrollan sobre productores primarios; epizoicas sobre animales; epipélicas sobre lodo; episámicas en arena y epilíticas que viven sobre rocas; estos organismos también son conocidos como perifiton, refiriéndose a la comunidad microbiana compleja que se desarrolla adherida a cualquier tipo de sustrato. Algunos de estos organismos pueden ser desprendidos del sustrato sobre el que se desarrollan siendo incorporados a la columna de agua constituyendo el picoplancton, es decir, organismos que normalmente no se encuentran en la columna de agua-(Siqueiros-Beltrones, 2002).

2.1.1. Estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas

La estructura de las asociación de diatomeas bentónicas está en función del número de taxones que la constituyen y sus abundancias relativas, así como entre las proporciones de especies dominantes, comunes y raras.

Esto, contemplado bajo el concepto de diversidad (Siqueiros-Beltrones, 1994), puede complementar la información sobre la taxocenosis y su ambiente que si solamente se analizará la florística y su comparación con otras taxocenosis. Estas asociaciones al igual que en otras comunidades vegetales, en general, mantienen una misma estructura general, presentando pocas especies abundantes y comunes, y muchas especies con bajas abundancias y poco comunes, independientemente de su riqueza específica (Siqueiros-Beltrones, 2002).

2.1.2. Florística y variables ambientales

La estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas está influida por la variación de los factores físico-químicos (Siqueiros-Beltrones, 2002; Kelly et al., 2009; Pandey et al., 2018a,b), presentando diferentes tipos de respuesta según el ambiente en el que se desarrollan. Por ejemplo, Snoeijs (1994) encontró que, en su área de estudio, la comunidad de diatomeas es afectada principalmente por la temperatura y la salinidad; o el estudio de Facca y Sfriso (2007), quienes observaron que la mayor abundancia de diatomeas bentónicas se relaciona con elevadas concentraciones de nutrientes y en las zonas donde el tamaño de grano del sedimento fue principalmente fino, dichas condiciones favorecieron la presencia de organismos pequeños. Asimismo, también observaron que la cantidad de luz disponible para las diatomeas resulta una variable muy importante en la definición de las características estructurales tanto de la comunidad como de la respuesta de los individuos.

En otros estudios se ha observado que la salinidad es uno de los factores más importantes en la permanencia de las asociaciones de diatomeas, debido a que cada taxón tiene requerimientos de salinidad característicos (Pandey et al., 2018a; Clavero et

al., 2000). En este sentido, se ha observado también que los gradientes de salinidad frecuentemente coinciden con cambios en la disponibilidad de nutrientes (Day et al., 1989; Boyer et al., 1999). Cada uno de los autores demostró que en los ambientes, que respectivamente estudiaron, hay una variable importante o principal que determina la estructura de sus asociaciones.

Aunado a lo anterior, Frankovich et al. (2006) encontraron que la variación de una comunidad de diatomeas epífitas en *Thalassia testudinum* D. K. Koenig en las costas de Florida, se explicaba significativamente por las variaciones en concentración de nitrógeno orgánico disuelto. De la misma manera, Underwood et al. (1998) observaron que las concentraciones de amonio son importantes para determinar la composición de especies de las asociaciones diatomeas bentónicas en su área de estudio. Adicionalmente, se ha observado que un incremento en la concentración del nitrógeno y fósforo promueve el aumento de la biomasa de las diatomeas epífitas (Terrados et al., 2008); no obstante, que Hankin et al. (2012) y Sullivan (1976) reportan que el enriquecimiento tiene un efecto negativo en la diversidad y riqueza de las comunidades.

En relación con la región de estudio del presente trabajo, una investigación reciente mostró que la comunidad de diatomeas epífitas de *Thalassia testudinum* en la costa norte del estado de Campeche, presentó una alta diversidad de especies en comparación con otras comunidades epífitas de *Thalassia testudinum*. Aunque no se detectó una relación directa entre los atributos comunitarios con las condiciones ambientales, fue posible observar un aumento de taxones dulceacuícolas en la época de lluvias en la costa de la ciudad de Campeche y en la costa cercana a la desembocadura del río Champotón en época de secas (Lopez-Mejia, 2016), pudiendo estar demostrando la influencia dulceacuicola sobre la comunidad.

En dicho estudio se atribuyeron los valores máximos de diversidad registrados a las contribuciones de aguas epicontinentales, las cuales proporcionaron un gran número de especies dulceacuícolas que enriquecieron las taxocenosis; por ejemplo, *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) y *Cocconeis placentula* Ehrenberg, han sido mencionadas como comunes en ambientes de agua dulce y estuarinos (Van Dam et al. (1994);-Abuhatab et al., 2012).

Por otro lado, Borowitzka et al. (2006) concluyeron que la biomasa y/o la composición de especies de diatomeas bentónicas, en su zona de estudio, responden significativamente a las concentraciones de nutrientes, abundancia de consumidores, las condiciones hidrodinámicas, la profundidad y la irradiación y, por lo tanto, estas interacciones hacen que se dificulte deducir las causas del cambio de la biomasa y la composición de las epífitas. Es decir, que es la interacción de un conjunto de características ambientales y los requerimientos de cada taxón lo que determina su presencia y consecuentemente la estructura de las asociaciones (López-Mejía, 2016).

Los resultados expuestos en estos estudios dan una visión general de las diferentes respuestas que pueden presentar las asociaciones de diatomeas ante la variación de diferentes parámetros ambientales, que al igual que otras comunidades (vegetales y animales), permiten reconocer ciertos patrones de respuesta en los que se relaciona la estructura de las asociaciones o comunidades, y las condiciones ambientales del medio en que habitan.

Así, la estructura de una asociación de diatomeas bentónicas está determinada por la interacción de los taxones con las condiciones ambientales y su variación, en ambientes costeros tropicales se ha dificultado identificar los principales factores que influyen sobre

la taxocenosis, por lo que surge la pregunta de qué variable o variables ambientales propician el cambio en la estructura de la taxocenosis en un ambiente costero estuarino.

2.1.3. Diatomeas bentónicas como bioindicadores

El uso de las diatomeas para la evaluación de un ambiente se ha llevado a cabo a partir del cálculo de índices o estimadores, los cuales se basan en la presencia y abundancia de los diferentes taxones de diatomeas que componen las taxocenosis. Existen un gran número de índices, lo que puede deberse a la gran variedad de asociaciones y de las preferencias ecológicas de cada taxón de acuerdo con el área geográfica (Kelly y Whitton, 1995; Kelly et al., 1995; Passy y Bode, 2004).

Sin embargo, algunos índices no son útiles en ciertas áreas y pueden dar un resultado que no refleja la verdadera calidad del agua (Desrosiers et al., 2013); por ello, estos autores sugieren la comparación de los resultados generados por cada índice con las variables físicas y químicas del agua para de esta manera poder decidir cuál(es) son los más adecuados para la evaluación de un ecosistema particular.

Este tipo de índices suelen tener una alta correlación entre sí, debido a su origen, y ser específicos a los ambientes para los cuales fueron desarrollados (Delgado et al., 2010). La mayoría de estos índices están basados en la ecuación de Zelinka y Marvan (1961; Ecuación 1) en la cual se utilizan especies consideradas indicadoras a las que previamente se les asignó un número según su valor como indicador y otro como valor de su sensibilidad a la contaminación.

Ecuación 1.- Ecuación de Zelinka y Marvan (1961) para estimar la calidad de agua:

$$\text{índice} = \frac{\sum_{j=1}^n a_j s_j v_j}{\sum_{j=1}^n a_j v_j}$$

Donde:

a_j = abundancia (proporción) de la especie j en la muestra.

v_j = valor como indicador.

s_j = sensibilidad de la especie a la contaminación.

Existen también estimadores basados en especies llamadas de “referencia”, los cuales utilizan los taxones que proliferan mayormente en zonas consideradas, por sus características ambientales, como no contaminadas (Delgado et al., 2012, 2010; Passy y Bode, 2004; Lavoie et al., 2014). Se ha demostrado que estos índices son indicadores más sensibles (Delgado et al., 2012), por lo que pueden ser más ampliamente utilizados.

2.1.4. Dificultades en la evaluación ambiental de sistemas estuarinos

Se han desarrollado una serie de directivas, como la *Clean Water Act* en los Estados Unidos de América y la *Water Framework Directive* (WFD) en Europa, las cuales buscan uniformizar los métodos de evaluación de los ambientes acuáticos, sin embargo, no suelen estar enfocados en ambientes estuarinos (ni marinos). Por ejemplo, la WFD, la cual se basa en el concepto *Ecological Quality Status* (estatus de calidad ecológica) o EcoQ, implementada en 2006 como una manera de evaluar la calidad biológica de un cuerpo de agua, consiste en comparar la composición de diferentes grupos biológicos en

el sistema con aquellos presentes en sitios considerados de referencia o línea base; es decir, que se encuentren bajo las características óptimas para el desarrollo de la comunidad. Para esto es necesario identificar los ambientes que no se encuentren perturbados o que presenten una menor perturbación y que sirvan como línea base para la evaluación de ambientes similares en otras zonas, y de esta manera establecer el estado al que se tiene que llegar con las medidas de manejo ambiental (Dauvin, 2007; Basset y Abbiati, 2004).

Por otro lado, también se busca definir las características fisicoquímicas de referencia de un sistema que reflejen las mejores condiciones posibles, así como el menor impacto antropogénico (Borja y Dauer, 2008). Sin embargo, las características propias de los ambientes estuarinos dificulta la localización de ambientes o zonas de referencia, haciendo muy difícil el empleo de una línea base para definir el estado ecológico del ambiente (Basset et al., 2006; Basset y Abbiati, 2004; Sheppard, 1995), idea que se ha discutido desde hace varias décadas. Las aproximaciones sugeridas por las directivas no suelen ser las adecuadas en los ambientes estuarinos cuando lo que se busca reconocer es la presión antropogénica sobre el sistema y sus consecuencias (de Jonge et al., 2002).

El problema que se enfrenta cuando se emplean este tipo de índices es la necesidad de reconocer especies que, debido a su afinidad con algunas condiciones ambientales, reflejen las alteraciones; sin embargo, en los ambientes estuarinos la presencia de especies tolerantes al estrés no necesariamente está ligado a una alteración antropogénica, sino que reflejan más bien la variabilidad de estos ambientes (Dauvin, 2007).

Una de las aproximaciones más exitosas para la evaluación de los ambientes estuarinos es la propuesta por Lavoie et al. (2014), quienes desarrollaron un estimador adecuado

para la evaluación ecológica de los ambientes estuarinos canadienses, basándose en la estructura de la comunidad de diatomeas, utilizando una aproximación con estadística multivariada para entender la estructura y variación de las asociaciones, y así poder establecer gradientes tanto ambientales como biológicos.

Recientemente Tudurí et al. (2021) evaluaron el proceso de eutrofización en dos lagunas costeras de Uruguay, empleando como referencia a las diatomeas bentónicas y su asociación con las variables de columna de agua y sedimento. En dicho estudio se hizo énfasis en el uso de los indicadores ambientales correctos para la evaluación de sistemas estuarinos, los cuales deben alertar desde un inicio de las alteraciones ambientales. Sin embargo, es importante que dichos indicadores sean capaces de soportar pequeños cambios naturales a lo largo del tiempo, y que capturen y mantengan un patrón en las diferencias entre hábitats que sean persistentes en el tiempo, sin importar las variables ambientales específicas no duraderas que causan las diferencias espaciales en todo momento (Wildsmith et al., 2017).

2.2. Características de los ambientes costeros estuarinos

Estos sistemas se definen como ambientes ubicados en el margen de las zonas costeras “Un cuerpo de agua semi-cerrado que se extiende hasta el límite afectivo de la influencia mareal, dentro del cual el agua marina que entra por una o varias conexiones con el mar abierto u otro cuerpo de agua salino costero, es significativamente diluida con el agua dulce derivada de los escurrimientos terrestres y puede sostener especies biológicas estuarinas, ya sea en parte o todo su ciclo de vida” (Perillo, 1995). Y representan algunos de los ambientes más productivos a nivel mundial (Lloret et al., 2008; Schelske y Odum, 1962; Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta, 2003).

Desde diversos puntos de vista los estuarios son ambientes complejos, dinámicos y diversos, reflejando una alta variabilidad ambiental como consecuencia de la influencia de los ambientes adyacentes que en ellos confluyen, y con los que intercambian materiales, tanto bióticos como abióticos. Esto tiene como consecuencia la presencia de diferentes hábitats y gradientes espaciales que propician la alta productividad que los caracteriza (Yáñez-Arancibia y Day, 1988; Contreras-Espinosa et al., 1994; Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta, 2003; Escavara et al., 2004; Day et al., 2013).

2.2.1.Laguna de Términos

El sistema lagunar Laguna de Términos, Campeche, es considerado, por volumen y área, el segundo más grande de México; tiene asociados diversos ecosistemas adyacentes con los cuales interactúa permanentemente; dicha interacción propicia una alta variación de las condiciones fisicoquímicas dentro de la laguna que permite la definición de diferentes hábitats y el reconocimiento de diferentes zonas que presentan condiciones particulares, mostrando una gran heterogeneidad ambiental, lo que favorece una alta diversidad tanto de organismos bentónicos como del necton (Yáñez-Arancibia et al., 1994).

2.2.2.Zonación de la laguna de Términos

En la laguna existe un patrón de circulación semipermanente caracterizado por diferentes condiciones de salinidad, turbidez y nutrientes, generado por las condiciones del clima y vientos de la región, las cuales, junto con las corrientes, fuerzan al agua marina a entrar a la laguna a través de la boca de Puerto Real, mientras que el agua de la laguna es llevada mar afuera a través de la boca del Carmen (Carvalho et al., 2009, Grenz et al., 2017); este patrón de circulación se ve modificado durante la época de nortes, en la que el agua de la laguna sale del sistema por ambas bocas (Grenz et al., 2017). David y Kjerfve (1998)

estiman que el 50% del agua de la laguna se renueva en nueve días. Estas características han influido en las zonaciones que se han hecho del sistema.

Carvalho et al. (2009) consideran que la Laguna de Términos presenta cinco zonas con condiciones de hábitat diferentes (Fig. 1):

- a) Costa interna de la isla del Carmen, la cual se caracteriza por la influencia del agua marina y la presencia de manglares y praderas de pastos marinos.
- b) El área central de la laguna, la cual es un área de transición entre el agua marina y las condiciones dulceacuícolas.
- c) Zona de influencia de agua epicontinental proveniente de los ríos Candelaria, Chumpán y Palizada.
- d) El canal de entrada de agua marina por la boca de Puerto Real, con condiciones marinas la mayoría del tiempo.
- e) La boca del Carmen, zona donde se conecta la laguna con la Bahía de Campeche que presenta condiciones estuarinas.

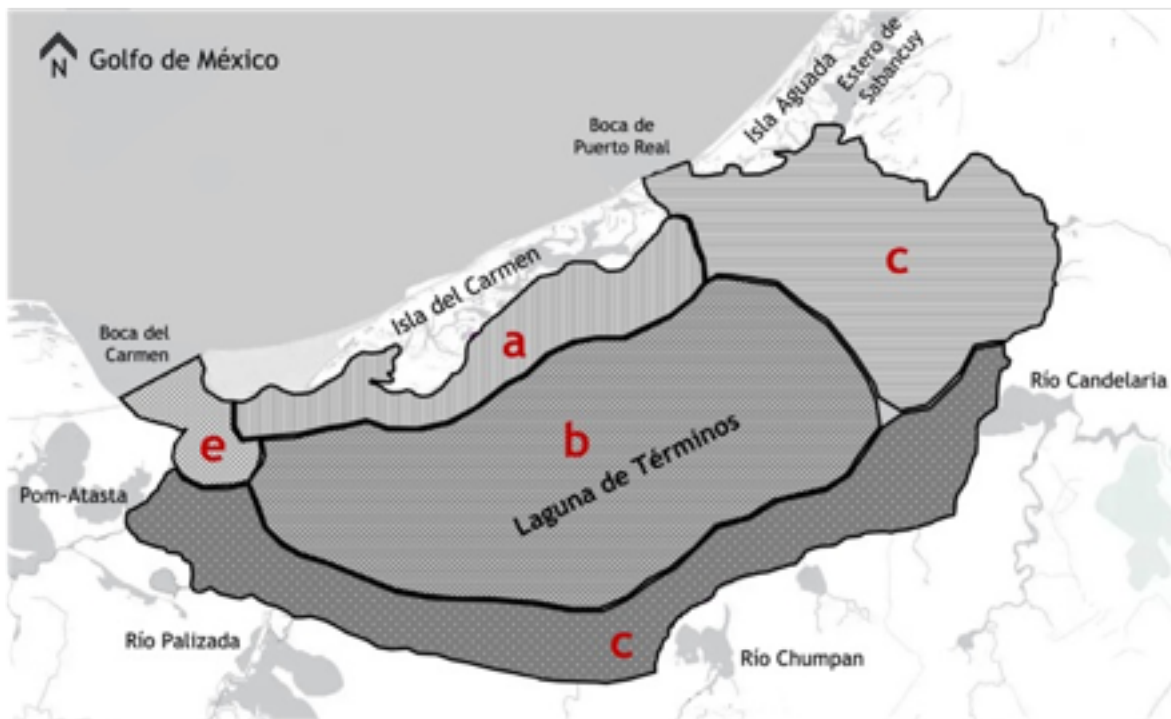


Figura 1.- Zonas propuestas por Carvalho et al. (2009) para la Laguna de Términos, Campeche, México. a)Costa interna de Isla del Carmen; b)Área central; c)Zona de influencia epicontinental; d)Canal de entrada de agua marina; e)Boca del carmen.

2.3. Pregunta de investigación

Con lo planteado anteriormente surgió la interrogante de si la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas son una herramienta adecuada para la evaluación del estado ecológico de ambientes estuarinos, tales como la Laguna de Términos, Campeche, México.

2.4. Hipótesis

Se espera que las asociaciones de diatomeas bentónicas de la laguna de Términos presenten una alta diversidad de especies, alta riqueza, baja dominancia y alta equidad, y que estén conformadas principalmente por especies características de ambientes estuarinos tolerantes a las variaciones ambientales. Bajo esta premisa se plantearon las siguientes hipótesis:

- Debido a la alta variabilidad espacial que caracteriza a la Laguna de Términos, se presentarán diferencias en la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas entre las zonas muestreadas en la laguna, con una mayor diversidad en los sitios con influencia de agua dulce debido a la entrada de especies dulceacuícolas.
- De igual manera, debido a las contribuciones de especies dulceacuícolas por parte de los escurrimientos epicontinentales, la temporada de lluvias presentará la mayor diversidad, con diferencias significativas entre todas las temporadas.
- Dichas diferencias estarán relacionadas con variación en las concentraciones de nutrientes y los valores de salinidad.
- Las asociaciones de diatomeas bentónicas serán características de ambientes con niveles tróficos bajos, esto es sin signos de eutrofización, presentando las menores abundancias de especies sensibles al aumento de nutrientes cerca de las desembocaduras de los ríos y en la costa de la Isla del Carmen.
- Especies pertenecientes a géneros como *Achnanthes*, *Cocconeis* y *Synedra* propiciarán diferencias entre las zonas de la laguna de Términos que permanecen en respuesta a sus características fisicoquímicas particulares.

2.5. Objetivo general

Evaluar el estado ecológico de la laguna de Términos con base en la estructura de asociaciones de diatomeas bentónicas.

2.5.1. Objetivos particulares

- Validar la zonación propuesta para la Laguna de Términos en las tres temporadas climáticas (secas, lluvias y nortes) que presenta.
 - Caracterizar las condiciones físico-químicas de la Laguna a lo largo de las temporadas de secas, lluvias y nortes.
 - Establecer si existen diferencias en las condiciones físico-químicas entre las tres temporadas climáticas.
 - Validar la zonación de la laguna propuesta para cada una de las épocas climáticas.
- Caracterizar la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas en la laguna.
 - Determinar la florística de las taxocenosis de diatomeas bentónicas.
 - Estimar la diversidad de especies, incluyendo su equidad y dominancia
 - Determinar las diferencias en la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas pertenecientes a diferentes zonas y épocas climáticas.
 - Identificar si existen asociaciones que puedan servir como indicadoras de zona y/o temporada climática.
- Determinar la relación entre las variables ambientales y la estructura de las asociaciones.
 - Determinar cuales variables ambientales presentan una mayor influencia sobre la estructura de la comunidad.
- Describir el estado ecológico de la laguna de Términos a partir de estimadores ecológicos basados en las asociaciones de diatomeas bentónicas.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

La laguna de Términos cuenta con una extensión de 706,147 ha, está catalogada como Área de Protección de Flora y Fauna (Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001; Fig.2) y es considerada el sistema lagunar más estudiado de México (Gold-Bouchot et al. 1993). Se localiza en el sur del Golfo de México, en el Estado de Campeche, y forma parte de la llanura deltaica del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta (SEMARNATCAM, 2017).

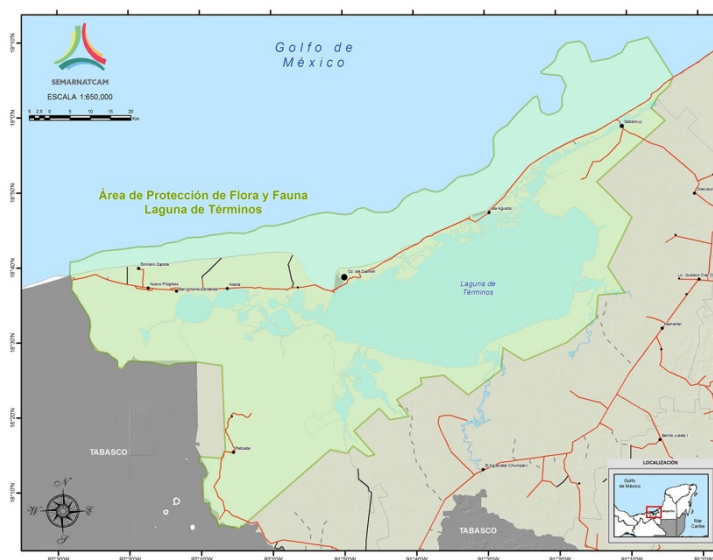


Figura 2.- Área de Protección de flora y fauna de Laguna de Términos, Campeche, México. Tomado de SEMARNATCAM

Los aportes de agua epicontinental que entran en el sistema son elevados (11.76×10^9 m³; Contreras-Espinosa, 2010) y acarrearán una alta cantidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, así como de materia orgánica, la cual al oxidarse hace disponibles nutrientes (Nixon, 1995). Sin embargo, la laguna se caracteriza por presentar un estado trófico bajo, es decir, aguas transparentes y una baja productividad a lo largo de año (Ponce-Manjarrez, 2016). Los principales aportes de agua dulce provienen de los ríos Palizada localizado al suroeste de la laguna, Chumpán al sur, y Candelaria al sureste (Gold-Bouchot et al., 1993, Hudson et al., 2005, Ramos-Miranda et al., 2005).

La laguna presenta una profundidad promedio de 3.5m y se encuentra separada del ambiente oceánico por la isla del Carmen y presenta dos bocas de comunicación, las cuales están abiertas durante todo el año: la boca del Carmen con 3.4 km de largo, localizada en la zona suroeste de la laguna. Por su parte la boca de Puerto Real, con 3.2 km de largo, está localizada entre las dos islas: Isla del Carmen e Isla Aguada (Contreras Ruiz Esparza et al., 2014).

El área de estudio se caracteriza por presentar tres estaciones climáticas: temporada de secas de febrero a mayo, con baja precipitación; la temporada de lluvias de junio a septiembre; y la temporada de nortes de octubre a enero, con vientos predominantes del norte (Ramos-Miranda et al., 2005). Se han observado diferencias significativas en las variables físico-químicas entre las diferentes temporadas ambientales y a lo largo de la laguna, identificándose claramente diferentes zonas ocasionadas por los aportes de agua epicontinental y la entrada de agua marina al sistema cuya distribución varía según la época climática, (Ponce-Manjarrez, 2016).

El alto volumen de agua aportado por los ríos tiene gran influencia sobre la salinidad de la laguna, la cual presenta una alta variabilidad tanto temporal como espacial. Las salinidades más bajas se registran, generalmente, cerca de la desembocadura del río Palizada, mientras que las mayores se localizan cerca a la boca de Puerto Real (Carvalho et al., 2009). En cuanto a los nutrientes, los silicatos también se ven afectados por las descargas de los ríos al igual que la salinidad, y se encuentran en una concentración promedio de $70\mu\text{M}$, con una gran variabilidad espacial y temporal (Carvalho et al., 2009).

En el caso del nitrógeno, generalmente se pueden encontrar concentraciones de 0 a $4\mu\text{M}$, con aumentos ocasionales cerca la desembocadura del río Palizada, mientras que la zona centro de la laguna se caracteriza por presentar concentraciones menores a $1\mu\text{M}$ (Carvalho et al., 2009). El fósforo tiene una concentración promedio de $0.13\mu\text{M}$, siendo los ríos Candelaria y Chumpan las principales fuentes de este nutriente (Carvalho et al., 2009, Conan et al., 2017). Medina-Gómez et al. (2015) observaron que algunas variables fisico-químicas presentaron diferencias entre el lado oeste y este de la laguna, diferencias que fueron más pronunciadas durante los periodos de mayor precipitación (nortes y temporada de lluvias). También observaron que las condiciones del área cercana al estero de Sabancuy difiere del lado este de la laguna, lo que puede estar dado por la entrada de agua marina a través de la boca de Puerto Real.

3.2. Material y método

3.2.1. Trabajo de campo

3.2.1.1 Variables ambientales

Con base en las cinco zonas propuestas por Carvalho et al. (2009) se eligieron y ajustaron 4 zonas, eliminando la zona de Boca del Carmen e incluyendo a la zona de la costa interior de la Isla del Carmen, esto debido a que solamente se tomó una muestra en el área y que puede presentar condiciones similares a la zonas adyacentes (Fig.3).

Veinticinco estaciones fueron distribuidas a lo largo de las zonas propuestas.

- Zona I (*), Costa interior de la isla del Carmen: estaciones 4, 5, 11 y 18
- Zona II (*), Descarga de ríos: estaciones 1, 2, 3, 6, 7, 8, 14 y 15
- Zona III (*), Este de la laguna: estaciones 19 – 25
- Zona IV (*), Centro de la laguna: 9, 10, 12, 13, 16 y 17

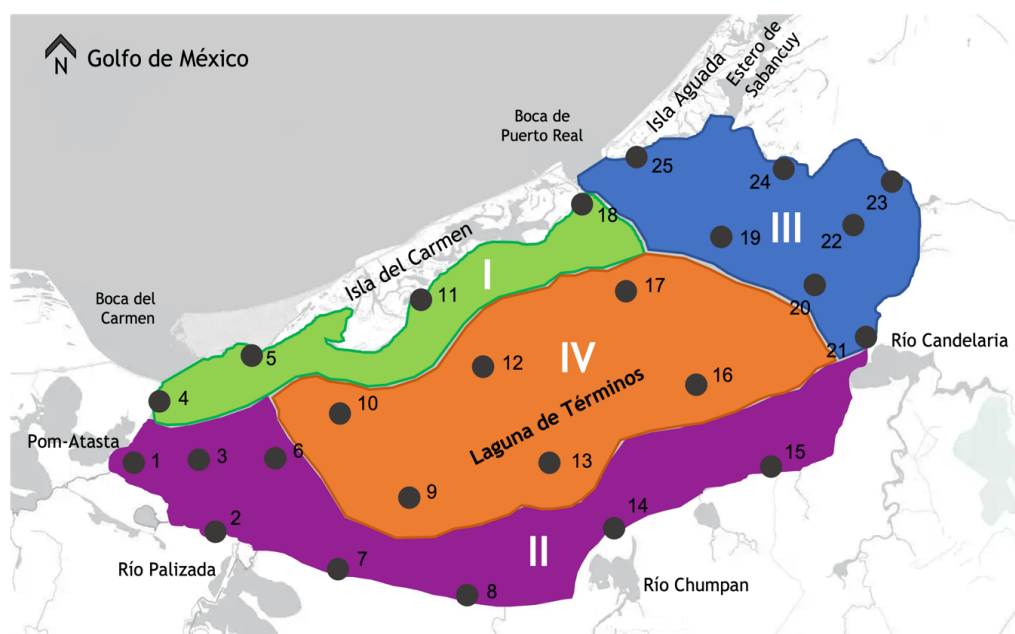


Figura 3.- Distribución de estaciones de muestreo en laguna de Términos, Campeche, México. Los colores representan la zonación propuesta para el área de estudio modificada de Carvalho et al. (2009). Verde (I): costa interna de Isla del Carmen; Morado (II): zona de influencia epicontinental; Azul (III): zona calcárea; Naranja (IV): zona centro.

La toma de muestras se llevó a cabo abarcando las tres épocas climáticas que se presentan en la región (Ramos-Miranda et al., 2005). En total se realizaron tres muestreos, uno durante cada época: secas en abril de 2017 (secas-17), lluvias en agosto de 2017 (lluvias-17), y nortes en enero de 2018 (nortes-18).

En cada estación se midieron las variables físico-químicas en columna de agua: pH (con un potenciómetro marca Orion), temperatura (con un termómetro de mercurio, Lauka), salinidad (con un refractómetro American Optical) y la concentración de oxígeno (con el método de Winkler). En cada estación se tomó una muestra de agua (500 ml) a la mitad de la columna de agua según su profundidad total (en promedio se colectó a 1m de profundidad), y se pasaron a través de filtros GF/F; éstas fueron almacenadas en frascos de plástico y transportadas al laboratorio a 4°C; de cada una se analizaron las concentraciones de nutrientes (amonio NH_4^+ ; nitratos+nitritos $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$; ortofosfatos PO_4^{3-} ; y silicatos SiO_2) con las técnicas descritas por Strickland y Parsons (1972).

3.2.1.2 Diatomeas bentónicas

De las 25 estaciones establecidas, las 13 correspondientes a la orilla (Figura 4) se distribuyeron de tal modo que abarcaron las zonas que caracterizan la laguna (influencia marina y antrópica en la zona de la isla del Carmen; aportes dulceacuícolas, cercana a la desembocadura de ríos y arroyos; y zona con influencia de sedimentos calcáreos). En cada una de estas estaciones se recolectaron manualmente (a una profundidad promedio de 1m), en tubos de plástico para centrifuga de 50mL, alrededor de 100 cc de la capa superficial de sedimento para la obtención de las diatomeas; las muestras se preservaron en alcohol comercial (70%) para su transporte al laboratorio.

3.2.1.2.1 Limpieza de frústulas

Al sedimento recolectado de cada estación se le agregó agua neutra y se sometió a un proceso de sonicación para separar las diatomeas de los granos del sedimento.

Posteriormente se dejó sedimentar y se recuperó el sobrenadante donde quedaron suspendidos los organismos (150ml). Las muestras se dejaron sedimentar por 24hrs y por decantación se eliminó el sobrenadante hasta reducir el volumen a 5ml. El material obtenido durante el proceso se depositó en matraces en los que se llevó a cabo la oxidación de la materia orgánica utilizando ácido nítrico concentrado; una vez que la muestra se oxidó, se realizaron enjuagues con agua destilada hasta alcanzar un $\text{pH} > 6.0$; todo lo anterior con el fin de obtener las frústulas limpias de las diatomeas (Siqueiros-Beltrones, 2002) con las cuales, una vez homogeneizadas, se montaron preparaciones permanentes con resina sintética Pleurax.

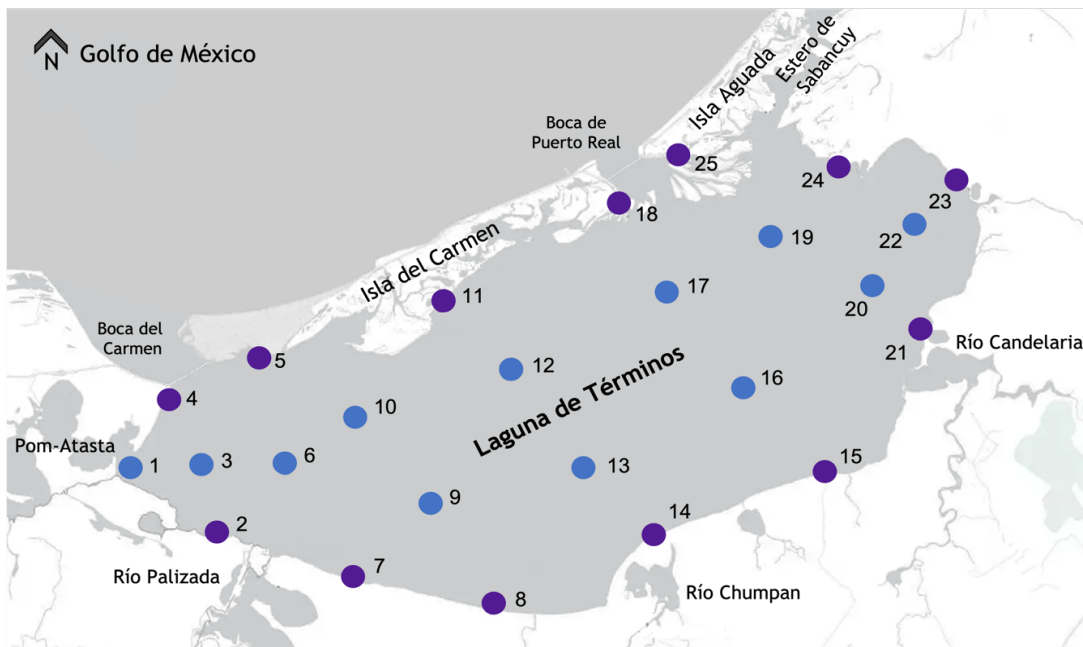


Figura 4.- Distribución de las estaciones de muestreo en la Laguna de Términos, Campeche, México. Estaciones en Morado: se colectaron muestras de diatomeas bentónicas y variables ambientales; Estaciones en Azul: solo se colectaron muestras de variables ambientales.

3.2.1.2.2 Identificación

Las diatomeas encontradas se identificaron con base en la morfología de la frústula, su simetría, ornamentaciones, estructura del rafé, etc., tomando como referencia literatura clásica y reciente (Schmidt et al., n.d., Peragallo y Peragallo, 1908, López-Fuerte et al., 2013, An et al., 2017, Desianti et al., 2017, López-Fuerte et al., 2019, Siqueiros-Beltrones et al., 2019, 2020, 2021; López-Mejía, 2016), así como paginas web especializadas (Diatom Flora of Britain and Ireland; Diatoms of North America; Diatom New Taxon File; Oamaru Diatoms). La identificación de los taxones se actualizó siguiendo las recomendaciones de Round et al., (1990) y la página web AlgaeBase (<http://www.algaebase.org/>). El listado completo de especies y sus autoridades se pueden ver en el Cuadro Apéndice a.

3.2.1.2.3 Estructura de las asociaciones

Se analizaron al microscopio cinco preparaciones permanentes en las que se contaron los individuos (valvas) de las especies presentes en cada transecto hasta alcanzar un total de 400 valvas por laminilla; en el caso de no alcanzar el número de valvas requerido, se contaron hasta 200 o el total de individuos en la laminilla (Siqueiros-Beltrones, 2002; Lavoie et al., 2009). Un diagrama de Olmsted-Tukey se utilizó para la clasificación de las especies a partir del logaritmo de su abundancias (LogA) y su frecuencia de aparición (Fre%): dominantes ($x > 1.15\% \text{ LogA}$ y 15.67 Fre\%); ocasionales ($>1.15 \text{ LogA}$ y $< 15.67 \text{ Fre\%}$); constantes ($x < 1.15 \text{ LogA}$ y $> 15.67 \text{ Fre\%}$); y raras ($x < 1.15 \text{ Log AR}$ y $< 15.67 \text{ Fre\%}$). El listado completo de especies y su clasificación se pueden ver en la Cuadro Apéndice b.

3.2.1.2.4 Índices Ecológicos

La estructura de la comunidad se analizó mediante los principales índices ecológicos empleados rutinariamente en la evaluación de las comunidades de diatomeas bentónicas (Siqueiros-Beltrones, 2002). Para el análisis de la diversidad se aplicaron dos índices: el índice de Shannon ($H' \log_2$). También se utilizó el índice de equidad de Pielou (J'), el cual es un complemento al índice de Shannon. En el caso de la dominancia se utilizó el índice de Simpson (λ). Para evaluar el esfuerzo de muestreo y su relación con el número de especies encontradas se realizó un análisis de rarefacción. En todos los casos se empleó el programa PAST (2.17c) (Hammer et al., 2001).

Asimismo, se estimó la importancia de las especies dentro de la comunidad por medio del Índice de Valor Biológico de Sanders (IVB) (De la Cruz Agüero, 1994), esto para identificar las especies de mayor importancia a lo largo del estudio.

3.2.2. Pruebas estadísticas

3.2.2.1 Caracterización ambiental

Con base en la matriz de datos de variables ambientales se buscó contrastar la hipótesis de que existen diferencias entre las temporadas de muestreo, así como las diferentes zonas de la laguna para cada temporada, realizando una prueba de Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de 0.05; esto debido a que los supuestos de normalidad y homocedasticidad no se cumplieron en todas las variables. Para identificar las diferencias se aplicó una prueba de Comparaciones múltiples de Dunn. Para esto se utilizó el programa Past 4.02 (Hammer et al., 2001).

Para validar las zonas propuestas durante cada uno de los muestreos realizados se llevó a cabo un Análisis de Discriminantes (AD) con la base de datos ambientales, esperando que las estaciones correspondieran a las zonas asignadas. La matriz de confusión que se genera en el análisis se utilizó para reconocer aquellas estaciones que deben ser clasificadas en zonas diferentes. Para llevar a cabo estos análisis se empleó el paquete estadístico Past 3.14 (Hammer et al., 2001).

Para reconocer los parámetros ambientales que explican la variación entre las temporadas y las zonas de la laguna para cada muestreo se empleó un Análisis de Componentes Principales (ACP), verificando si los propuestos (salinidad y concentración de nutrientes) son importantes en la caracterización de la laguna. El ACP realiza una reducción de parámetros agrupándolos en nuevas variables llamadas componentes. En el porcentaje de explicación de los componentes se condensa la información que brinda cada parámetro a la variación. Los componentes principales que se tomaron en cuenta fueron aquellos cuya variación acumulada fuera mayor al 50%. Para definir las variables más importantes en cada componente se eligieron aquellas que alcanzaron una carga factorial mayor a 0.55, lo cual es considerado como buen indicador (McGarigal et al., 2000).

3.2.2.2 Caracterización ecológica

Se calculó el Valor Indicador (IndVal) (Dufrene y Legendre, 1997) de cada especie para medir su grado de especificidad (abundancia) y fidelidad (frecuencia) para cada temporada climática y zona muestreada, con un valor en porcentaje que va de 0%, donde la abundancia de la especie fue mínima en el grupo evaluado, a 100%, en el cual la mayor parte de la abundancia del taxón estuvo contenida en el grupo. Con esto se buscó identificar los taxones específicos para las condiciones particulares a las que pertenecían,

esperando encontrar especies exclusivas para temporadas climáticas y zonas de la laguna. El cálculo se llevó a cabo en Excel con las siguientes fórmulas, y se comprobó su significancia con un análisis de remuestreo de Bootstrap en la extensión de Excel XLSTAT (2021.3.1).

$$(Especificidad)A_{ij} = \frac{N_{individuos_{ij}}}{N_{individuos_i}}$$

Donde: $N_{individuos_{ij}}$ es el número de individuos de la especie i en todos los sitios del grupo o hábitat j , y $N_{individuos_i}$ es el número de individuos de la especie i en todos los hábitats.

$$(Fidelidad)B_{ij} = \frac{N_{sitios_{ij}}}{N_{sitios_j}}$$

Donde: $N_{sitios_{ij}}$ es el número de sitios de un mismo hábitat donde la especie i está presente y N_{sitios_j} es el número total de sitios para el mismo hábitat.

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Donde: A_{ij} es la especificidad y B_{ij} la fidelidad.

Para identificar si existía una agrupación de estaciones según la composición de especies de diatomeas, se trazó un dendrograma mediante el método de Media aritmética no ponderada (UPGMA) sobre el índice de similitud de Bray-Curtis. Para establecer si existen diferencias significativas entre las temporadas y zonas con base en la composición de la taxocenosis, se realizó la prueba ANOSIM (Abalysis of Similarites). Para representar la ordenación de las estaciones, así como describir las diferencias entre las temporadas y zonas se llevó a cabo la prueba nMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling Ordination). Para identificar las especies que están provocando las posibles diferencias entre los grupos (temporadas y estaciones) se realizó el análisis SIMPERP (Similarity breakdown) en el programa PRIMER-6 (Clarke y Gorley, 2005). Estos análisis ayudaron a contrastar la

hipótesis sobre la posible existencia de diferencias en la estructura de las comunidades, tanto a nivel espacial como temporal.

Para identificar las principales variables ambientales que pueden estar explicando las estructuras de las taxocenosis de diatomeas bentónicas, se realizó un análisis de Correspondencia Canónica (ACC), el cual cuantifica la validez de la relación (Badii et al., 2007), esperando que la estructura de las comunidades estén explicadas por la variación espacio-temporal de las variables ambientales. Por último, se realizó un ACP en el cual se utilizaron las especies con valores IndVal más altos para identificar su asociación con las variables ambientales.

4. Resultados

4.1. Caracterización espacio-temporal de la laguna de Términos

4.1.1. Variación temporal

Las temporadas climáticas, como se esperaba, presentaron diferencias significativas entre la mayoría de las variables físico-químicas evaluadas. La transparencia (Secchi) presentó diferencias significativas ($KW_{2,60} = 7.73$, $p = 0.02$, Figura 5c) entre la temporada de lluvias ($1.20 \text{ m} \pm 0.5 \text{ MAD}$) y nortes ($0.6 \text{ m} \pm 0.2 \text{ MAD}$), en las cuales se registraron las mayores y menores transparencias (4 m y 0.35 m) respectivamente.

Cuadro 1.- Variables físico-químicas para las épocas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche. Mediana (Med); Desviación absoluta de la mediana (MAD); Porcentaje de saturación de oxígeno (O₂%); Profundidad (Prof); Temperatura (Temp); Salinidad (Sal); Amonio (NH₄); Fósforo reactivo soluble (FRS); Nitritos (NO₂); Nitratos + Nitritos (NO₃+NO₂); Silicatos (SiO₂). Los superíndices indican de las variables que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tres épocas de muestreo.

	Secas (2017)				Lluvias (2017)				Nortes (2018)			
	Med	MAD	Max	Min	Med	MAD	Max	Min	Med	MAD	Max	Min
Prof (m)	1.00	0.50	5.00	0.50	3.00	1.50	7.00	0.50	0.65	0.15	4.30	0.50
Secchi (m)	0.90	0.40	3.10	0.30	1.20 ^a	0.50	4.00	0.50	0.60 ^b	0.20	3.00	0.35
Temp (°C)	30.00 ^a	0.50	31.00	29.00	31.50 ^b	0.50	33.00	30.00	25.20 ^c	0.80	26.70	23.40
Sal	30.00	5.00	36.00	4.00	25.00	1.00	35.00	10.00	22.00 ^a	2.50	35.00	12.00
pH	7.75 ^a	0.56	8.52	5.72	8.20 ^b	0.11	8.72	6.79	8.49 ^c	0.05	9.49	8.34
O ₂ %	80.10	11.63	148.46	59.83	75.35	18.57	127.42	46.74	94.77 ^a	3.96	124.02	75.37
NH ₄ (μM)	0.02 ^a	0.00	18.01	0.02	1.34 ^b	0.96	14.32	0.02	7.21 ^c	1.62	18.81	3.77
FRS (μM)	3.49	0.32	10.48	2.49	3.68	0.19	15.32	3.23	39.56 ^a	2.20	42.87	6.25
NO ₃ +NO ₂ (μM)	0.39	0.14	1.85	0.14	0.59 ^a	0.13	1.57	0.32	0.41	0.13	1.54	0.15
SiO ₂ (μM)	2.39 ^a	1.15	8.54	0.01	8.49	2.15	15.68	0.01	7.43	2.16	15.51	2.14
Clorofila a (mg m ⁻³)	1.01 ^a	0.61	4.06	0.40	2.65	1.29	7.19	0.77	2.64	0.82	8.59	1.52

La temperatura presentó diferencias significativas ($KW_{2,60} = 44.68$, $p < 0.05$; Figura 5a) entre la época de nortes, secas y lluvias; esto debido a las menores temperaturas registradas en esta temporada ($25.2\text{ °C} \pm 0.8\text{ MAD}$; Cuadro 1). Durante la temporada de nortes también se registró una disminución en los valores de la salinidad ($22 \pm 2.5\text{ MAD}$; Cuadro 1; Figura 5b), presentando diferencias significativas con las otras épocas climáticas ($KW_{2,60} = 7.07$, $p = 0.029$).

En el caso del pH las tres temporadas presentaron diferencias significativas ($KW_{2,60} = 28.19$, $p < 0.05$; Figura 5d), registrando los valores más bajos durante secas ($7.75 \pm 0.56\text{ MAD}$) y los más elevados durante nortes ($8.49 \pm 0.05\text{ MAD}$). El porcentaje de saturación de oxígeno también presentó diferencias significativas ($KW_{2,60} = 9.20$, $p = 0.045$; Figura 5e) entre nortes ($94.77\% \pm 3.96\text{ MAD}$) y secas ($80.1\% \pm 11.63\text{ MAD}$); en esta última se registraron los valores más bajos y más altos (Cuadro 1). La única variable que no presentó diferencias significativas entre los muestreos fue la profundidad ($KW_{2,60} = 5.70$, $p > 0.058$; Cuadro 1).

Las concentraciones de amonio presentaron diferencias significativas ($KW_{2,60} = 38.7$, $p < 0.05$) entre nortes y las otras dos temporadas. Durante nortes se alcanzaron las concentraciones más elevadas ($7.21\text{ }\mu\text{M} \pm 1.62\text{MAD}$), mientras que en secas se registraron concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica en la mayoría de las estaciones ($0.02\text{ }\mu\text{M} \pm 0.00\text{ MAD}$; Cuadro 1; Figura 6a). Durante la época de nortes también se registraron altas concentraciones de FRS ($39.65\text{ }\mu\text{M} \pm 2.20\text{ MAD}$), presentando diferencias significativas ($KW_{2,60} = 36.26$, $p < 0.05$; Figura 6b) con las temporadas de secas y nortes, donde las concentraciones fueron menores a $16\text{ }\mu\text{M}$ (Cuadro 1).

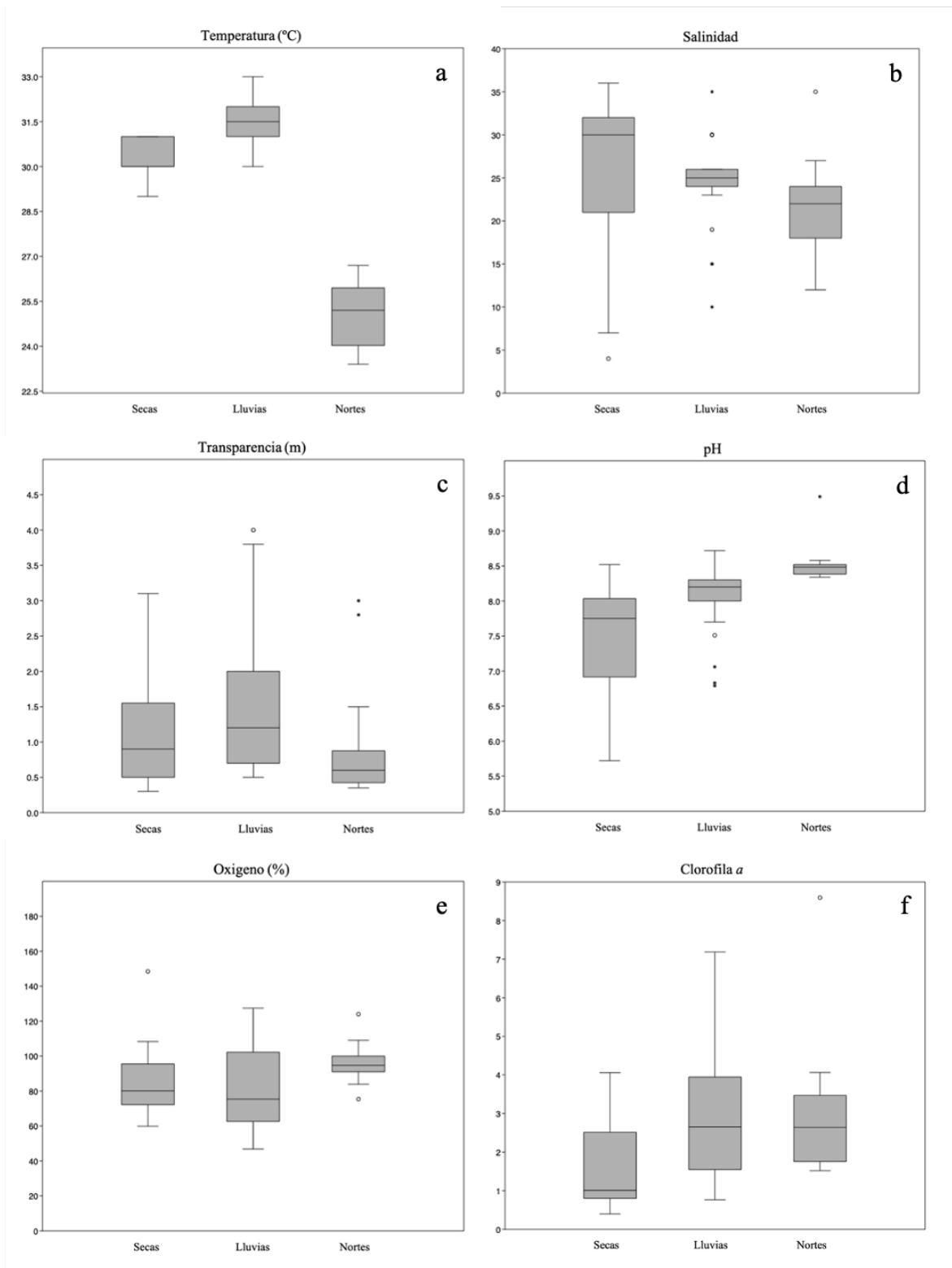


Figura 5.- Variaciones de los parámetros fisicoquímicos que presentaron diferencias significativas entre las temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.

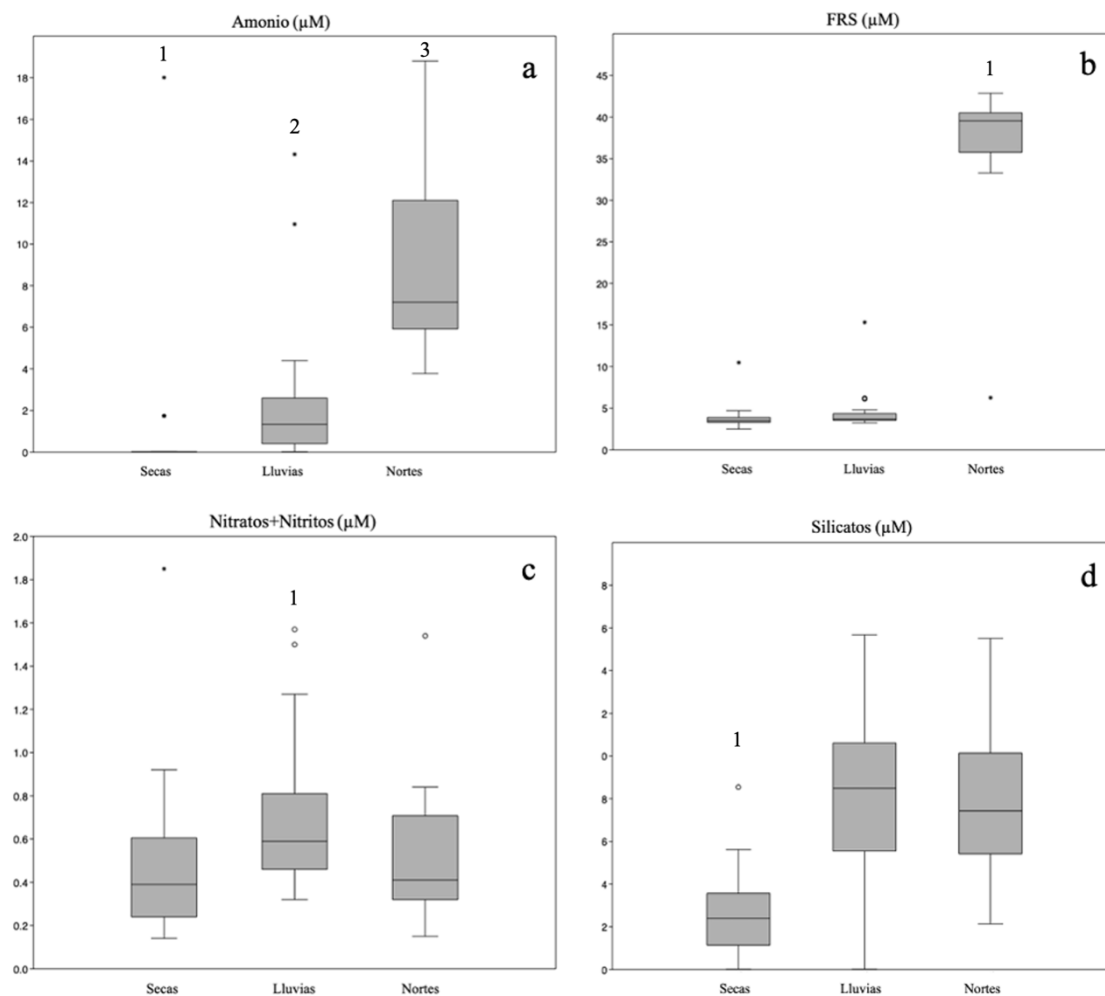


Figura 6.- Variaciones de la concentración de nutrientes que presentaron diferencias significativas entre las temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.

Con base en el ACP se identificaron al FRS, amonio, temperatura, profundidad, porcentaje de saturación de oxígeno y silicatos como las principales variables. El 59.29% de la variación se explica dentro de los primeros tres componentes (Apéndice C.a.i.). La época de nortes estuvo asociada a una mayor concentración de nutrientes, principalmente FRS y amonio, y a temperaturas bajas. Por otro lado, las temporadas de secas y lluvias se asocian con mayores temperaturas y a una mayor profundidad y transparencia de la columna de agua (Figura 7).

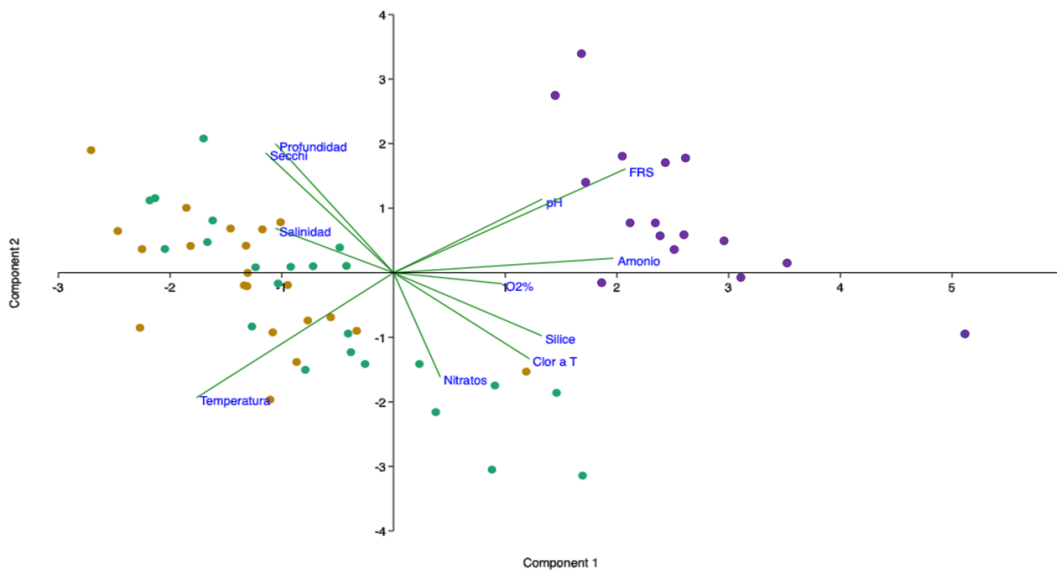


Figura 7.- Gráfico del Análisis de componentes principales de la variación temporal en la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos naranjas: Secas; Puntos verdes: Lluvias; Puntos morados: Nortes.

Estos resultados respaldan la hipótesis de que se presentarían diferencias significativas entre las temporadas de muestreo, mismas que estarían dadas principalmente por las concentraciones de nutrientes. Sin embargo, a diferencia de lo esperado, la salinidad no fue importante para dichas diferencias, y las mayores concentraciones de nutrientes se registraron durante la temporada de Nortes y no en Lluvias.

4.1.2. Variación espacial

4.1.2.1 Secas 2017

Durante la temporada de secas la única variable que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$; Figura 8) fue el amonio, entre la ZII y la ZIII. Las concentraciones de amonio estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica, pero se alcanzó una concentración máxima de $18.01 \mu\text{M}$ (Cuadro 2) en la estación 24 de la ZIII.

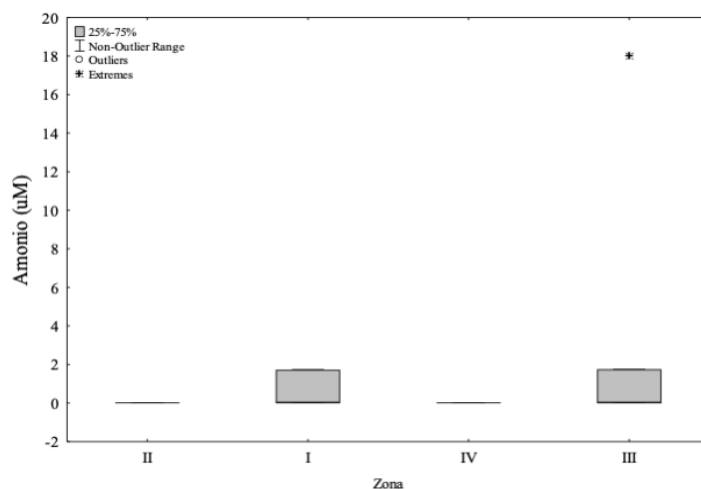


Figura 8.- Variación de la concentración de amonio en las diferentes zonas de la laguna durante la temporada de secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México.

Cuadro 2.- Parámetros físico-químicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche, en la época de Secas 2017. Nitratos+Nitritos (Nitratos); No Detectado (ND)

Zona		Prof (m)	Secc hi (m)	Temp °C	Sal	pH	O ₂ %	Amonio (μM)	FRS (μM)	Nitritos (μM)	Nitratos (μM)	Silice (μM)
I	Mediana	1.00	0.80	30.00	23.00	7.20	80.10	ND	3.63	0.50	0.32	0.66
	MAD	0.20	0.20	0.00	1.00	0.31	7.43	0.00	0.19	0.13	0.13	0.65
	Mínimo	0.80	0.50	29.50	22.00	6.89	72.67	ND	3.06	0.30	0.19	0.01
	Máximo	2.00	1.00	30.00	29.50	7.76	108.26	1.73	3.82	0.63	1.85	4.35
II	Mediana	0.95	1.10	30.50	28.00	7.00	92.74	ND	3.42	0.36	0.32	2.27
	MAD	0.45	0.55	0.50	7.50	0.36	16.98	0.00	0.13	0.06	0.08	0.47
	Mínimo	0.50	0.30	29.00	11.00	6.47	59.83	ND	3.17	0.25	0.14	1.47
III	Máximo	3.80	3.00	31.00	36.00	8.24	148.46	ND	3.92	0.50	0.45	3.59
	Mediana	1.00	1.00	31.00	30.00	7.82	76.74	ND	3.91	0.39	0.51	2.88
	MAD	0.50	0.60	0.00	1.00	0.60	5.04	0.00	0.43	0.01	0.20	2.74
	Mínimo	0.50	0.40	29.00	24.00	5.72	66.47	ND	2.49	0.36	0.27	0.01
IV	Máximo	3.10	3.10	31.00	35.00	8.52	91.73	18.01	10.48	0.65	0.92	8.54
	Mediana	4.90	0.90	30.00	7.00	7.99	90.77	ND	3.36	0.38	0.24	2.70
	MAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.02	0.00	0.00
	Mínimo	4.75	0.90	30.00	4.00	7.91	79.76	ND	3.16	0.36	0.15	1.71
	Máximo	5.00	1.10	30.00	35.00	8.08	96.47	ND	3.58	0.81	0.77	3.54

De acuerdo con el AD, el 90.48% de las estaciones se clasificaron correctamente (Apéndice C.b.i.1.; Figura 9). Las estaciones 20 y 21 correspondientes a la Zona III fueron las únicas clasificadas erróneamente, perteneciendo a la Zona II. Esto refuta nuestra hipótesis en la que se esperaba que todas las estaciones estuvieran bien clasificadas.

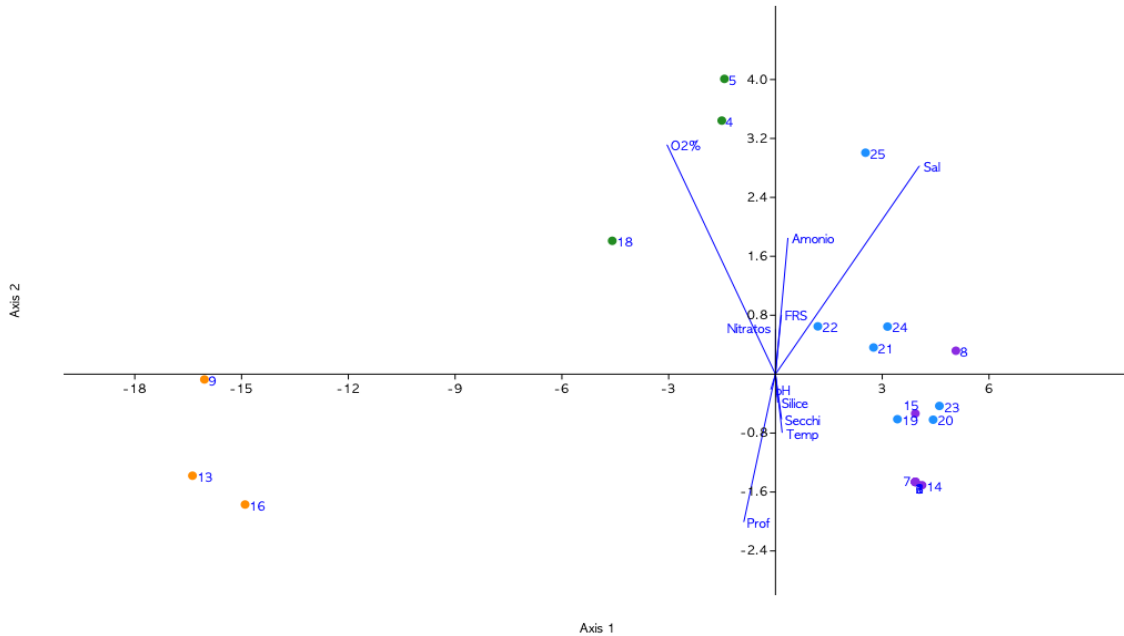


Figura 9.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la época de Secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.

El amonio, FRS, sílice, la temperatura, transparencia (Secchi), porcentaje de saturación de oxígeno y la profundidad fueron las variables de mayor importancia. El 68.53% de la variación en la laguna durante la época de secas estuvo explicada dentro de los tres primeros ejes del ACP (Figura 10; Apéndice C.b.i.2).

Las variables de mayor importancia en el componente 1 (C1, 29.97%) fueron amonio, FRS y sílice; estas variables explican mejor el comportamiento de la estación 24, la cual destaca del resto de la laguna cuya variación no puede ser explicada por estas variables.

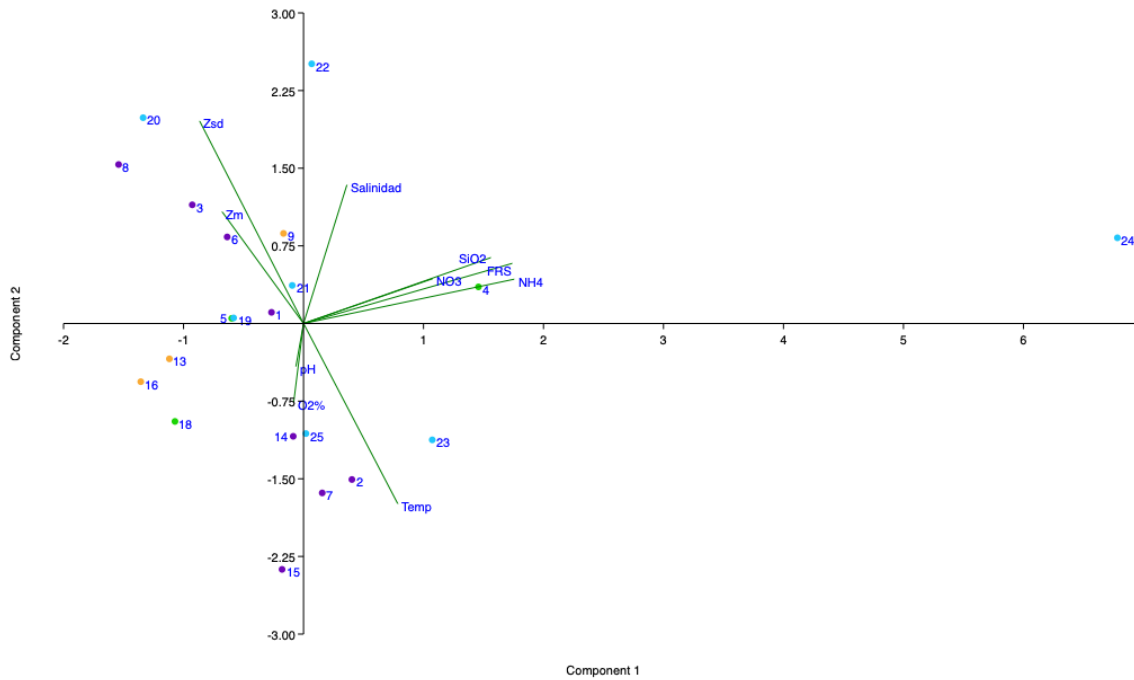


Figura 10.- Gráfico del Análisis de Componentes Principales de la Laguna de Términos, Campeche durante la época de Secas-2017. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII; puntos azules: ZIII; puntos naranjas: ZIV.

4.1.2.2 Lluvias 2017

Durante el muestreo de lluvias se presentaron diferencias significativas entre la ZII y la ZIV en la profundidad ($p < 0.05$; Figura 11), presentando las menores ($0.70\text{m} \pm 0.20$ MAD; Cuadro 3) y mayores ($4.45\text{m} \pm 0.05$ MAD; Cuadro 3) profundidades,

respectivamente. El porcentaje de saturación de oxígeno también

presentó diferencias significativas; esta vez entre la ZII y la ZIII ($p < 0.05$; Figura 12a),

siendo las zonas que registraron las mayores ($102.15\% \pm 9.99$ MAD; Cuadro 3) y

menores ($56.78\% \pm 9.26$ MAD; Cuadro 3) saturaciones, respectivamente. El FRS fue el

único nutriente que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$; Figura 12b) entre la ZIII y

la ZIV; en ésta última se registraron las concentraciones más elevadas ($4.17\ \mu\text{M} \pm 0.46$

MAD) con valor máximo de $15.32\ \mu\text{M}$ en la estación 10.

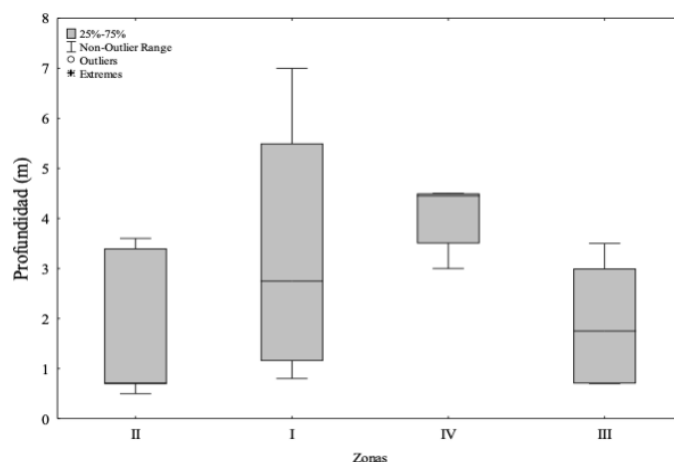
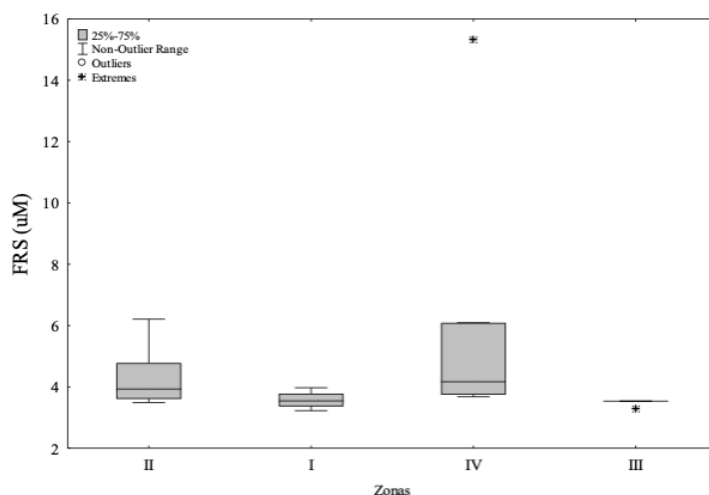
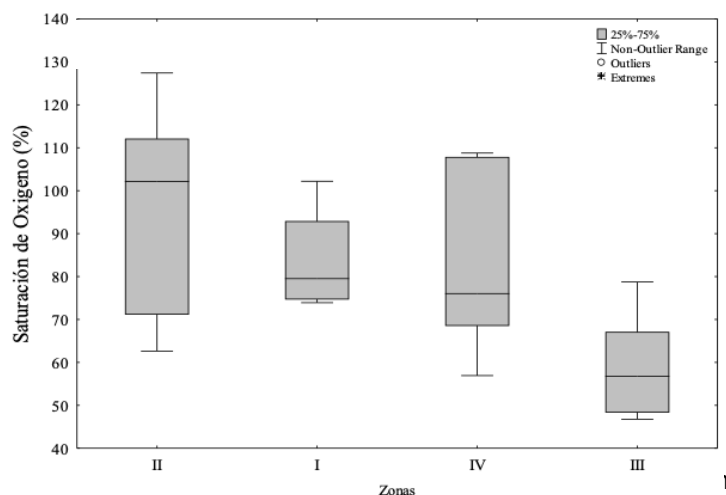


Figura 11.- Variación de la profundidad en las diferentes zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de lluvias-2017.



de la Laguna de Términos, Campeche, durante la temporada de lluvias-17.

Cuadro 3.- Parámetros fisicoquímicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche durante la época de Lluvias-2017. Nitratos+Nitritos (Nitratos)

Zona		Prof (m)	Secch i (m)	Temp °C	Sal	pH	O2%	Amonio (µM)	FRS (µM)	Nitritos (µM)	Nitratos (µM)	Silice (µM)
I	Mediana	2.75	0.90	32.00	27.50	8.28	79.50	1.85	3.55	0.12	0.58	8.47
	MAD	1.60	0.10	0.00	3.00	0.02	4.87	1.29	0.18	0.04	0.05	0.59
	Máximo	7.00	4.00	32.00	35.00	8.30	102.21	10.96	3.97	0.35	1.57	9.63
	Mínimo	0.80	0.70	31.00	24.00	8.09	73.92	ND	3.23	0.07	0.48	0.01
II	Mediana	0.70	0.70	32.00	25.00	8.11	102.15	1.83	3.93	0.12	0.68	8.74
	MAD	0.20	0.20	0.50	1.00	0.32	9.99	1.42	0.42	0.03	0.22	1.56
	Máximo	3.60	1.70	33.00	30.00	8.49	127.42	14.32	6.21	0.29	1.50	11.05
	Mínimo	0.50	0.50	31.00	10.00	6.79	62.60	0.38	3.49	0.10	0.40	4.27
III	Mediana	1.75	1.35	31.50	24.00	8.17	56.78	0.93	3.54	0.11	0.66	10.63
	MAD	1.05	0.65	1.00	1.50	0.10	9.26	0.44	0.00	0.03	0.07	2.22
	Máximo	3.50	3.00	33.00	26.00	8.72	78.76	2.03	3.54	0.24	0.82	15.68
	Mínimo	0.70	0.70	30.00	15.00	7.70	46.74	0.32	3.28	0.05	0.59	5.81
IV	Mediana	4.45	1.90	31.00	25.50	8.10	76.03	1.64	4.17	0.09	0.46	6.79
	MAD	0.05	0.70	0.25	0.50	0.24	13.33	1.11	0.46	0.02	0.06	1.61
	Máximo	4.50	3.80	31.50	30.00	8.42	108.75	4.39	15.32	0.16	0.69	11.11
	Mínimo	3.00	1.20	30.00	25.00	6.83	56.91	0.32	3.68	0.07	0.32	3.35

El análisis discriminante reveló que el 95.65% (Figura 13) de las estaciones se clasificaron correctamente, siendo la estación 4 perteneciente a la Zona I, única estación que debe ser clasificada como parte de la Zona II (Apéndice C.b.ii.1), lo que refuta la hipótesis de una correcta zonación de estaciones. La profundidad, la transparencia, salinidad, los nitratos, el sílice, el porcentaje de saturación, el pH y el FRS son las principales variables. El 63.61% de la variación en la laguna durante el muestreo de lluvias-17 fue explicada en los primeros tres factores del ACP (Figura 14; Apéndice C.b.ii.2). Todos estos resultados respaldan la hipótesis planteada, en la que se esperan diferencias significativas entre las zonas que se presentan en la laguna. En este caso, la salinidad fue una importante variable para explicar dichas diferencias junto con los nutrientes, como se esperaba.

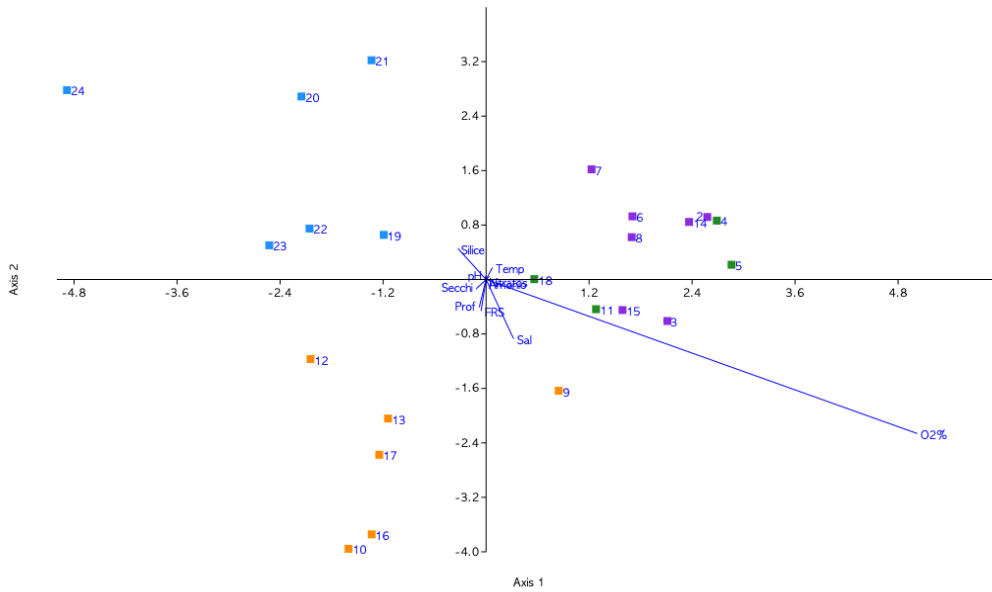


Figura 13.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Lluvias-2017. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.

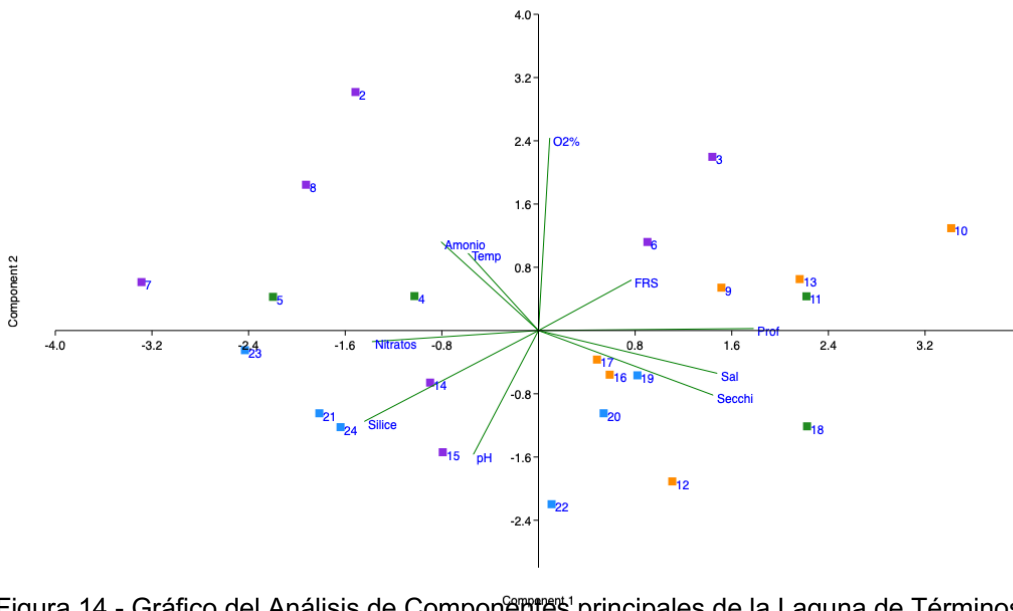


Figura 14.- Gráfico del Análisis de Componentes principales de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Lluvias-2017. Cuadros verdes: ZI; cuadros morados: ZII; cuadros azules: ZIII; cuadros naranjas: ZIV.

4.1.2.3 Nortes 2018

Durante el muestreo de nortes la única variable que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$; Figura 15) fue la transparencia (Secchi), entre la ZIII y la ZIV. El valor más alto registrado (3m) se encontró en la estación 9 perteneciente a la ZIV. La ZIII registró los valores más bajos ($0.40 \text{ m} \pm 0.05$ MAD; Cuadro 4).

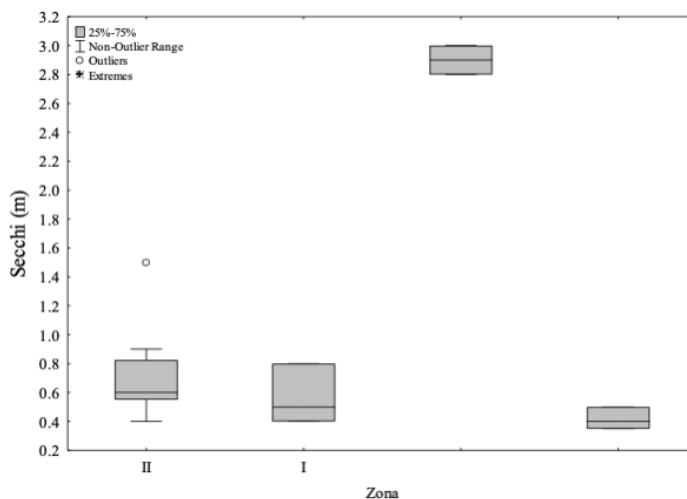


Figura 15.- Variación de la profundidad en las diferentes zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes.2018.

Cuadro 4.- Parámetros físico-químicos para las cuatro zonas de la Laguna de Términos, Campeche durante la época de Nortes 2018. Nitratos+Nitritos (Nitratos).

Zona		Prof (m)	Secchi (m)	Temp °C	Sal	pH	O ₂ %	Amonio (µM)	FRS (µM)	Nitritos (µM)	Nitratos (µM)	Silice (µM)
I	Mediana	0.70	0.50	24.40	27.00	8.38	90.88	6.20	36.66	0.32	0.38	2.81
	MAD	0.10	0.10	0.60	5.00	0.01	2.55	0.50	1.19	0.10	0.05	0.68
	Mínimo	0.50	0.40	23.80	22.00	8.34	88.33	5.70	35.47	0.19	0.32	2.14
	Máximo	0.80	0.80	25.60	35.00	8.39	95.25	12.37	39.89	0.42	1.54	10.26
II	Mediana	0.65	0.60	25.70	19.00	8.51	99.17	8.20	39.59	0.29	0.36	7.11
	MAD	0.15	0.13	0.50	4.50	0.01	5.33	2.88	2.17	0.13	0.07	1.84
	Mínimo	0.50	0.40	23.90	12.00	8.37	83.85	3.77	6.25	0.02	0.15	5.25
	Máximo	3.90	1.50	26.70	24.00	8.58	124.02	18.81	41.77	0.60	0.64	11.94
III	Mediana	0.50	0.40	25.00	21.00	8.48	94.28	5.83	39.97	0.65	0.78	9.22
	MAD	0.00	0.05	1.10	1.00	0.02	4.51	0.71	2.02	0.23	0.06	0.47
	Mínimo	0.50	0.35	23.40	18.00	8.46	75.37	5.12	37.96	0.41	0.30	8.75
	Máximo	0.60	0.50	26.10	22.00	8.55	98.79	7.17	42.87	0.88	0.84	15.51
IV	E9	4.30	3.00	24.60	22.00	9.49	91.50	6.88	39.56	0.04	0.44	7.61
	E10	4.30	2.80	23.90	25.00	8.38	92.80	11.38	33.29	0.41	0.73	5.81

A pesar de no haberse muestreado en todas las estaciones, el 93.75% de éstas se clasificaron correctamente (AD; Apéndice C.b.iii.1; Figura 16); de nuevo la estación 4 (Zona I) es la única que debe ser clasificada como parte de una zona diferente (Zona IV). Refutando la hipótesis de una correcta clasificación de estaciones.

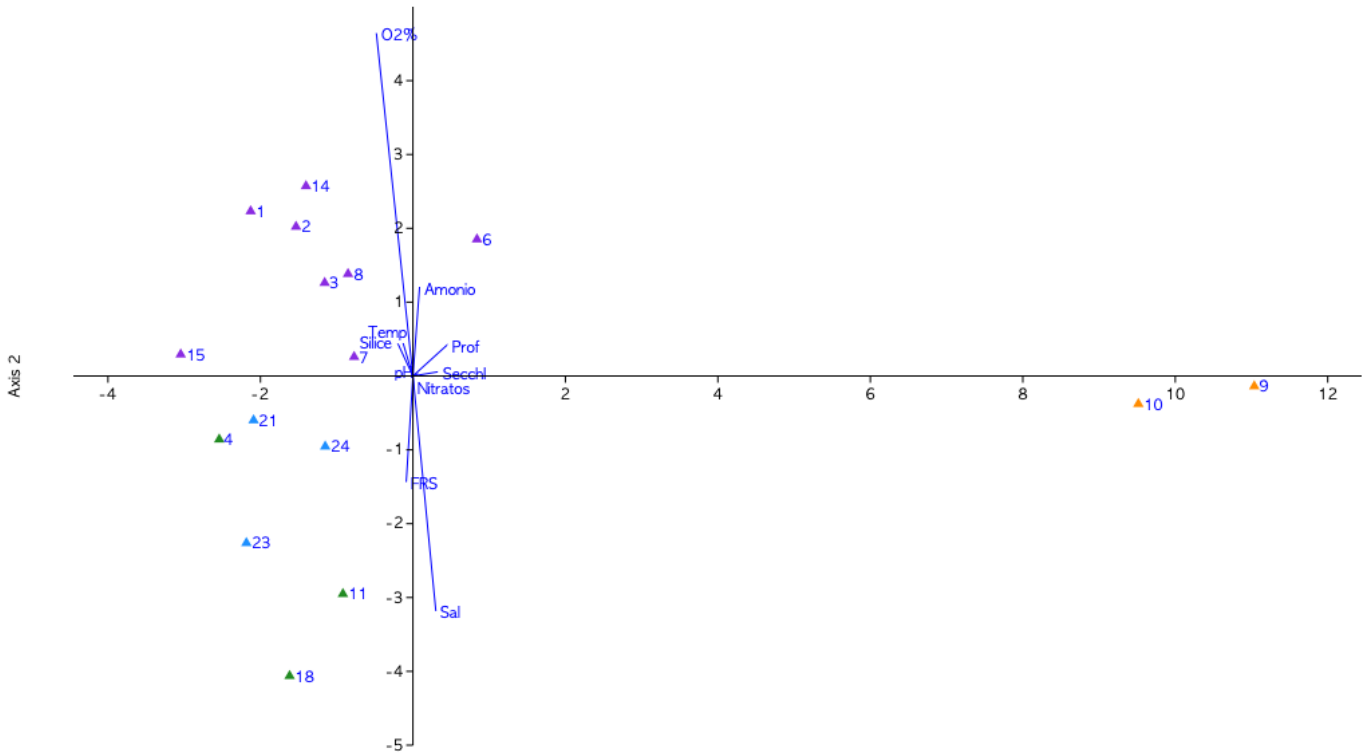


Figura 16.- Análisis de Discriminantes entre zonas de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes-2018. Zona I (verde), zona II (violeta), zona III (azul) y zona IV (naranja). Los vectores representan las variables de mayor importancia para la definición de los grupos.

La variación de la laguna durante la época de nortes se explicó en un 61.56% en los primeros tres ejes del ACP (Figura 17; Apéndice C.b.iii.1). Las variables de mayor importancia fueron la profundidad, transparencia, temperatura, nitratos + nitritos, el FRS, el porcentaje de saturación de oxígeno, sílice, y el amonio. Esto respalda la hipótesis en la que se esperaban diferencias significativas entre zonas.

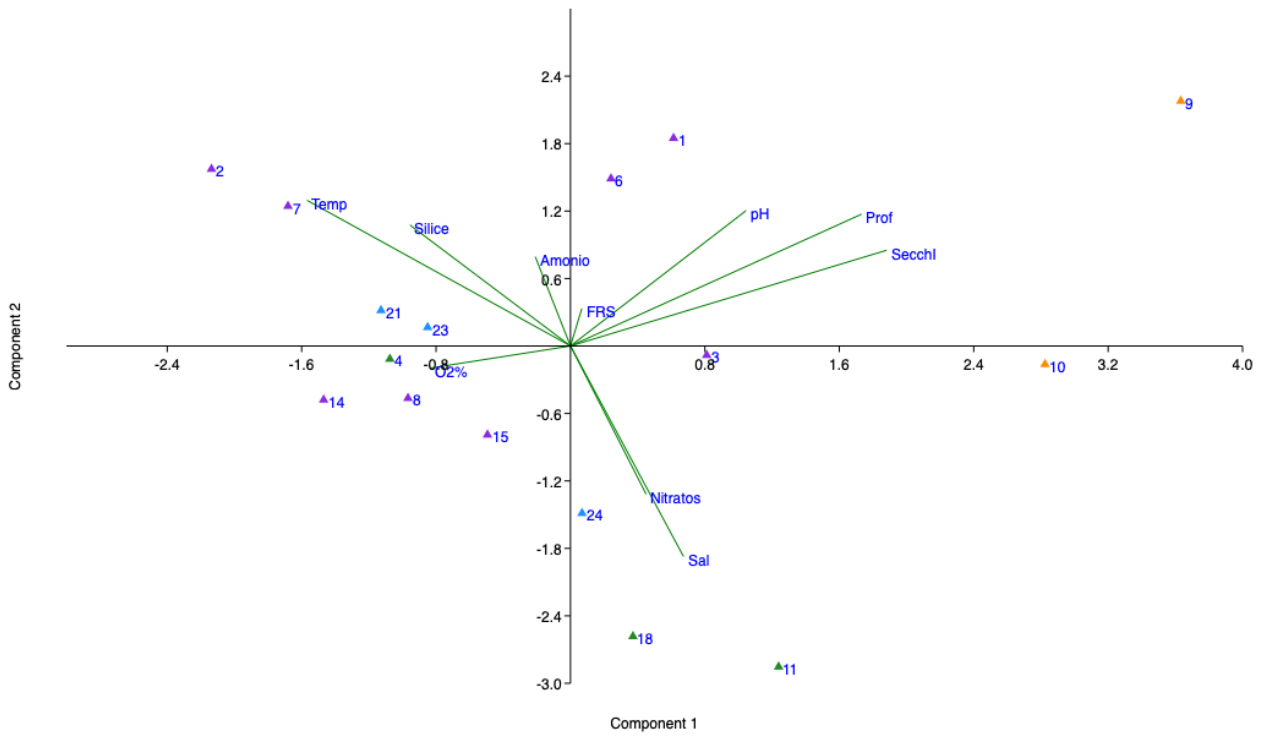


Figura 17.- Gráfico del Análisis de Componentes Principales de la Laguna de Términos, Campeche, durante la época de Nortes-2018. Triángulos verdes: ZI; triángulos morados: ZII; triángulos azules: ZIII; triángulos naranjas: ZIV.

4.2. Estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas

Se identificaron un total de 562 especies de diatomeas bentónicas en sedimentos de la laguna de Términos, pertenecientes a 125 géneros; de éstas, 155 se clasificaron como dominantes, 9 como constantes, 77 como ocasionales y 264 como raras. Del total de las especies identificadas 57 taxones no se observaron durante los conteos, en los cuales se contaron 44,496 valvas. El 88.80% de la abundancia estuvo constituida por los taxones clasificados como dominantes.

Los géneros mejor representados fueron *Navicula* con 78 taxones, *Amphora* con 57, *Nitzschia* con 48, *Mastogloia* con 34 y *Halamphora* con 26 taxones; en conjunto representan el 46.84% de la abundancia relativa (AR). Cabe destacar que, a pesar de estar representado por 34 especies, el género *Mastogloia* solo alcanzó una abundancia de 468 valvas (1.05% AR), muy por debajo de lo alcanzado por estos otros géneros que presentaron abundancias mayores a las 2,500 valvas (5.62% AR). Así, los géneros numéricamente más importantes fueron *Navicula* con 6,407 valvas (14.41% AR) y *Nitzschia* con 6,335 (14.24% AR), representando juntos el 28.63% de la AR. Algunos géneros estuvieron representados por pocas especies, pero alcanzaron un alto número de valvas, como en el caso de *Cymatosira* con dos taxones y 1,622 valvas (3.65% AR), *Amphicocconeis* con 3 taxones y 1,014 valvas (2.28% AR), *Haslea* representada por 6 taxones y 3,563 valvas (8.01% AR), y *Cyclotella* con 7 taxones y una abundancia de 1,857 individuos (4.18% AR).

La especie más abundante fue *Amicula speculum* (Witkowski) Witkowski, la única especie del género *Amicula* observada, la cual alcanzó una abundancia de 5,353 valvas (12.04% AR), seguida por *Haslea staurosigmoidea* F. A. S. Sterrenburg y M. A. Tiffany con 2,321 (5.22% AR) y *Amphora graeffeana* Hendey con 1,804 (4.06% AR). *Cymatosira belgica* Grunow, *Nitzschia tubícola* Grunow, *Nitzschia libertruthii* Rabenhorst y *Cyclotella atomus* Hustedt (Lamina 1 y 2) también presentaron más de mil valvas (2.25% AR). Juntas, estas especies representan el 32.82% de la abundancia estimada.

4.2.1. Caracterización temporal

Se presentaron solo 161 taxones durante las tres temporadas de muestreo. Las épocas de secas y lluvias compartieron 47 especies, secas y nortes 29, y nortes y lluvias 46. Se registraron solamente 85 durante secas, 49 durante lluvias y 87 solo durante nortes. La curva de acumulación de especies del análisis de rarefacción muestra que el esfuerzo de muestreo fue el adecuado durante las temporadas y en cada estación (Apéndice Gráficos c.b.iii.2).

Para llevar a cabo la comparación entre las temporadas climáticas se depuró la lista de especies, descartando aquellas que presentaron una abundancia relativa (AR) menor a 0.1% (menos de 43 valvas) y que se presentaron en menos del 8% (< 2) de las estaciones, quedando una lista de 135 taxones. Estas especies representaron el 91.64% de la AR.

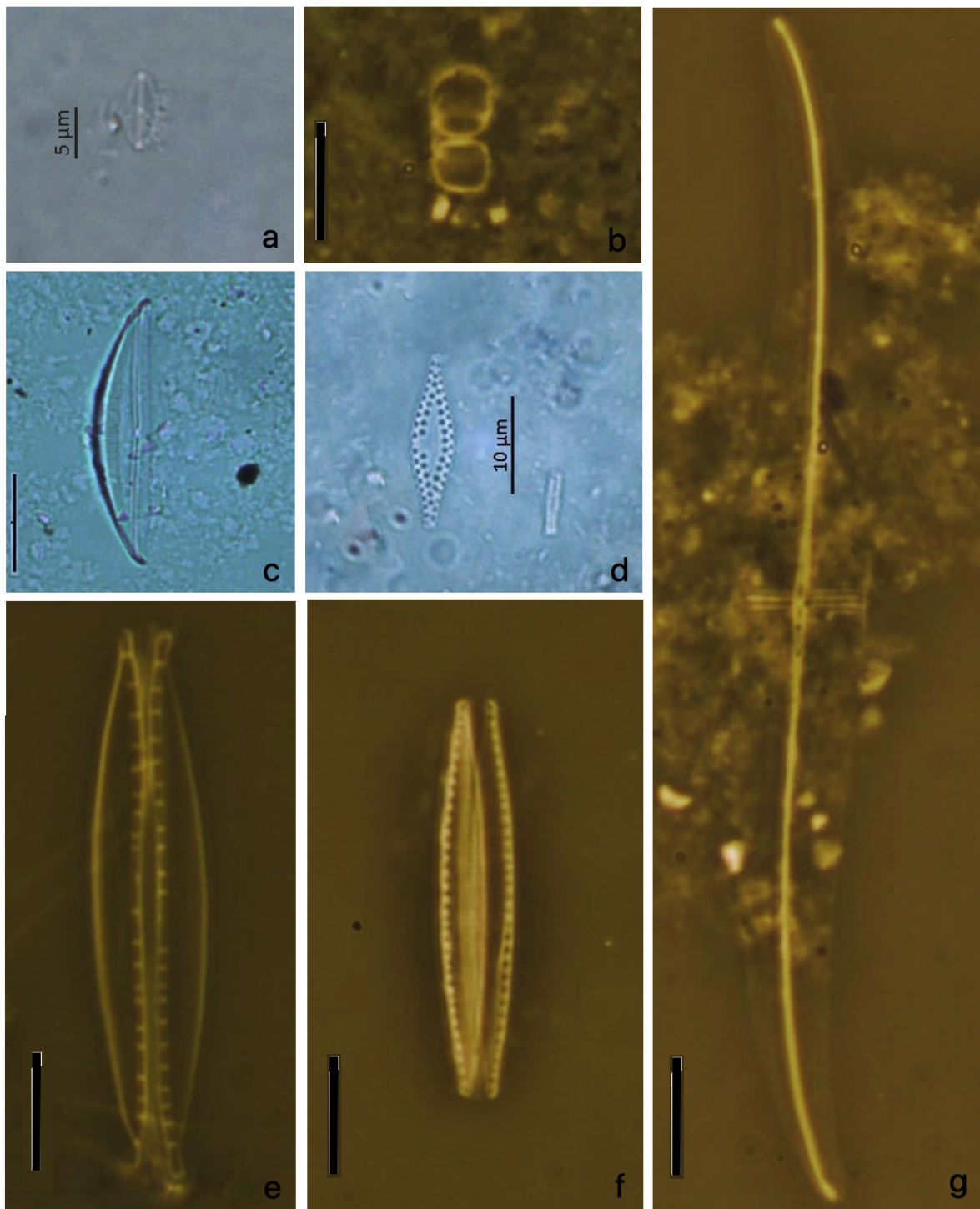


Lámina 1.- Especies identificadas en la Laguna de Términos, Campeche: a) *Amicula speculum*; b) *Cyclotella atomus*; c) *Amphora graeana*; d) *Cymatosira belgica*; e) *Nitzschia tubicula*; f) *Nitzschia libertruthii*; g) *Haslea staurosigoidea*. Escalas = 10um

El análisis de similitud de Bray-Curtis ayudó a reconocer una tendencia a la agrupación de estaciones cuya composición de especies fue similar (Figura 18). Destacó la separación de todas las estaciones de la temporada de Nortes, ya que ninguna fue agrupada con estaciones de otros muestreos, situación que sí se presentó con algunas estaciones de secas y lluvias, agrupándose las estaciones de la costa interna de isla del Carmen de ambos muestreos (estaciones 5, 18 y 25), y las estaciones de influencia del río Palizada (estaciones 2, 4, 7,8 de ambos muestreos); mientras que las estaciones ubicadas al este de la laguna se diferenciaron del resto, agrupándolos entre sí según su temporada. Sin embargo, esto se debe de tomar con precaución ya que el nivel de corte para la formación de los grupos fue muy bajo (0.4) y el valor de la correlación cofenética también (0.702), denotando una baja validación de los grupos.

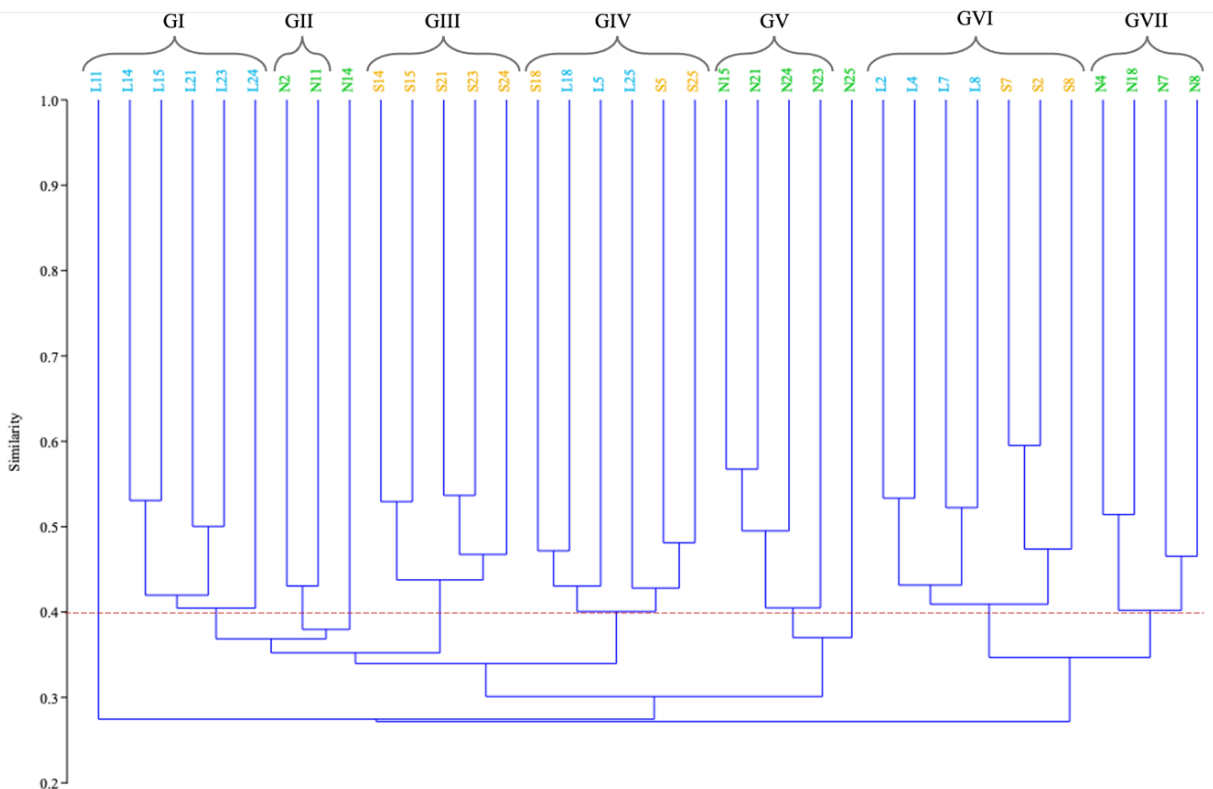


Figura 18.- Similitud de especies de diatomeas bentónicas entre temporadas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México. Azul: estaciones de la temporada de lluvias; naranja: secas; verde: nortes. Línea roja: nivel de corte. Correlación cofenética = 0.702

De acuerdo con lo anterior, existen diferencias significativas entre las temporadas de muestreo (ANOSIM, $R=0.352$ y $p=0.000$); estas diferencias se pueden observar en la ordenación de las estaciones arrojada por el NMDS, qué, aunque el nivel de stress fue alto (0.207), fue posible observar una tendencia en la ordenación (Figura 19) en la que la temporada de lluvias se sobrepone con nortes y secas, pudiéndose interpretar como una temporada de transición. Estos resultados respaldan la hipótesis planteada en la que se esperaban diferencias significativas entre las asociaciones de diatomeas de cada temporada, aunque solo para las temporadas de secas y nortes.

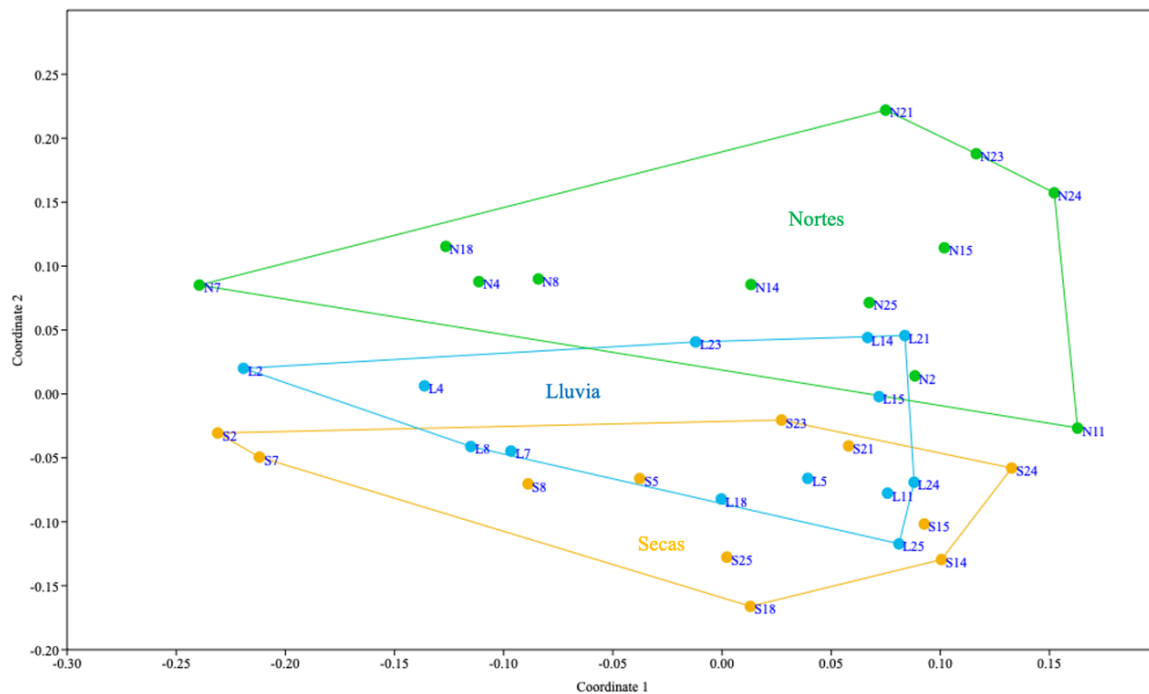
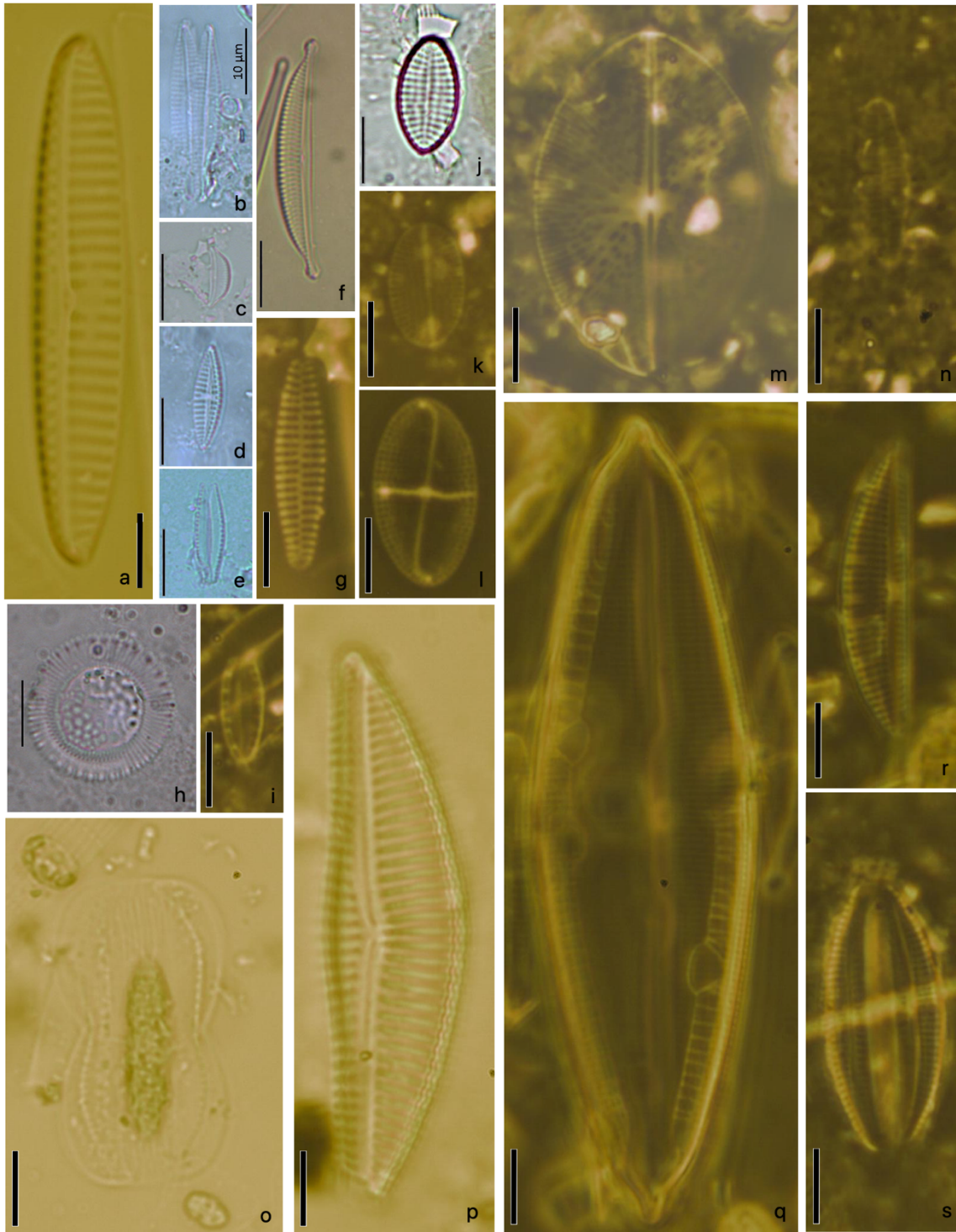


Figura 19.- Ordenación NMDS 3D que muestra la distribución de las estaciones con base en la estructura de la comunidad de diatomeas y su similitud para la Laguna de Términos, Campeche, México. Polígonos: grupo de estaciones correspondientes a cada temporada de muestreo. Secas: naranja; Lluvias: azul; Nortes: verde.

Con base en los resultados del análisis SIMPER, fue posible reconocer las especies causantes de las diferencias entre las temporadas. Secas y Lluvias se diferenciaron por *Nitzschia libertruthii*, especie que se presentó como muy abundante durante la época de secas, pero como rara en la época de lluvias; por *Cymatosira belgica*, cuya distribución varió en ambos muestreos, debido a su presencia en las estaciones 4 y 5 de la temporada de lluvias; y por *Tertiarius pygmeus* (Pantocsek) Hakansson y Khursevich especie considerada como fósil dulceacuícola, la cual fue dominante durante secas con 342 individuos (2.28% AR), y rara en lluvias con solo 49 valvas (0.33% AR) en todo el muestreo.

En el caso de las diferencias entre secas y nortes, *Nitzschia libertruthii* también fue el principal taxón responsable, debido a las altas abundancias que se presentaron durante secas que alcanzaron 1,145 valvas (7.64% AR), contra las 16 (0.11% AR) registradas durante lluvias; también por *Amicula specululum* que alcanzó una abundancia de 3,327 (22.19% AR) individuos durante nortes y solo 457 (3.05% AR) durante secas; y por *Navicula* sp. 6 que fue muy abundante durante nortes (623 valvas, 4.15% AR) y no se registró durante secas.

Lluvias y nortes se diferenciaron principalmente por presencia/ausencia de *Amicula specululum*, la cual fue muy abundante en ambas temporadas, pero que alcanzó una mayor abundancia durante nortes (3,327 valvas, 22.19% AR), comparada con la de lluvias (1,569 valvas, 10.49% AR); por *Haslea staurosigmaidea*, especie que se presentó como muy abundante durante nortes (1,860 valvas, 12.4% AR) y como rara durante lluvias (75 valvas, 0.5% AR); *Navicula* sp. 6 también influyó en las diferencias entre lluvias y nortes, debido a que durante nortes fue dominante y durante lluvias fue rara.



Lamina 2.- Especies identificadas para la Laguna de Términos, Campeche, México: a) *Navicula* sp.6; b) *Navicula ammophila*; c) *Halamphora tenerrima*; d) *Navicula perminuta*; e) *Nitzschia frustulum*; f) *Amphora coffeaeformis*; g) *Neodelphineis silenda*; h) *Cyclotella* cf. *striata*; i) *Nitzschia soratensis*; j) *Amphicocconeis discrepans*; k) *Cocconeis neothumensis*; l) *Cocconeis pseudonotata*; m) *Amphicocconeis disculoides*; n) *Achnanthes linearis*; o) *Entomoneis paludosa*; p) *Encyonema mesianum*; q) *Mastogloia erythraea* f.3; r) *Amphora helenensis*; s) *Amphora ovalis* var. *gracilis*.

Escalas = 10um.

Se reconocieron 52 taxones cuyos valores de IndVal fue mayor al 50% (Cuadro 5), de los cuales 31 fueron para la época de Nortes con un valor máximo de 90.67% para *Seminavis obtusiuscula*, la cual se registró exclusivamente durante esta temporada. Para secas se identificaron 12 especies de las cuales *Nitzschia libertruthii* presentó el valor más alto con un IndVal de 80.14%. En la época de lluvias se observó el menor número de taxones específicos (10), cuyo valor más alto fue de *Amicula specululum* (77.37%).

Cuadro 5.- Especies con valores altos del índice de Valor Indicador (IndVal) para las temporadas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores mayores a 45% que indican una afinidad por la especie hacia la época.

Taxones	IndVal		
	Secas 2017	Lluvias 2017	Nortes 2018
<i>Amphora archibaldii</i>	52.5	0.3	0.0
<i>Amphora coffaeiformis</i>	26.3	47.7	14.8
<i>Amphora helenensis</i>	4.6	45.4	6.7
<i>Chamaepinnularia soehrensii</i>	4.9	69.6	1.1
<i>Cocconeis placentula</i>	54.5	16.0	4.3
<i>Cyclotella</i> cf. <i>striata</i> var. 1	29.2	56.1	11.8
<i>Halamphora acutiuscula</i>	25.1	48.5	19.0
<i>Halamphora costata</i>	62.3	15.5	0.1
<i>Halamphora hybrida</i>	49.0	3.1	0.0
<i>Haslea howeana</i>	1.8	1.1	44.9
<i>Haslea staurosigmoidea</i>	10.6	1.0	60.1
<i>Haslea stundlii</i>	49.5	3.4	0.6
<i>Navicula</i> sp.6	0.0	0.5	81.6
<i>Nitzschia carnicobarica</i>	45.5	0.0	0.0
<i>Nitzschia</i> cf. <i>acicularis</i>	0.0	0.0	58.3
<i>Nitzschia frustulum</i>	68.4	14.9	4.8
<i>Nitzschia grossestriata</i>	57.7	0.8	1.5
<i>Nitzschia lanceolata</i> var. <i>incrustans</i>	2.3	1.2	50.5
<i>Nitzschia libertruthii</i>	79.1	0.5	0.1
<i>Nitzschia soratensis</i>	0.0	13.5	64.8
<i>Staurosirella gunter-grassi</i>	49.4	26.5	10.0
<i>Tabularia fasciculata</i>	10.6	54.4	0.0
<i>Tabularia ktenoeoides</i>	0.3	0.0	81.0
<i>Tertiarius pygmaeus</i>	63.6	2.9	0.0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	54.6	27.7	4.2

Estos resultados refutan la hipótesis planteada en la que se esperaba que los géneros *Achanthes*, *Cocconeis* y *Synedra* fueran los principales causantes de las diferencias en las estructuras de asociaciones de diatomeas de cada temporada. Ningún taxón perteneciente a estos géneros fue importante para referir las diferencias observadas.

4.2.2. Caracterización espacial

4.2.2.1 Temporada de Secas

Durante la temporada de secas se identificaron 324 taxones pertenecientes a 96 géneros, y se contaron un total de 14,519 valvas. Los géneros mejor representados fueron *Navicula*, *Amphora* y *Nitzschia* con 47, 35 y 30 taxones, respectivamente; conjuntamente alcanzan el 43.69% de la AR, siendo el género más abundante *Nitzschia* con 2,955 (20.35% AR); esto atribuible a *Nitzschia libertruthii* que fue la especie con el mayor número de valvas (1,154 o 7.89% AR) durante la temporada.

El 52.08% de la abundancia estuvo comprendida en 18 especies, las cuales se utilizaron para el cálculo del IVB (Cuadro 6). Destaca *Nitzschia frutulum* (Kützing) Grunow como la especie de mayor valor a pesar de que no registró un alto número de valvas, pero estuvo presente en la mayoría de las estaciones, faltando solo en la E23. *Nitzschia libertruthii* no se encontró en las estaciones 2 y 7, por lo que, a pesar de su abundancia, fue la segunda especie de mayor valor. Destaca la frecuencia de *Navicula ammophila* Grunow, la cual se presentó en todas las estaciones, aunque su abundancia fueron relativamente bajas (292 valvas, Apéndices a y b).

Durante este muestreo se alcanzó un valor de diversidad (H') promedio de 4.96 bits/taxón (Cuadro 7), con un valor máximo de 5.71 H' bits/taxón y una equidad (J') máxima de 0.81 en la estación 24 donde también se alcanzó la mayor riqueza (135 taxones). El valor de

diversidad más bajo ($H'=4.26$ bits/taxón) se presentó en la estación 7 con una equidad de 0.751 y una de las riquezas más bajas (51 especies).

La ZIII presentó el mayor número de especies (36) con valores IndVal mayores al 50% (Cuadro 8). La ZIII presentó 18 taxones mayores al 50%, de los cuales cinco obtuvieron un valor del 100%; en la ZII se presentaron 11 especies, y siete en la ZI.

Cuadro 6.- Valores calculados del índice de valor biológico (IVB) para las especies de diatomeas bentónicas más abundantes en la temporada de secas-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México.

Taxones	Abundancia	IVB
<i>Nitzschia frustulum</i>	501	135
<i>Nitzschia libertruthii</i>	1145	132
<i>Navicula ammophila</i>	292	118
<i>Cymatosira belgica</i>	720	116
<i>Amicula specululum</i>	457	114
<i>Amphora coffeaeformis</i>	254	106
<i>Navicula apta</i>	220	106
<i>Staurosirella gunter-grassi</i>	505	105
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	266	103
<i>Cyclotella</i> cf. <i>striata</i> var. <i>micronulata</i>	228	102
<i>Nitzschia tubicola</i>	378	96
<i>Navicula agnita</i>	219	92
<i>Tertiarius pygmaeus</i>	342	90
<i>Haslea staurosigmoidea</i>	386	87
<i>Cyclotella atomus</i>	332	82
<i>Neodelphineis silenda</i>	437	77
<i>Amphora graeffeana</i>	543	60
<i>Halamphora semperpalorum</i>	331	27

Cuadro 7.- Valores calculados mediante los índices de diversidad en la época de secas-2017 para cada estación de muestreo en la Laguna de Términos, Campeche, México. Solo la riqueza presentó diferencias significativas entre las zonas II y III.

	Estaciones											Promedio
	2	5	7	8	14	15	18	21	23	24	25	
Zonas	II	I	II	II	II	II	I	III	III	III	III	
Riqueza (S)	50	86	51	87	90	92	99	101	97	135	115	89
Abundancia	931	1356	827	1577	1250	1665	1356	1484	1317	1449	1297	1319
Dominancia (λ)	0.07	0.05	0.09	0.06	0.11	0.04	0.08	0.07	0.06	0.04	0.06	0.07
Shannon (H')	4.47	4.99	4.26	4.95	4.50	5.38	5.04	4.93	5.03	5.71	5.30	4.96
Equidad (J')	0.79	0.78	0.75	0.77	0.69	0.83	0.76	0.74	0.76	0.81	0.77	0.77

El análisis de similitud de Bray-Curtis permitió reconocer tres grupos de estaciones (Figura 20), agrupando aquellas localizadas cerca de la desembocadura del río Palizada (GII), las localizadas en la costa interna de la isla del Carmen e isla Aguada (GI), y aquellas estaciones presentes en la zona de influencia marina (GIII).

La mayoría de las estaciones coincidieron con su zonación previa, a excepción de las estaciones 14 y 15 que pertenecen a la zona de influencia dulceacuícola (ZII) que fueron agrupadas con las estaciones de la zona de influencia marina en el lado este de la laguna (ZIII); y la estación 25, que pertenece a la ZIII y fue agrupada con las estaciones de la ZI en la costa interna de la Isla del Carmen.

Cuadro 8.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para las zonas de la época de secas-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores IndVal mayores al 50%. D:dulceacuícola; M:marino; E:estuarino. En negriya valores mayores a 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona.

Taxones corregido	Ambiente	Secas		
		IndVal ZII	IndVal ZI	IndVal ZIII
<i>Achnanthydium alteragracillimum</i>	D	2.78	0.00	83.33
<i>Actinoptychus senarius</i>	M	66.67	0.00	0.00
<i>Halamphora hyalina</i> var. <i>inpalpabilis</i>	M	0.00	77.42	0.00
<i>Amphora incredulata</i>	M	25.00	0.00	50.00
<i>Amphora lineolata</i>	M/D	3.33	20.00	60.00
<i>Amphora micrometra</i>	M	56.82	0.00	29.55
<i>Amphora nana</i>	-	50.00	0.00	0.00
<i>Amphora ovalis</i> var. <i>gracilis</i>	M/D	0.00	0.00	100.00
<i>Biremis lucens</i>	M	0.00	0.00	66.67
<i>Cocconeis pseudonotata</i>	M	0.00	100.00	0.00
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	M	0.00	66.67	0.00
<i>Dickieia subinflata</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Entomoneis tenuistriata</i>	-	0.00	2.47	96.30
<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>minor</i> f. <i>intermedia</i>	D	0.00	0.00	50.00
<i>Frustulia interposita</i>	D	0.00	100.00	0.00
<i>Grammatophora angulosa</i> var. <i>pacifica</i>	M	0.00	66.67	0.00
<i>Grammatophora hamulifera</i>	M	83.33	0.00	0.00
<i>Grammatophora oceanica</i>	M	0.00	50.00	50.00
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	D	0.00	0.00	100.00
<i>Halamphora turgida</i>	E	0.00	0.00	50.00
<i>Haslea howeana</i>	M	1.19	0.00	78.57
<i>Licmophora dalmatica</i>	M	0.00	66.67	0.00
<i>Mastogloia binotata</i>	M	50.00	0.00	0.00
<i>Mastogloia borneensis</i>	M	50.00	0.00	0.00
<i>Navicula aquaedurae</i>	D	0.00	0.00	100.00
<i>Navicula cremorne</i> var. <i>salinarum</i>	D	0.00	0.00	100.00
<i>Navicula rogersii</i>	M	0.00	0.00	100.00
<i>Navicula</i> sp.2	-	50.00	0.00	0.00
<i>Navicula veneta</i>	E	0.00	0.00	50.00
<i>Navicula zostereti</i> f. <i>minor</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Nitzschia pusilla</i>	D	0.00	0.00	50.00
<i>Pleurosigma salinarum</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Psammodiscus nitidus</i>	M	50.00	0.00	0.00
<i>Staurophora salina</i>	E	100.00	0.00	0.00
<i>Surirella atomus</i>	M	65.54	0.00	0.85

Basado en la agrupación anterior, las comunidades presentaron diferencias significativas entre zonas (ANOSIM, $R = 0.907$, $p = 0.000$), dichas diferencias se observaron en la ordenación dada por el análisis NMDS (stress: 0.149; Figura 21). Esto permite respaldar la hipótesis planteada en la que se espera que las zonas presenten diferencias significativas entre sí.

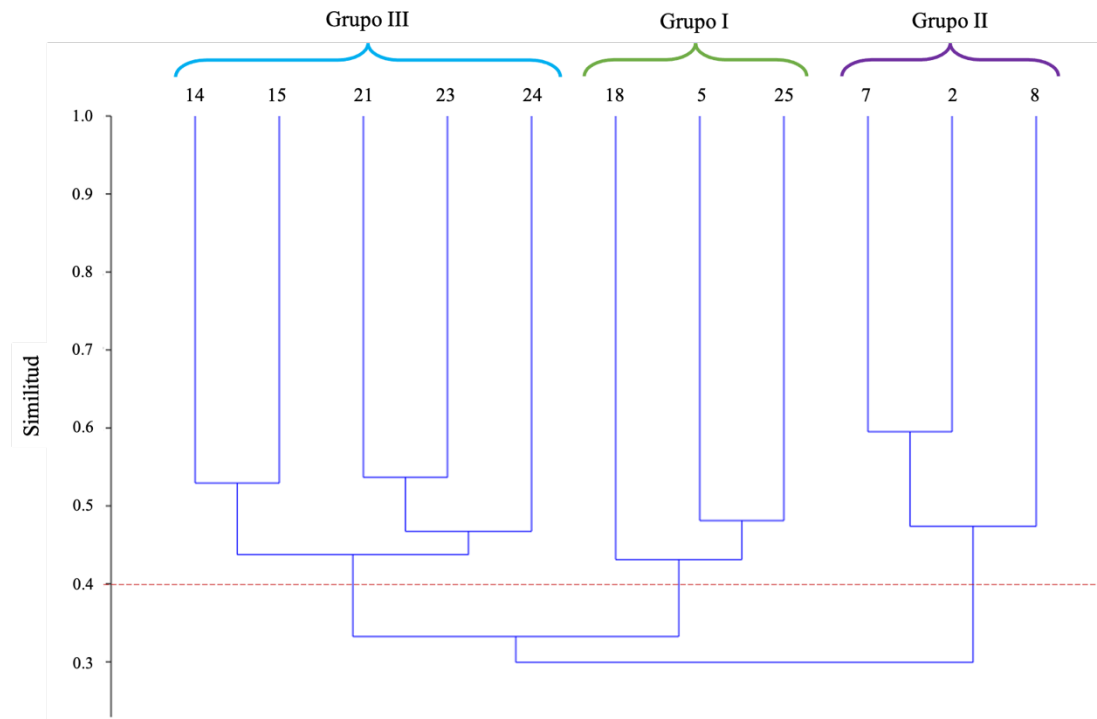


Figura 20.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de secas-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México. G1: costa interna de la isla del Carmen; GII: zona de influencia dulceacuícola; GIII; zona de influencia marina. Correlación cofenética = 0.779

Con base en los resultados del análisis SIMPER, las principales especies causantes de las diferencias observadas entre el G1 y GII fueron: *Tertiarius pygmaeus* que se presentó como frecuente en el G2 con una abundancia máxima de 125 valvas (0.08% AR) en la estación 8, y como rara en el G1 con un máximo de 14 individuos (0.09% AR) en la estación 5 y ausente en la E18; *Halamphora tenerrima* (Aleem & Hustedt) Levkov, que

estuvo ausente en el GII y se presentó como rara en el GI con una abundancia máxima de 34 valvas (0.23% AE) en la E5 y mínima de 6 valvas (0.04% AR) en la E25; y *Nitzschia tubicola*, la cual fue rara con una abundancia promedio de 57 valvas (0.39% AR) en el GII y solo se presentó en la estación 5 del GI con 24 valvas (0.17% AR).

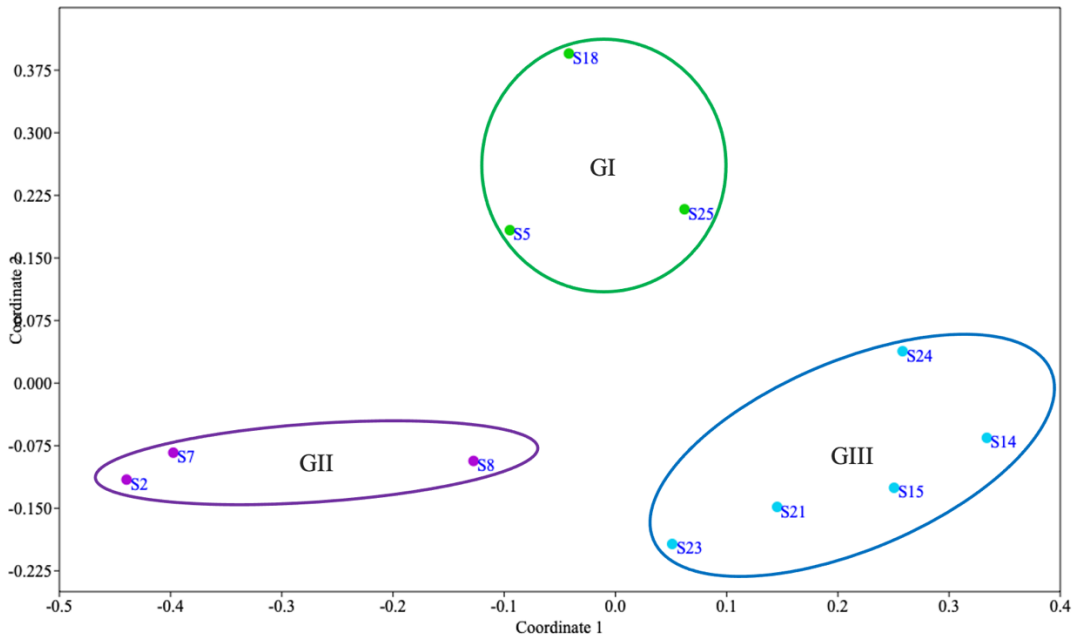


Figura 21.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud para la Laguna de Términos, Campeche, México durante la época de secas-2017. Elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en índice de Bray-Curtis.

En el caso de los grupos II y III, las diferencias estuvieron dadas principalmente por *Nitzschia libertruthii*, la cual solo se presentó en la E8 del GII con 134 valvas, y fue abundante en el GIII con un máximo de 321 valvas en la E21 y una mínima de 35 en la E23; *Cymatosira belgica* que fue abundante en el GII con un máximo de 217 valvas (1.50% AR) en la E8 y una mínima de 49 (0.34% AR) en la E2, presentándose como rara en el GIII, estando ausente en las estaciones 14 y 24; y *Campylosira* sp.1, que fue rara en el GII con una abundancia promedio de 27 valvas (0.19% AR), y no se presentó en el GIII.

Para los grupos I y III, las especies más importantes para las diferencias observadas fueron: *Neodelphineis silenda* (M. H. Hohn & J. Hellerman) N. Desianti & M. Potapova que presentó un máximo de 242 valvas (1.67% AR) en la E25 y una mínima de 26 (0.18% AR) en la E18, sin registro en las estaciones del GIII; y *Haslea staurosigmoidea* que no se presentó en el GI y tuvo una abundancia variable en el GIII con un valor máximo de 145 valvas (0.99% AR) en las estaciones 21 y 23, y un mínimo de 1 (0.01% AR) en la E14. Esto refuta la hipótesis, ya que ninguna de las especies responsables de las diferencias perteneció a los géneros *Achnanthes*, *Cocconeis* o *Synedra*.

4.2.2.2 Temporada de Lluvias

Durante la temporada de lluvias se registraron 300 taxones comprendidos en 81 géneros, con un conteo total de 14,973 valvas. Los géneros que presentaron un mayor número de especies fueron *Navicula*, *Amphora* y *Nitzschia* con 52, 29 y 26 especies, respectivamente. Los tres fueron los géneros más abundantes representando juntos el 39.82% de la abundancia relativa.

En esta temporada la especie más abundante, *Amicula specululum*, también obtuvo el puntaje más alto en el IVB (Cuadro 9), presentándose en todas las estaciones. Con el IVB destacaron aquellos taxones que tuvieron una mayor frecuencia durante el muestreo, posicionando en segundo y tercer lugar a *Cyclotella* cf. *striata* var. *micronulata* Chi & Chang y *Halamphora coffeiformis* (C. Agardh) Kützing, respectivamente, cuyas abundancias fueron menores a las 450 valvas (3% AR), pero solo estuvieron ausentes en máximo dos estaciones. Es debido a la ausencia en más del 30% de las estaciones lo que ocasionó que las especies con un número de valvas por encima de las 700 (4.68% AR), como *Amphicocconeis* cf. *disculoides* (Hustedt) Stefano & Marino, *Cymatosira belgica* y *Nitzschia tubicola*, tuvieran valores de importancia bajos.

La época de secas presentó un valor de diversidad (H') promedio de 4.21 bits taxón⁻¹ con una equidad promedio de 0.68 (Cuadro 10). La diversidad más alta (5.67 bits taxón⁻¹) se registró en la estación 25 con equidad alta (J') y baja dominancia (λ) (0.82 y 0.03), y con la mayor riqueza. La diversidad (1.57 bits taxón⁻¹) y riqueza (35 taxones) más bajas se presentaron en la estación dos, con una baja equidad (0.31) y alta dominancia (0.65). No se presentaron diferencias significativas de los índices de diversidad entre las zonas de muestreo.

Cuadro 9.- Valores calculados del IVB de las especies de las especies más abundantes de diatomeas bentónicas en la temporada de lluvias-2017 para la Laguna de Términos, Campeche, México.

Taxones corregido	Abundancia	IVB
<i>Amicula specululum</i>	1569	127
<i>Cyclotella</i> cf. <i>striata</i> var. <i>micronulata</i>	398	122
<i>Amphora coffaeiformis</i>	409	117
<i>Staurosirella gunter-grassi</i>	240	113
<i>Halamphora acutiuscula</i>	299	112
<i>Nitzschia tubicola</i>	786	100
<i>Cyclotella atomus</i>	383	97
<i>Navicula apta</i>	269	95
<i>Cymatosira belgica</i>	775	88
<i>Navicula perminuta</i>	303	70
<i>Amphora helenensis</i>	269	69
<i>Amphora graeffeana</i>	633	62
<i>Astartiella</i> cf. <i>bahuensis</i>	386	35
<i>Amphicocconeis discoloides</i>	710	19

Cuadro 10.- Valores calculados mediante los índices de diversidad de la época de lluvia-2017 para las asociaciones de diatomeas bentónicas en la Laguna de Términos, Campeche, México. No se presentaron diferencias significativas entre las zonas.

	Estaciones												Promedio	
	2	4	5	11	7	8	14	15	18	21	23	24		25
Riqueza (S)	35	54	76	53	81	53	65	106	70	69	69	84	116	72
Abundancia	1299	529	132 6	134 0	142 6	627	126 2	126 5	120 1	129 2	829	133 0	1247	1152
Dominancia (λ)	0.65	0.23	0.05	0.29	0.12	0.15	0.24	0.03	0.12	0.04	0.15	0.09	0.03	0.17
Shannon (H')	1.57	3.68	5.06	3.12	4.36	3.97	3.56	5.57	4.28	5.05	4.26	4.62	5.67	4.21
Equidad (J')	0.31	0.64	0.81	0.54	0.69	0.69	0.59	0.83	0.7	0.83	0.7	0.72	0.83	0.68

La ZIII presentó 17 especies con valores de IndVal mayores al 50% (Cuadro 11), seguido por la ZII con seis especies y por la ZI con cinco. Se presentaron cinco especies cuyos valores de IndVal fueron del 100%: *Achnanthes linearis* (W. Smith) Grunow, *Cocconeis pseudonotata* M. De Stefano & D. Merino, *Mastoglia erythraea* Grunow f.3 y *Navicula veneta* Kützing para la ZIII; y *Cocconeis neothumensis* Krammer para la ZII.

Las estaciones se pudieron clasificar en tres grupos con base en los resultados del análisis de similitud de Bray-Curtis (Figura 22), los cuales coincidieron con los grupos obtenidos durante la época de secas. La mayoría de las estaciones se clasificaron según su zona de ubicación, a excepción de la estación 4, la cual se localiza en la ZI, pero fue agrupada con las estaciones de la ZII (GII); las estaciones 14 y 15, que se localizan en la zona de influencia dulceacuícola (ZII) y fueron clasificadas con las estaciones de la ZIII (GIII); la estación 25 que se localiza en la ZIII pero fue clasificada como parte de la ZI (GI); y la estación 11, la cual está localizada en la Z1 pero no pertenece a ninguno de los grupos formados.

Para evaluar si existen diferencias significativas entre los grupos formados se eliminó la estación 11 del análisis ANOSIM por tener una gran influencia sobre la ordenación al tratarse de un caso extraordinario. El análisis nos dice que dichas diferencias si existen (R=0.919, p=0.000) y son posibles de observar con la ordenación dada por el análisis NMDS (stress: 0.211; Figura 23).

Basado en el análisis SIMPER las diferencias que existen entre el GI y el GII están dadas por *Cymatosira belgica*, la cual solo fue registrada una vez en las estaciones 18 y 25 del GI, mientras que en el GII se presentó como abundante en las estaciones 7 y 8 (418 y 221 valvas, respectivamente) y como frecuente en las estaciones 2 y 4 (50 y 34 valvas, respectivamente); *Cyclotella atomus*, especie que no se registró en el GI y se presentó como frecuente en la mayoría de las estaciones del GII (24 valvas en promedio), a excepción de la estación 7 donde se presentó como dominante con 203 individuos (1.36% AR); y *Amphora helenensis* M. H. Giffen que alcanzó una abundancia máxima en el GI de 178 valvas (1.89% AR) en la estación 5, y 12 y 13 valvas (0.09% AR) en las estaciones 18 y 25, respectivamente, mientras en el GII no se registró.

Cuadro 11.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para especies de diatomeas bentónicas en las zonas de la época de lluvias-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores IndVal mayores al 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona. D: dulceacuícola; M: marino; E: estuarino.

Taxones	Ambiente	Lluvias		
		IndVal ZI	IndVal ZII	IndVal ZIII
<i>Achnantheidium lineare</i>	D	0.00	0.00	100.00
<i>Amphora cingulata</i>	M	5.13	0.00	69.23
<i>Amphora helenensis</i>	M	54.52	0.68	7.06
<i>Biremis circumtexta</i>	M/D	0.00	66.67	0.00
<i>Chamaepinnularia clamans</i>	D	55.39	2.82	0.00
<i>Cocconeis neothumensis</i>	M/D	0.00	100.00	0.00
<i>Cocconeis pseudonotata</i>	M	0.00	0.00	100.00
<i>Craticula sardiniana</i>	D	0.00	0.00	50.00

Continuación Cuadro 11

<i>Fallacia schaeferae</i>	M	0.00	62.96	37.04
<i>Grammatophora angulosa</i> var. <i>pacifica</i>	M	0.00	83.33	0.00
<i>Grammatophora oceanica</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Halamphora caribaea</i>	M	50.00	0.00	0.00
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 1	M	0.00	0.00	50.00
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 2	-	0.00	5.95	92.86
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 3	-	0.00	0.00	100.00
<i>Mastogloia ovalis</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Mastogloia pumila</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Mastogloia pusilla</i> var. <i>subcapitata</i>	M/D	0.00	0.00	75.00
<i>Navicula</i> cf. <i>microdigitoradiata</i>	M/D	0.00	0.00	75.00
<i>Navicula</i> cf. <i>pennata</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>subsalina</i>	M/D	0.00	0.00	50.00
<i>Navicula pennata</i>	M	52.63	3.51	0.00
<i>Navicula</i> sp.2	-	0.00	83.33	0.00
<i>Navicula veneta</i>	E	0.00	0.00	100.00
<i>Nitzschia bilobata</i> var. ?	M	0.00	0.00	50.00
<i>Nitzschia perminuta</i>	D	6.60	77.23	1.49
<i>Stauropora salina</i>	E	66.67	0.00	0.00

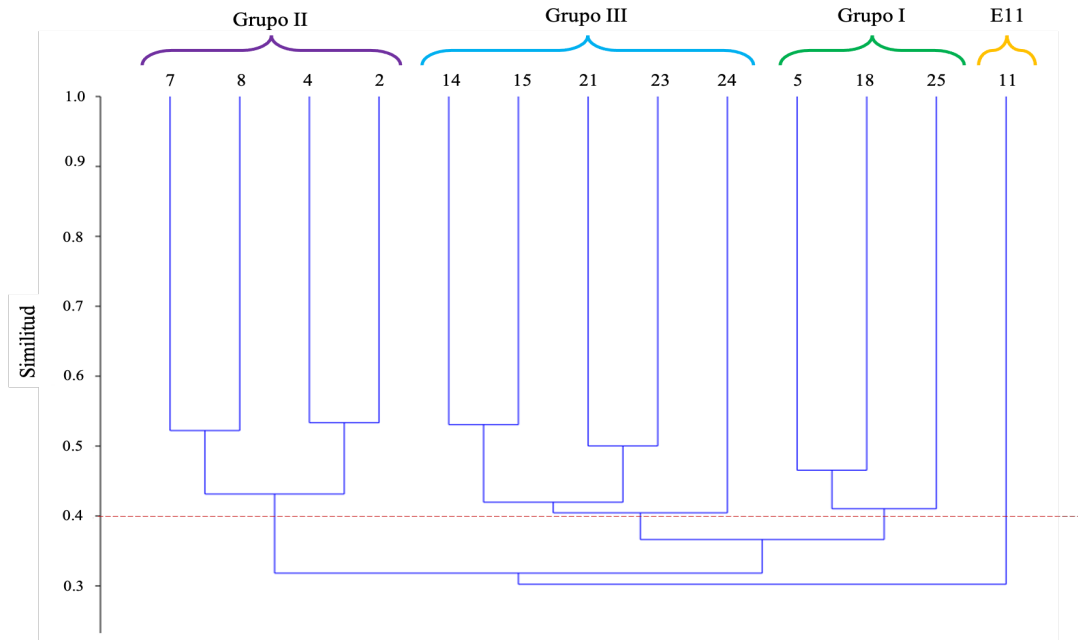


Figura 22.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de lluvias-2017 en la Laguna de Términos, Campeche, México. G1: costa interne de la isla del Carmen, Campeche; GII: zona de influencia dulceacuícola; GIII; zona de influencia marina. Correlación cofenética = 0.783

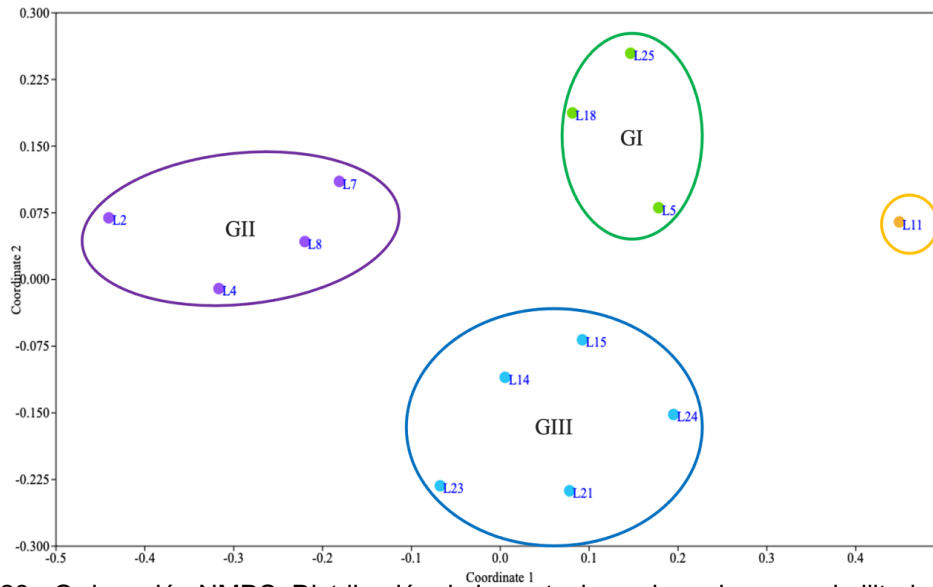


Figura 23.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud de especies de diatomeas bentónicas para la Laguna de Términos, Campeche, México. Las elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en el índice de Bray-Curtis.

En el caso de las diferencias entre los grupos I y III, principalmente se dieron a causa de *Nitzschia tubicola*, especie que no se registró en las estaciones del GI y la cual alcanzó un máximo de 309 valvas (2.06% AR) en las estaciones 23 y 24, mientras que no se registró en la estación 21 y solo alcanzó abundancias de 50 (0.33% AR) y 53 (0.35% AR) células en las estaciones 14 y 15, respectivamente; *Navicula perminuta* Grunow que estuvo ausente en el GI y solo se presentó como rara en las estaciones 21 y 23 del GIII; y por *Nitzschia soratensis* E. A. Morales & M. L. Vis, especie que alcanzó en el GI un máximo de 107 individuos (0.71% AR) en la estación 5 y se clasificó como rara en las estaciones 18 y 25 con abundancias menores a 19 valvas (0.13% AR), mientras en el GIII solo se presentaron dos valvas (0.01% AR) en la estación 23.

La razón por la que la estación 11, ubicada en la ZI, no perteneciera al GI estuvo dada principalmente por *Amphicocconeis discrepans* (A. W. F. Schmidt) Riaux-Gobin et al. que presentó una abundancia promedio de 11 valvas en el GI y 19 en la estación 11; por *Navicula perminuta*, la cual se presentó como frecuente en el GI, con una abundancia

máxima de 115 en la estación 18 y una mínima de 37 individuos en la estación 25, mientras que no se registró en la estación 11; y por *Amphora ovalis* var. *gracilis* (Ehrenberg) Van Heurck la cual solo se presentó en la E11.

Las diferencias entre el GII y GIII están explicadas principalmente por *Cymatosira belgica*, la cual en el GII fue dominante en las estaciones 7 y 8, y ocasional en las estaciones 2 y 4; por otro lado, en el GIII su abundancia máxima fue de 47 valvas en la estación 15, mientras que fue rara o no se presentó en el resto de las estaciones de este grupo; por *Amphora graeffeana*, especie que no se registró en las estaciones del GII y se presentó como rara en la mayoría de las estaciones del GIII a excepción de la E14 donde alcanzó 592 valvas (3.95% AR); y por *Amicula specululum*, que alcanzó un máximo de 1,145 valvas (7.65% AR) en la estación 2 y de 240 (1.6% AR) en la estación 4, bajando a 46 (0.31% AR) y 8 valvas (0.05% AR) en las estaciones 7 y 8, respectivamente; por otro lado, esta especie se presentó como rara en las estaciones 14, 15 y 21, y como ocasionales en las estaciones 23 y 24 del GIII.

Esto ayuda a respaldar la hipótesis planteada sobre las diferencias esperadas entre las zonas, sin embargo, se refuta la hipótesis en la que se esperaba que especies de los géneros *Achnathes*, *Cocconeis* o *Synedra* sean los responsables de dichas diferencias.

4.2.2.3 Temporada de Nortes

Durante la temporada de nortes se contaron un total de 14,994 valvas y se identificaron 323 taxones pertenecientes a 90 géneros. Los géneros más ricos fueron *Navicula* con 56 especies, *Nitzschia* con 33 y *Amphora* con 29. Estos tres géneros fueron de los más abundantes con 2,192 (14.62% AR), 1,730 (11.54% AR) y 1,619 valvas (10.79% AR), respectivamente (Apéndice b) representado en conjunto el 36.95% de la abundancia relativa total. Sin embargo, no fueron los géneros con el mayor número de valvas, siendo superados por *Haslea* con cinco especies y 2,844 valvas (18.97% AR), y por *Amicula specululum*, único representante del género *Amicula*, cuya abundancia alcanzó las 3,327 valvas (22.19% AR), sumando juntas el 41.16% de la AR.

En esta temporada, el 50% de la abundancia relativa estuvo dada por solo siete especies para las cuales se calculó el IVB (Cuadro 12). La especie con el mayor puntaje fue *Nitzschia soratensis* a pesar de ser la de menor abundancia, pero fue la más constante al solo estar ausente en la estación 4. Por otro lado, *Amicula specululum*, obtuvo un puntaje medio, debido a que no se presentó en las estaciones de la zona marina (estación 18, 23, 24 y 25).

Cuadro 12.- Valores calculados de IVB de las especies más abundante en la temporada de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México.

Taxones corregido	Abundancia	IVB
<i>Nitzschia soratensis</i>	367	54
<i>Haslea staurosigmoidea</i>	1860	52
<i>Navicula</i> sp. 6	623	51
<i>Amicula specululum</i>	3327	40
<i>Amphora graeffeana</i>	628	29
<i>Haslea howeana</i>	579	28
<i>Haslea ostrearia</i>	381	21

Se registró un valor de diversidad promedio de 3.87 bits taxón⁻¹, con una equidad promedio de 0.61 (J'). La diversidad más alta encontrada fue en la estación 11 con un valor de 5.51 H' bits taxón⁻¹, esto coincidió con la mayor riqueza (117 taxones). Por otro lado, la diversidad y equidad más bajas (2.03 H' bits taxón⁻¹ y 0.36J') se dio en la estación 7 donde también se registró la menor riqueza (51 taxones; Cuadro 13). No se presentaron diferencias significativas de los índices de diversidad entre las zonas de muestreo.

Cuadro 13.- Valores calculados de los índices de diversidad de la época de nortes-2018 en laguna de Términos, Campeche, México. No se presentaron diferencias significativas entre las zonas.

	Estaciones												Promedio
	2	4	7	8	11	14	15	18	21	23	24	25	
Riqueza (S)	91	65	51	73	117	89	69	55	53	85	80	97	77
Abundancia	133 3	126 8	121 4	132 3	124 8	116 6	124 0	124 4	150 3	750	140 1	130 4	1250
Dominancia (A)	0.12	0.34	0.57	0.32	0.04	0.07	0.19	0.52	0.31	0.05	0.08	0.08	0.22
Shannon (H')	4.40	3.16	2.03	3.22	5.51	4.76	3.85	2.12	2.78	5.08	4.57	4.93	3.87
Equidad (J')	0.68	0.52	0.36	0.52	0.8	0.73	0.63	0.37	0.49	0.79	0.72	0.75	0.61

La ZII presentó el mayor número de especies (11) con valores de IndVal mayores al 50% de las cuales *Fallacia chaeferae* (Hustedt) D. G. Mann presentó un valor de 100%. Los taxones *Entomoneis paludosa* y *M. erythraea* f.1 presentaron valores del 100% para la ZIII, en la cual se registraron diez especies con valores IndVal altos. En la ZI se reconocieron cinco taxones con valores mayores al 50% (Cuadro 14), con un valor máximo del 100% por parte *Encyonema mesianum* (Cholnoky) D. G. Mann.

El análisis de similitud de Bray-Curtis separó tres grupos en los cuales se distribuyen las estaciones durante la temporada de nortes (Figura 24). En esta temporada los grupos no coincidieron del todo con los formados en las temporadas anteriores. El grupo que se mantuvo constante fue el III en el que se agrupó a la estación 15, ubicada en la ZII, con las estaciones ubicadas en el ZIII. El GI se compuso por la estación 2 ubicada en la

desembocadura del río Palizada (ZII) y por la E11 la cual se encuentra al centro de la costa interna de la isla del Carmen (ZI). El GII se compuso por las estaciones 7 y 8 ubicadas en la ZII, y por las estaciones 4 y 18 de la ZI. Las estaciones 14 y 25 no fueron agrupadas en ninguno de los grupos formados.

Cuadro 14.- Valores calculados del índice de Valor Indicador (IndVal) para las zonas durante la época de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México. En negritas los valores IndVal mayores al 50% que indican una afinidad por la especie hacia la zona. D: dulceacuícola; M: marino; E: estuarino.

Taxones	Ambiente	Nortes		
		IndVal ZII	IndVal ZI	IndVal ZIII
<i>Actinodiscus tener</i>	-	9.09	90.91	0.00
<i>Amphora cingulata</i>	M	60.00	0.00	0.00
<i>Bacillaria paxillifera</i>	E	0.00	0.00	50.00
<i>Biremis circumtexta</i>	M/D	6.45	9.68	74.19
<i>Caloneis cf. absoluta</i>	-	0.00	66.67	0.00
<i>Cocconeis neothumensis</i>	M/D	66.67	9.52	11.90
<i>Dickieia subinflata</i>	M	80.00	0.00	0.00
<i>Encyonema mesianum</i>	D	0.00	100.00	0.00
<i>Entomoneis paludosa</i>	M	0.00	0.00	100.00
<i>Fallacia schaeferae</i>	M	100.00	0.00	0.00
<i>Halamphora kolbei</i>	M	0.00	0.00	50.00
<i>Haslea howeana</i>	M	55.85	0.12	0.00
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 1	M	0.00	0.00	75.00
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 2	-	0.00	0.00	100.00
<i>Mastogloia pusilla</i> var. <i>pusilla</i>	-	60.00	0.00	0.00
<i>Navicula ammophila</i>	M/D	4.49	5.24	52.25
<i>Navicula cf. perminuta</i>	M/D	74.07	0.00	0.00
<i>Navicula lusoria</i>	M	0.00	60.61	4.55
<i>Navicula normaloides</i>	M/D	0.00	0.00	75.00
<i>Navicula</i> sp.10	-	0.00	0.00	50.00
<i>Navicula zostereti</i> f. <i>minor</i>	M	0.00	66.67	0.00
<i>Nitzschia acicularis</i> var. <i>closterioides</i>	D	80.00	0.00	0.00
<i>Planothidium campechianum</i>	M	0.00	100.00	0.00
<i>Staurophora amphioxys</i>	E	0.00	0.00	75.00
<i>Staurophora tackei</i>	D	60.00	0.00	0.00
<i>Striatella</i> sp.1	-	60.00	0.00	0.00

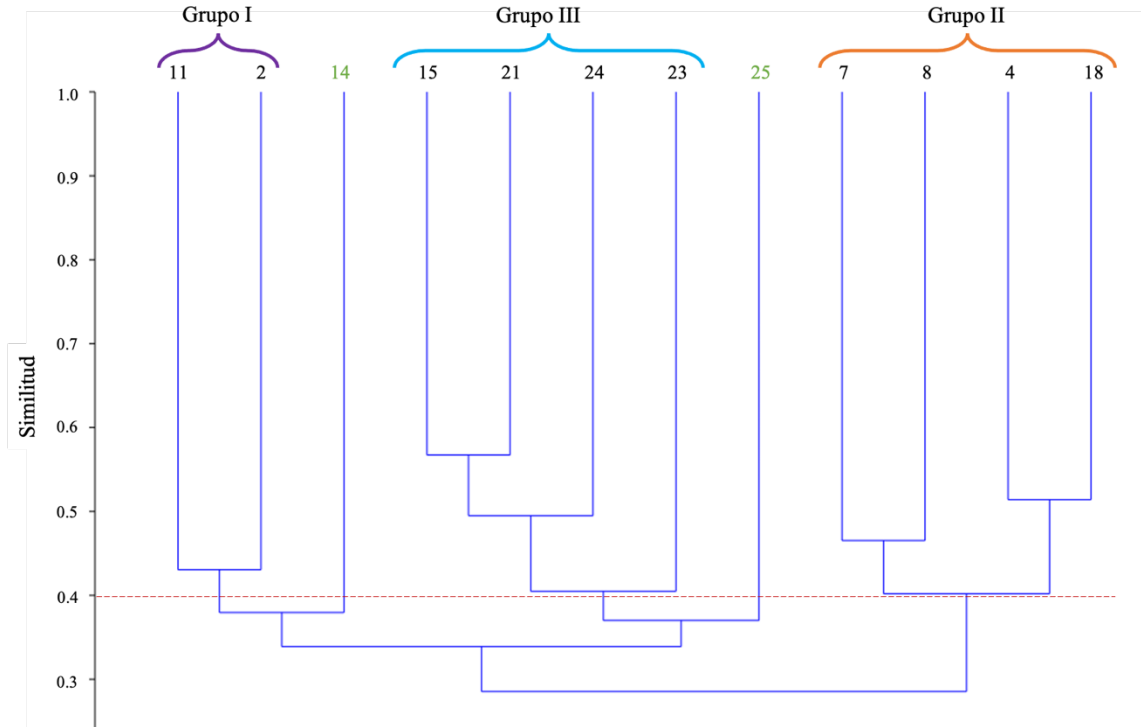


Figura 24.- Similitud entre asociaciones de diatomeas bentónicas de la temporada de nortes-2018 para la Laguna de Términos, Campeche, México. Correlación cofenética = 0.771.

Debido a que las estaciones 14 y 25 no formaron parte de ninguno de los grupos formados, no fueron incluidas en el análisis ANOSIM ($R=0.971$, $p=0.000$), con el cual se evaluó la existencia de diferencias significativas entre dichos grupos, las cuales se observan en la ordenación del análisis NMDS (stress = 0.178; Figura 25)

Basado en el análisis SIMPER, las diferencias entre los grupos I y II están dadas principalmente por *Amicula specululum*, la cual se presentó como rara en el GI con un máximo de 10 valvas (0.07% AR) en la estación 2, mientras en el GII esta especie fue muy abundante, alcanzando una abundancia promedio de 818 individuos (5.46% AR); por *Amphora graeffeana*, la cual fue clasificada como abundante en el GI y solo se registraron 2 valvas (0.01% AR) en la E18 del GII; y por *Amphora* sp. 4 que se registró como rara en el GI y no se presentó en ninguna de las estaciones del GII.

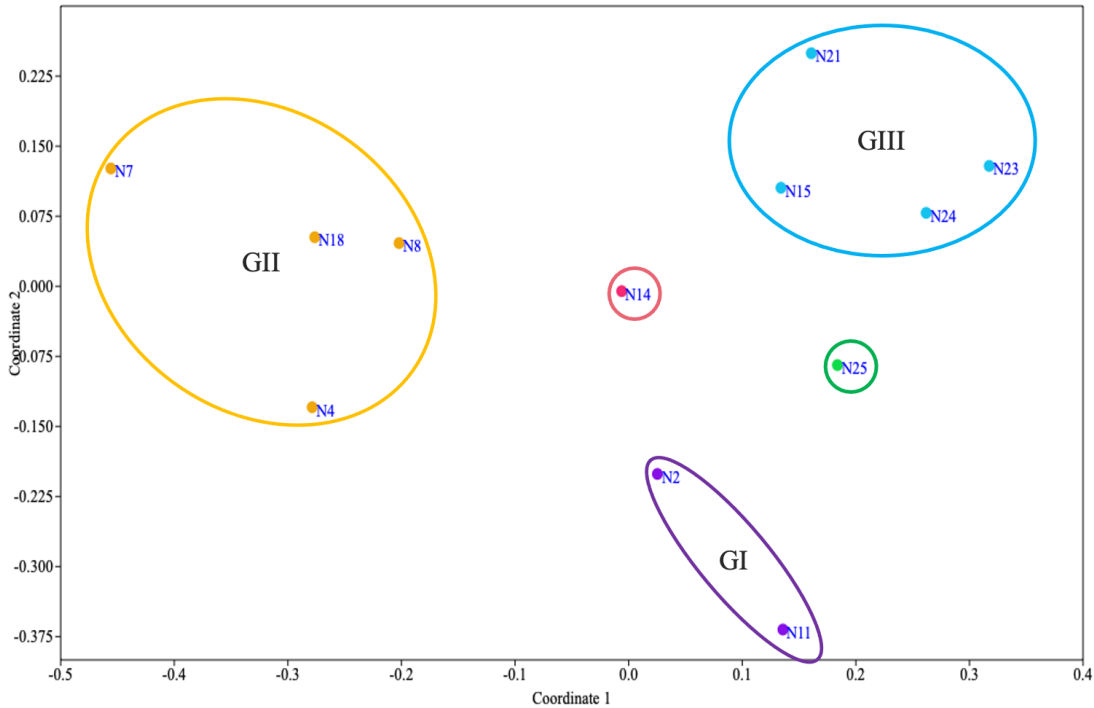


Figura 25.- Ordenación NMDS. Distribución de las estaciones basada en su similitud para la época de nortes-2018 en la Laguna de Términos, Campeche, México. Elipses: agrupan las estaciones con una similitud del 40% basado en índice de Bray-Curtis.

En el caso de los grupos I y III, las diferencias estuvieron dadas principalmente por *Amphora graefiana*, que como ya se mencionó, se presentó como dominante en el GI, y como rara en solo dos estaciones del GIII con una abundancia máxima de 34 valvas (0.23% AR) en la E24; por *Haslea ostrearia* (Gaillon) Simonsen la cual no se registró en el GI, y en el GIII alcanzó un máximo de 260 valvas (1.73% AR) en la E21, y un mínimo de 5 (0.03% AR) en la E23; y por *Haslea staurosigmoidea* que solo se presentó en la E2 del GI con 123 valvas (0.82% AR), mientras en el GIII se presentó como dominante en la mayoría de las estaciones a excepción de la E23 con 30 individuos (0.2% AR).

Los grupos II y III se diferenciaron principalmente por *Amicula specululum* que, como se mencionó fue dominante en el GII, y en este caso solo se registró una vez en la E15; por *Haslea staurosigmoidea*, la cual se presentó como muy abundante en la mayoría de las

estaciones del GIII, pero solo se registró con 9 (0.06% AR) y 2 valvas (0.01% AR) en las estaciones 4 y 18, respectivamente, del GII.

La estación 14 se diferenció de los grupos formados principalmente por *Amphora graeffeana*, especie que fue dominante en la estación, pero rara o ausente en las estaciones pertenecientes a los grupos II y III y en la estación 25; por *Haslea howeana* (Hagelstein) Giffen que también se presentó como dominante en la E14 y no se registró en el G2 y E25; por *Amphora* sp. 4, que se clasificó como rara en las estaciones del G1, pero estuvo ausente en la E4.

En la estación 25 destacó la ausencia de *Amphora graeffeana* y *Amphora* sp. 4, y la presencia de *Navicula phyllepta* Kützing, provocando diferencias con el GI, donde ambas especies de *Amphora* fueron registradas y *Navicula phyllepta* no se presentó. Las diferencias que presentó la E25 con el GII se dieron por la presencia de *Neodelphineis silenda* y *Navicula phyllepta* en la E25, y por su ausencia en el GII, mientras que *Amicula specululum* no se registró en la E25, pero sí en el GII. En el caso de las diferencias que presentó la E25 con el GIII destacan *Navicula* sp. 6 y *Haslea ostrearia* que fueron abundantes en la E25 y raras y ausentes, respectivamente, en el GIII.

Se pudo respaldar la hipótesis sobre las diferencias significativas esperadas entre las zonas de la laguna refutando las especies propuestas para causar las diferencias.

4.3. Relación entre estructura de la taxocenosis de diatomeas bentónicas y variables ambientales

4.3.1. Relación temporal

El ACP con los valores calculados mediante los índices de diversidad como variables suplementarias (Figura 26) permitió reconocer una posible asociación positiva entre diversidad y equidad con temperatura y profundidad, mientras que la dominancia tuvo una mayor relación con el porcentaje de saturación de oxígeno y la concentración de nutrientes. Por otro lado, la abundancia y riqueza de especies se asoció principalmente, de manera positiva, con salinidad, y negativa con nitratos, sílice y pH.

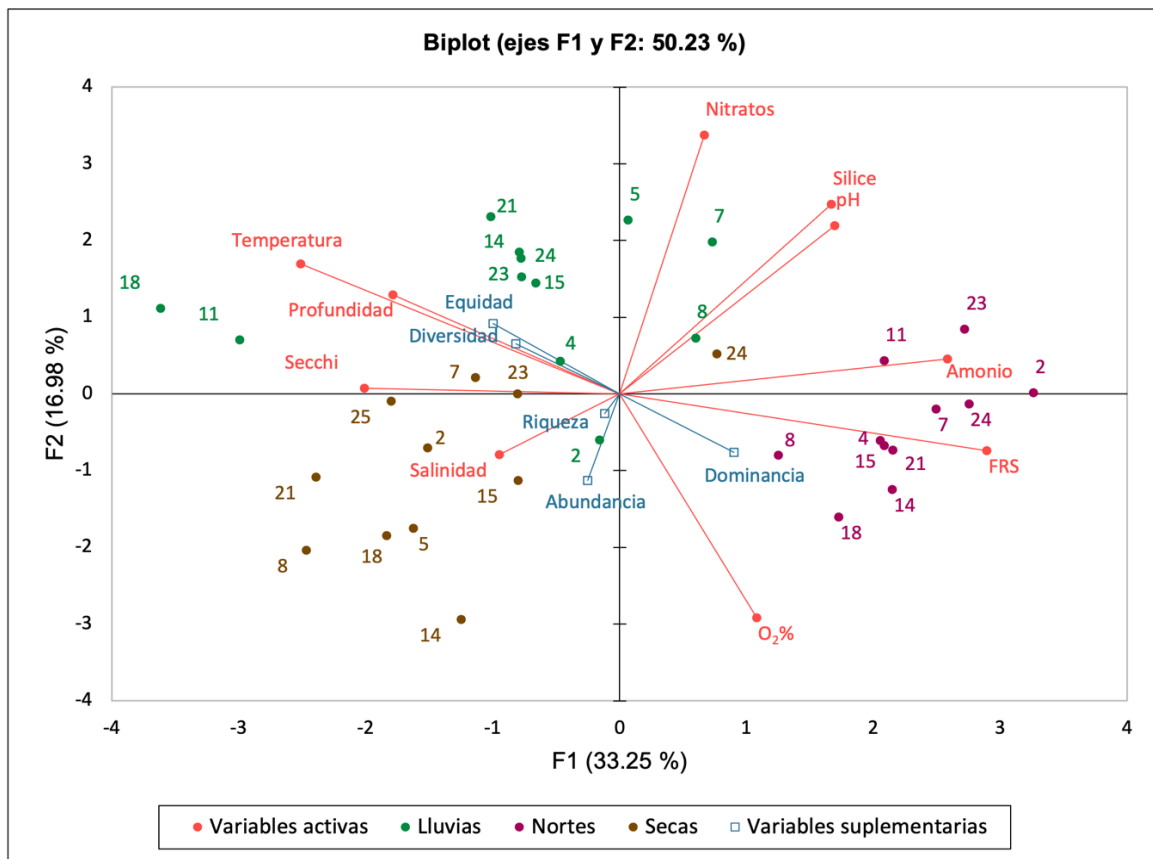


Figura 26.- Asociación entre variables ambientales mediante el ACP con los valores de diversidad como variables suplementarias para las tres épocas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche, México.

Con base en los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC) fue posible establecer la existencia de una correlación entre las comunidades de diatomeas bentónicas y las condiciones ambientales en los diferentes muestreos, lo que ayuda a respaldar la hipótesis planteada en la que se esperaba dicha correlación. El 71.49% de la varianza estuvo explicado en los primeros dos ejes (eje 1: 49.41% y eje 2: 22.08%), y cuyas permutaciones fueron significativas ($p < 0.05$; Figura 27). El primer eje estuvo positivamente correlacionado con el FRS, y negativamente con la temperatura, diferenciando así entre la temporada de nortes, cuyas concentraciones de FRS fueron elevadas y cuando se presentaron las temperaturas más bajas, respecto a las de los muestreos de secas y lluvias. El segundo eje se correlacionó principalmente con la profundidad de manera negativa.

Los taxones *Nitzschia lanceolata* W. Smith var. *incrustans* y *Fistulifera saprophila* (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot estuvieron correlacionadas positivamente con el FRS y amonio, mientras que su correlación fue negativa con la temperatura; con esta variable se correlacionaron positivamente los taxones *Halamphora costata* (W. Smith) y *Chamaepinnularia soehrensii* (Krasske) Lange-Bertalot & Krammer. Por otro lado, se correlacionaron positivamente con la profundidad *Eunotogramma laeve* Grunow, *Amphora laevissima* W. Gregory var. *perminuta* y *Neodelphineis silenda*.

Por otro lado, en el ACP al que se le agregaron los taxones con los valores de IndVal más altos (Figura 28), se puede observar que dichas especies estuvieron asociadas a las variables ambientales que caracterizaron cada una de las temporadas climáticas.

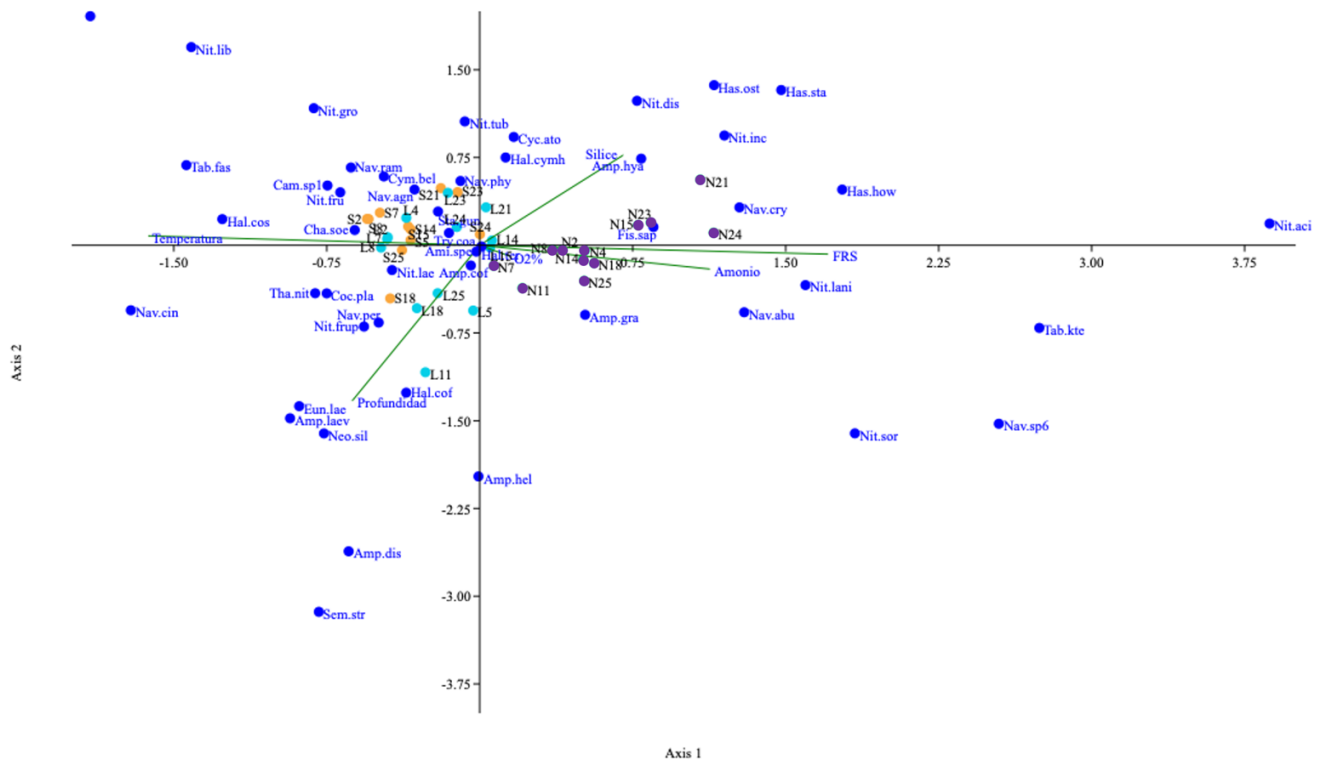


Figura 27.- Correlación entre las asociaciones de diatomeas bentónicas y las variables ambientales con base en el ACC para la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos naranjas: secas; puntos azules: lluvias; puntos verdes: nortes.

En el caso de la época de Secas, *Nitzschia frustulum*, *Nitzschia libertruthii*, *Nitzschia grossestriata* Hustedt y *Tertiarius pygmaeus* se presentaron en altas salinidades y bajas concentraciones de sílice y nitratos+nitritos y valores de pH. Para la época de Lluvias *Cyclotella cf. striata*, *Chamaepinnularia soehrensensis* y *Halamphora costata* se relacionaron con mayores profundidades y temperaturas, y con baja saturación de oxígeno. Durante la época de nortes *Navicula sp.6*, *Tabularia ktenoeoides* M. Kuylenstierna, *Nitzschia cf. acicularis* (Kützing) W. Smith, *Haslea staurosigmaidea* y *Nitzschia soratensis* se relacionaron con altas concentraciones de amonio y FRS y baja transparencia de columna de agua.

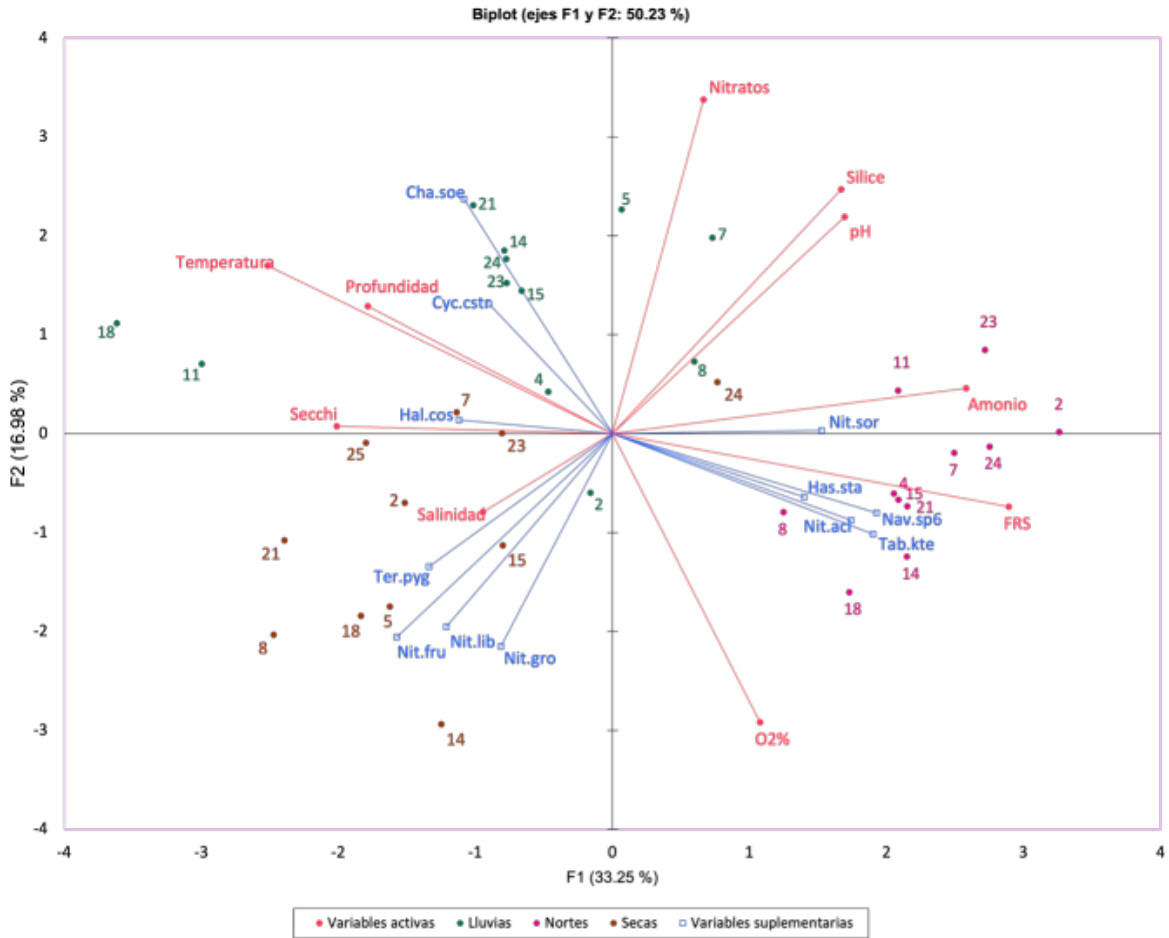


Figura 28.- Gráfico biplot del ACP que incluye las especies de diatomeas bentónicas de mayor valor IndVal como variables suplementarias para las épocas climáticas en la Laguna de Términos, Campeche, México.

4.3.2. Relación espacial

En el caso de la variación espacial no se presentó una correlación significativa entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales durante las temporadas secas y nortes ($p > 0.05$). Durante la época de lluvias si se presentó una correlación significativa ($p < 0.05$; Figura 29). Durante este muestreo el 59.54% de la variación se explicó en los primeros dos ejes (eje 1: 33.34 y eje 2: 27.2%), cuyo análisis de permutaciones fue significativo ($p < 0.05$). El primer eje estuvo correlacionado positivamente con el pH y negativamente con O₂%, mientras que el segundo eje se correlacionó negativamente con los silicatos.

En el caso del O₂%, éste se correlacionó positivamente con *Navicula cincta* Pantocsek y negativamente con *Navicula abunda* Hustedt; por otro lado, el pH se correlacionó positivamente con *Halamphora terroris* (Ehrenberg) P. Wang, *Halamphora coffeiformis* y *Fistulifera saprophila*, y negativamente con *Nitzschia lanceolata*. En el caso del segundo eje, los silicatos se correlacionaron positivamente con *Nitzschia tubicola* y negativamente con *Halamphora coffeiformis*.

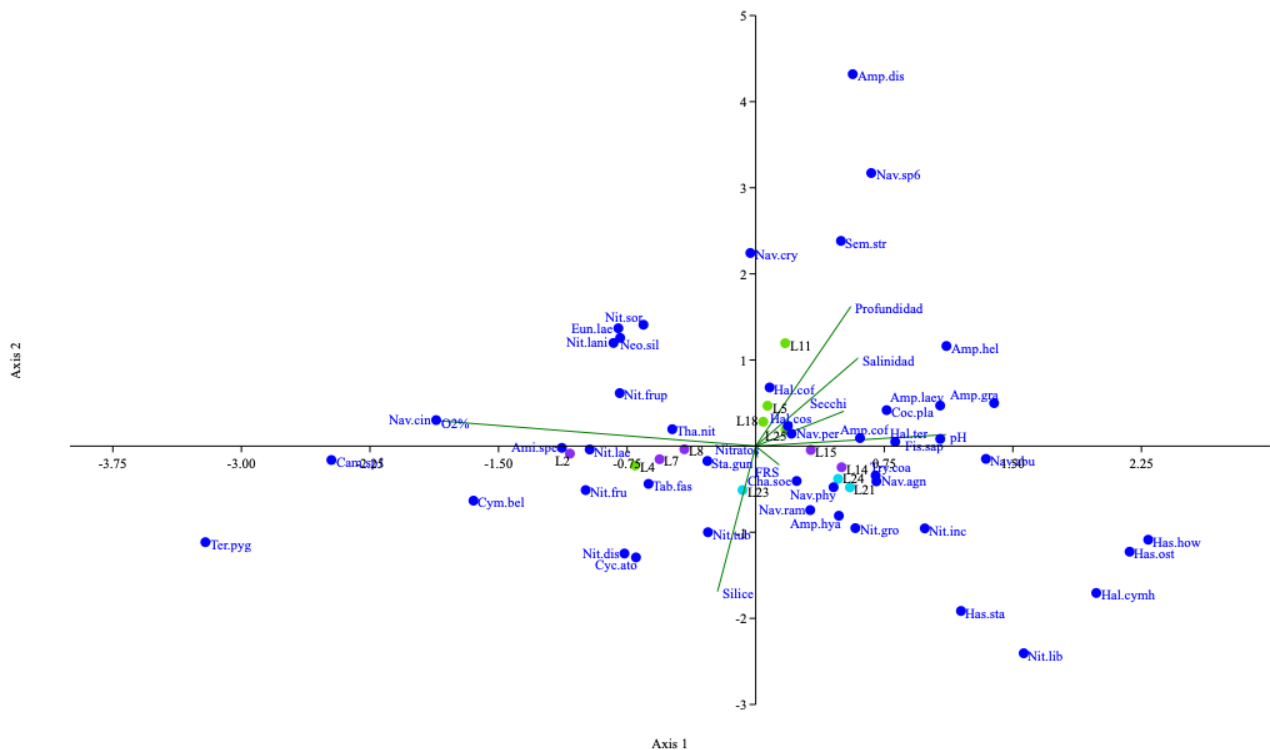


Figura 29.- ACC de la temporada de Lluvias-2017 que muestra la ordenación de estaciones para la Laguna de Términos, Campeche, México. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII puntos azules: ZIII.

Estos resultados refutan la hipótesis planteada de una correlación entre los taxones y las variables ambientales correspondientes a la variación espacial en la temporada de secas y nortes. Sin embargo, la hipótesis fue respaldada para la temporada de lluvias.

Por otro lado, en el ACP en el que se utilizaron los taxones con valores IndVal más altos (>55%) como variables suplementarias (Figura 30), se pudo observar para la temporada

de secas que las especies pertenecientes a la ZIII, tales como: *Amphora ovalis* var. *gracilis*, *Dickieia subinflata* (Grunow) D. G. Mann, *Halamphora turgida* (W. Gregory) Levkov, *Haslea howeana*, *Navicula zostereti* Grunow f. *minor*, *Navicula cremorne* M. H. Hohn & Hellerman var. *salinarum*, *Navicula rogersii* M. H. Giffen y *Nitzschia pusilla* Grunow, se asocian a altas concentraciones de nutrientes, lo que caracterizó a la zona durante esta temporada.

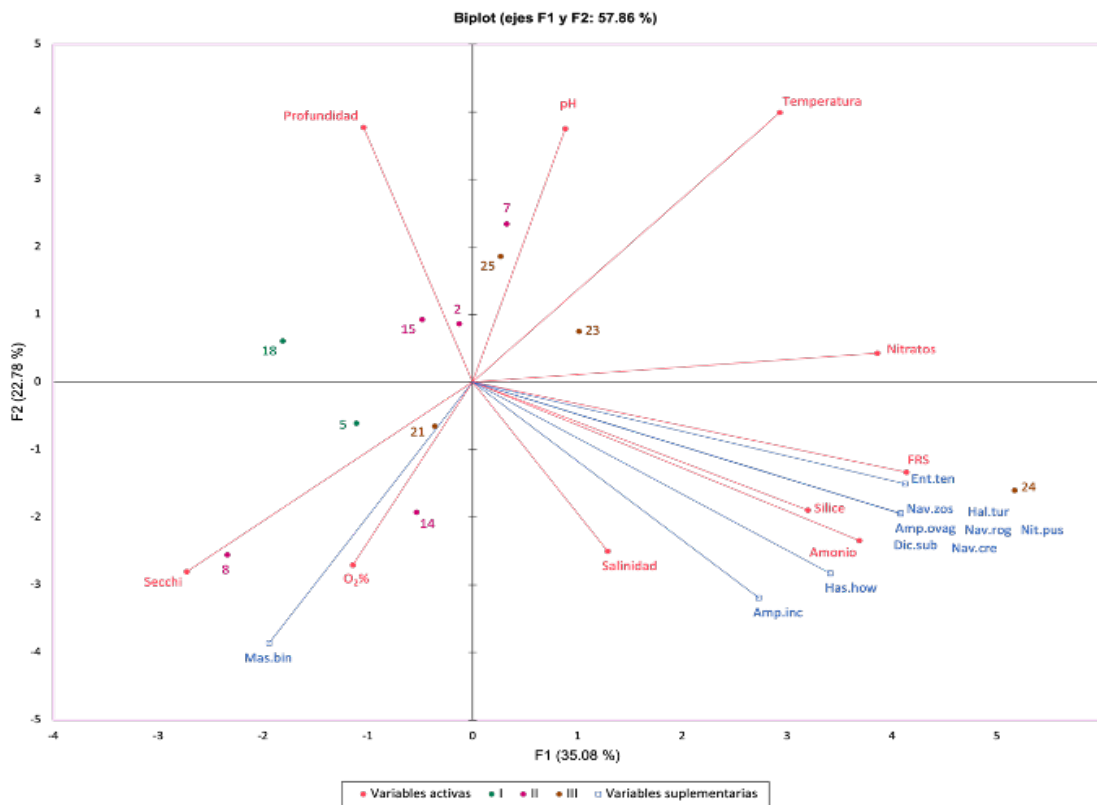


Figura 30.- ACP para la temporada de Secas-2017 con variables suplementarias, que muestra el gradiente de las variables ambientales y taxones en la Laguna de Términos, Campeche, México. I(verde): ZI, II(magenta): ZII y III (café): ZIII.

Durante la temporada de nortes el ACP con variables suplementarias (Figura 31) muestra que *Cocconeis neothumensis*, *Navicula* cf. *perminuta*, *Dickieia subinflata* y *Nitzschia acicularis* var. *closterium* cuyos valores de IndVal fueron altos (>50%) para la ZII estuvieron relacionadas a altas concentraciones de amonio, O₂% y transparencia. En el

caso de la ZI los taxones *Caloneis cf. absoluta* Manguin, *Navicula zostereti* f. *minor*, *Actinodiscus tener* Gr. & St. y *Encyonema mesianum* se asociaron a altas profundidades, salinidad y nitratos+nitritos. Por otro lado, *Entomoneis paludosa* y *Navicula normaloides* Cholnoky de la ZIII estuvieron asociadas a bajas concentraciones de amonio y O₂%.

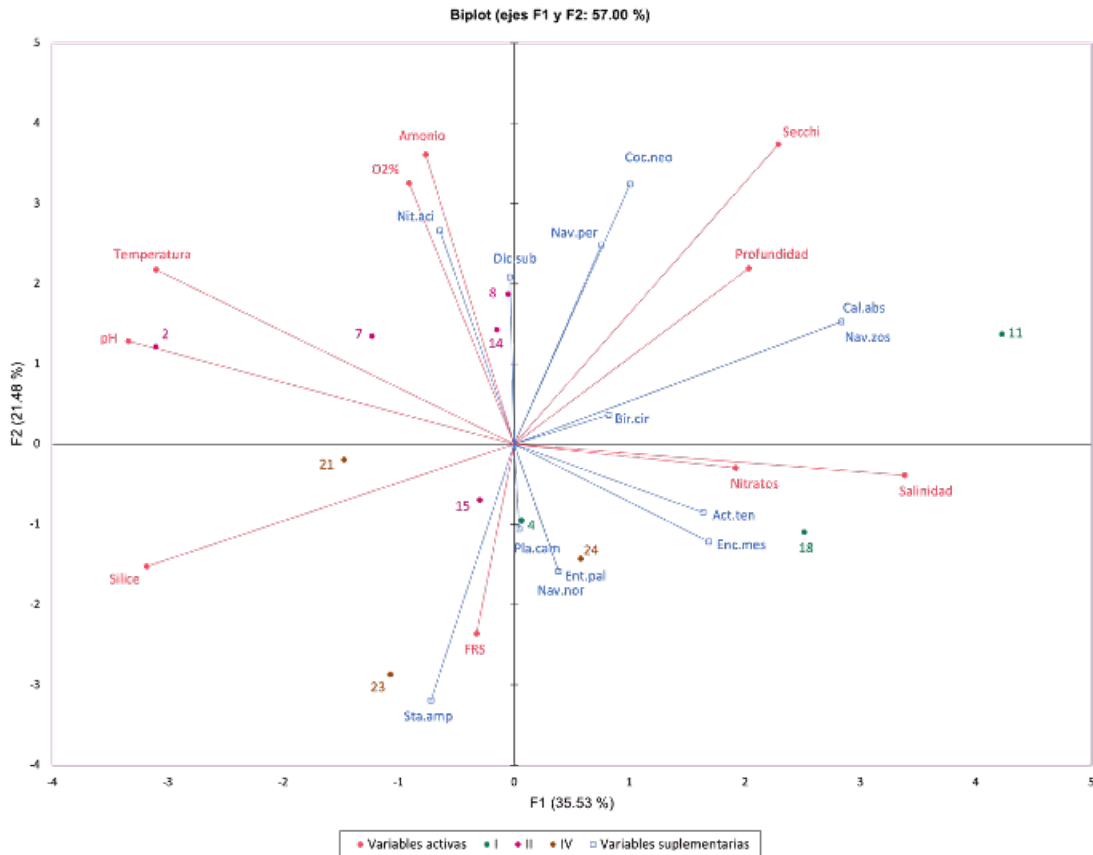


Figura 31.- ACP de la temporada de nortes-2018 con variables suplementarias, que muestra el gradiente de las variables ambientales y los taxones en la Laguna de Términos, Campeche, México. I (verde): ZI, II (magenta): ZII y III (café): ZIII.

5. Discusión

Las asociaciones de diatomeas bentónicas son ampliamente utilizadas para la evaluación ambiental de ecosistemas acuáticos debido a sus particularidades tanto biológicas como ecológicas, tales como sus altas tasas de reproducción que les permite responder rápidamente ante los cambios ambientales (Lavoie et al., 2006, Szczepocka y Szulc 2009, Delgado et al., 2012, Pandey et al., 2018b, Pardo et al., 2018, Tudurí et al., 2021). Existe una serie de características propias de estas asociaciones que permiten de manera general establecer el estado ecológico tanto de la comunidad como de los ambientes.

Una de las principales características es la riqueza de especies junto con la estructura de las asociaciones, las cuales comúnmente presentan pocas especies dominantes con altas abundancias, y muchas con abundancias bajas (Siqueiros Beltrones, 2002). Esto se pudo observar con las asociaciones de diatomeas de la laguna de Términos, cuya riqueza alcanzó los 562 taxones en total, de las cuales el 53.5% de la abundancia estuvo comprendida en solo 21 especies, mientras que 338 taxones presentaron abundancias menores a las 15 valvas, por lo que se clasificaron como raras.

Igualmente, la riqueza de especies alcanzada en cada muestreo fue alta, con un valor máximo de 324 especies en la temporada de secas, seguido por nortes con 323, y un mínimo de 300 taxones durante lluvias. En promedio las muestras analizadas presentaron una riqueza mayor a 70 especies, con un valor mínimo de 35 en la E2 de lluvias, y un máximo de 135 taxones en la E24 de secas. Comparativamente, la riqueza registrada, tanto a nivel espacial y temporal, así como el valor total, son considerados altos, correspondiendo a asociaciones presentes en ambientes no perturbados y altamente productivos (Siqueiros Beltrones et al., 2017). Esto también se vio reflejado en los índices

de diversidad, alcanzando una diversidad promedio de $H'=4.96$ bits taxon^{-1} durante secas, $H'=4.21$ en lluvias, y $H'=3.87$ para nortes, respaldando así la hipótesis planteada en la que se esperaba una alta diversidad, riqueza y equidad y baja dominancia. Esto contrasta con lo citado para otros ambientes estuarinos costeros, en los cuales la riqueza y diversidad fueron mucho menores (Rovira et al., 2012, Pandey et al., 2018a, Tudurí et al., 2021), pero coincide con lo mencionado para la laguna Guerrero Negro y el Archipiélago de Revillagigedo, otras dos zonas protegidas del país (Siqueiros Beltrones et al., 2017, Siqueiros-Beltrones et al., 2021).

Contrario a lo planteado en la hipótesis donde se esperaba que la época de lluvias presentara la mayor diversidad debido al aporte de especies consideradas dulceacuícolas, la diversidad más alta se registró para la temporada de secas. Durante lluvias se pudo observar una disminución de la diversidad en algunas estaciones de la ZII (influencia dulceacuícola), alcanzando el valor más bajo ($1.57 H'$) del estudio en la E2 ubicada en la zona de influencia del río Palizada cuya influencia es muy importante dentro de la laguna de Términos (David y Kjerfve 1998, Robadue et al., 2004, Carvalho et al., 2009, Fichez et al., 2019), y que parece tener un efecto negativo sobre las asociaciones de diatomeas de la laguna.

La diversidad registrada durante nortes, menor a la alcanzada en las otras épocas, puede estar relacionada al efecto que tienen los fuertes vientos, que caracterizan la temporada, sobre la columna de agua provocando la resuspensión del sedimento lo que puede estar aumentando las concentraciones de nutrientes en la columna de agua y alterando las asociaciones de diatomeas bentónicas incorporando especies a la columna y afectando su presencia sobre el sedimento (Tudurí et al., 2021).

No se presentaron diferencias significativas entre la diversidad de las tres épocas como entre las zonas de la laguna, si se pudieron observar tanto en la composición de especies que conformaron a las asociaciones como en las variables ambientales, y se estableció la existencia de una correlación entre factores bióticos y abióticos. De las variables principales, el FRS y el amonio estuvieron correlacionados positivamente con la presencia de *Navicula abunda*, *Navicula cryptocephala* Kützing, *Nitzschia lanceolata* var. *incrustans*, consideradas especies altamente tolerantes a contaminación (Grenier et al., 2010, Pandey et al., 2018b), y *Fistulifera saprophila*, conocida por presentarse en aguas altamente eutrofizadas y aunque fue clasificada como rara en los tres muestreos, sus abundancias más altas se dieron en las estaciones 8 y 15 de la ZII y en la E5, la estación más cercana a Ciudad del Carmen.

La profundidad también fue una de las variables principales y se correlacionó con *Halophora coffeiformis*, *Navicula* cf. *perminuta* y *Eunotogramma laeve*, esta última es una especie marina cuya mayor abundancia se presentó en la E11 ubicada en la ZI, tanto en Lluvias como en Nortes. La distribución de estas especies coincide con lo reportado por diferentes autores (Grenier et al., 2010, Al-Yamani y Saburova, 2011, Siqueiros-Beltrones y Martinez, 2017, Pandey et al., 2018a, 2018b) quienes las mencionan como especies presentes en sedimentos intermareales costeros marinos y estuarinos. Esta correlación puede estar relacionada a que en las estaciones que se presentó una mayor profundidad las condiciones ambientales son más parecidas a las de un ambiente marino.

El ACC aplicado permite reconocer un gradiente en las concentraciones de nutrientes entre las temporadas de muestreo, alcanzando los valores más altos durante la temporada de nortes, a la cual se asoció *Nitzschia acicularis*, especie que se asocia a aumentos en los niveles de eutrofización (Lie et al., 2018).

En el caso de la variación físico-química se presentaron diferencias significativas entre la mayoría de las variables, así, temperatura, profundidad, porcentaje de saturación de oxígeno, FRS, amonio y silicatos fueron los principales parámetros que explican la variación. Contrario a la esperado, la salinidad no fue una variable importante para explicar la variación temporal; por otro lado, las concentraciones de nutrientes más altas se registraron durante nortes y no en lluvias, lo que puede estar ocasionado por la resuspensión de sedimento como consecuencia a los fuertes vientos que caracterizan a la temporada de nortes (Tudurí et al., 2021).

En el caso de la estructura de las asociaciones de diatomeas se presentaron diferencias significativas (ANOSIM, $R=0.352$ y $p=0.000$), sin embargo, si bien el valor de stress (0.207) del NMDS es considerado alto, fue posible observar en el gráfico de ordenación que la temporada de lluvias se sobrepone a las otras dos épocas, mientras secas y nortes están separadas. Esto se puede explicar con el número de especies que las épocas compartieron entre sí siendo lluvias quien comparte más taxones con secas (47) y nortes (46), y presenta solamente 49 especies exclusivas; mientras secas y nortes compartieron únicamente 29 taxones y presentaron 85 y 87 especies exclusivas, respectivamente. Esto puede significar que la temporada de lluvias está funcionando como una temporada de transición entre secas y nortes en la cual la composición de las asociaciones se va modificando según la variación temporal de las condiciones en columna de agua.

Los componentes estructurales en las asociaciones de diatomeas, como la diversidad, riqueza y las especies que componen a la asociación, varían con el tiempo, por lo que suelen presentar diferencias en su composición y abundancia (Rovira et al., 2012, Tudurí et al., 2021), en respuesta a los cambios en las variables físico-químicas, tanto en la microescala, definiendo la distribución agregada (en parches) de las asociaciones, como

en la mesoescala, en correspondencia con zonas definidas por sus variables físicas y químicas, lo que se puede deber a los rangos de tolerancia específicos de cada especie entre las variaciones ambientales.

De acuerdo con lo último, a pesar de que, tanto la temporada de secas como la de nortes, compartieron el mismo número de especies con la temporada de lluvias en el análisis de similitud, ninguna de las muestras de la temporada de nortes se agrupó con muestras de temporadas diferentes. Caso contrario con las épocas de secas y lluvias cuyas muestras se agruparon según la zona de la laguna (I o II) a la que pertenecen, mientras la ZIII de ambos muestreos se agrupó por separado. Esto puede estar reflejando similitudes en las condiciones ambientales que caracterizan a cada zona.

Estas diferencias y similitudes pueden estar asociadas a los distintos fenómenos que tiene lugar en cada una de las épocas: los fuertes vientos durante nortes que modifican los patrones de circulación de la laguna y propician la resuspensión de sedimento; el aumento de las descargas epicontinentales durante lluvias ampliándose su área de influencia en la Laguna, y que acarrearán una gran cantidad de sustancias, entre ellas contaminantes, que pueden tener un efecto negativo; o la aparente estabilidad durante la época de secas.

Asimismo, según los resultados del análisis de similitud se establecieron los grupos de estaciones que presentaron mayor semejanza, con base en la presencia-ausencia de especies y sus abundancias, para cada una de las temporadas encontrando que algunas estaciones se agruparon a pesar de localizarse en zonas distintas, pero manteniendo en general la zonación planteada inicialmente. Estos grupos presentaron diferencias significativas entre sí en las tres temporadas, lo que concuerda con la hipótesis propuesta en la que se esperaban diferencias entre las zonas de la laguna.

Con base en el Índice de Valor Biológico se pudieron identificar un total de 28 especies importantes dentro de la comunidad, de las cuales *Amicula specululum* y *Amphora graeffeana* fueron también relevantes en los tres muestreos, y alcanzaron la primera y tercera abundancia más alta, respectivamente. La segunda especie con el mayor número de valvas del estudio, *Haslea staurosigmaidea*, sólo tuvo valores altos de IVB durante Secas y Nortes. Cabe destacar que de las especies cuyo IVB fue alto en dos muestreos, *Haslea staurosigmaidea* es la única especie compartida por Secas y Nortes, ya que el resto de taxones (*Halamphora coffeiformis*, *Cyclotella atomus*, *Cymatosira belgica*, *Navicula apta* Hustedt, *Nitzschia tubicola* y *Staurosirella gunter-grassi* (Witkowski y Lange-Bertalot) E. A. Morales et al.) con valores altos en dos muestreos fueron para secas y lluvias.

Por otro lado, de acuerdo con el Valor Indicador (IndVal), el cual nos permite identificar las especies que puedan ser representativas de alguna de las temporadas analizadas o de alguna de las zonas de la laguna, se reconocieron a 25 taxones como indicadoras de temporada, de las cuales únicamente tres coincidieron como las especies importantes del IVB: *Staurosirella gunter-grassi* (49.4% IndVal), *Halamphora coffeiformis* (47.7% IndVal) y *Haslea staurosigmaidea* (60% IndVal) para secas, lluvias y nortes, respectivamente. Los valores alcanzados por estas especies son considerados medios, por lo que su presencia no es un indicador exclusivo a una temporada, pero pueden ser considerados como especies que denotan un proceso de transición en la comunidad (García-Ramírez, 2007), al tolerar los cambios ambientales que tienen lugar entre temporadas.

En el caso de las zonas se pudieron reconocer siete especies indicadoras con valores IndVal mayores al 70% para la Z1, nueve para la ZII, destacando la ZIII con 19 taxones.

De las 89 especies que presentaron valores mayores al 50%, solo 15 fueron indicadoras en dos temporadas (ninguna figuró en los tres muestreos). Destaca el hecho de que 12 de estas especies fueron compartidas, ya sea por la época de secas o por nortes con lluvias; y solamente tres fueron indicadoras tanto para secas como para nortes. La mayoría de las especies compartidas fueron indicadores para diferentes zonas según la temporada; y solamente *Navicula* sp.2, fue indicadora para la ZII en secas y lluvias, y *Mastogloia erythraea* f.1 y f.2, indicadoras para la ZIII en lluvias y nortes, fueron constantes.

La mayoría de estos taxones son considerados como marinos (35), mientras 15 son dulceacuícolas, 12 marinas/dulceacuícolas y 5 estuarinas; esta heterogeneidad de hábitats coincide con lo citado por Tudurí et al. (2021) para dos lagunas costeras en Uruguay. Esto contrasta con la hipótesis en la que se esperaba un mayor número de especies estuarinas y coincide con las características ambientales registradas durante los muestreos, presentándose, de manera general, altas salinidades y bajas concentraciones de nutrientes, características de ambientes marinos que propician la presencia de un mayor número de especies consideradas netamente marinas.

El alto número de especies marinas coincide con la posible relación entre los índices de diversidad y la variación temporal de las condiciones ambientales, asociándose positivamente la diversidad y equidad con la temperatura y profundidad; y la abundancia y riqueza positivamente con la salinidad, y negativamente con las concentraciones de nutrientes, principalmente nitratos y sílice y pH. Esto puede significar que las mejores condiciones para el desarrollo óptimo de las asociaciones de diatomeas se dan bajo la influencia de condiciones marinas con altas salinidades y bajas concentraciones de nutrientes, altas temperaturas y a mayores profundidades. La respuesta de los organismos, que se ve reflejada en los índices de diversidad, ante las condiciones

ambientales varía entre sistemas, incluso, condiciones de contaminación pueden tener efectos diferentes, desde la disminución de la diversidad hasta su aumento, o no sufrir alteración alguna (Pandey et al., 2018b), por lo que la relación entre la diversidad y las condiciones ambientales puede no ser constante.

Como se mencionó previamente, se pudo establecer que existe una relación entre las asociaciones de diatomeas bentónicas y la variabilidad temporal de las condiciones ambientales. Sin embargo, solo fue posible reconocer una correlación con los parámetros físico-químicos a nivel espacial durante la época de Lluvias, refutando así la hipótesis planteada para secas y nortes en la que se esperaba que la salinidad y concentración de nutrientes estuvieran correlacionadas con las diferencias espaciales en las asociaciones de diatomeas; por otro lado, a pesar de que la hipótesis se sostiene para la temporada de lluvias, la salinidad no fue importante para la variación; y de los nutrientes solo los silicatos fueron importantes, presentando una correlación negativa con *Halamphora coffeiformis* y positiva con *Nitzschia tubicola*; ésta última presentó una correlación positiva con temperatura y pH de columna de agua en ríos urbanos de China (Chen et al., 2016).

A pesar de que no se presentaron correlaciones entre las asociaciones de diatomeas y los parámetros ambientales a nivel espacial, se buscó reconocer posibles asociaciones a través del ACP, utilizando los taxones con mayor IndVal como variables suplementarias. De las especies que fueron importantes en dos temporadas, únicamente *Dickieia subinflata*, *Navicula zostereti* f. *minor* y *Cocconeis neothumensis* fueron relevantes en el análisis. Por un lado, *Dickieia subinflata* y *Navicula zostereti* f. *minor*, tanto en secas como en nortes, se asociaron positivamente con los nutrientes, principalmente amonio y NO_3+NO_2 ; mientras que, *Cocconeis neothumensis* se asoció a diferentes condiciones en lluvias y en nortes.

A pesar de que fue posible observar que la mayoría de los taxones indicadores de zona se asociaron a las principales características ambientales de sus grupos, también se presentaron especies que se asociaron a características diferentes, aun siendo indicadoras de la misma zona. Por ejemplo, durante la temporada de lluvias, cuando *Navicula perminuta* y *B.cirmuntexta* (Meister ex Hustedt) Lange-Bertalot & Witkowski, ambas de la ZII, se asociaron a una característica diferente cada una (nutrientes y pH, respectivamente). O en el caso contrario, en el que taxones indicadores de diferentes zonas se relacionaron a la misma variable, ej.: *Grammatophora angulosa* var. *pacifica* (ZII) y *N. venata* (ZIII) ambas asociadas positivamente a la profundidad.

Durante los tres muestreos realizados se registraron especies cuyo hábitat reconocido es diferente al de la zona en la que se encontraron, siendo incluso indicadoras, o de mayor afinidad, para dichas zonas. Como es el caso de *Grammatophora angulosa* Ehrenberg var. *pacifica*, *Grammatophora hamulifera* Kützing y *Planothidium compechianum* (Hustedt) Witkowski et al., las cuales son consideradas como netamente marinas, pero fueron indicadores para la ZII de influencia dulceacuícola con IndVal mayores al 80%, durante secas, lluvias y nortes, respectivamente. O como en el caso de *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith var. *closterioides* y *Frustulia interposita* (Lewis) De Toni, ambas consideradas especies dulceacuícolas que durante la temporada de nortes fueron indicadoras (IndVal > 80%) para la ZI, la cual presenta características marinas.

Es importante destacar que a pesar de que ambientalmente las zonas propuestas para la laguna sí se diferenciaron como tales, el porcentaje de taxones cuyo hábitat no corresponde con su distribución en las zonas es alto. Para la ZI, ubicada en la costa interna de la isla del Carmen y que se considera con condiciones marinas, el 65% de sus

especies indicadoras fueron marinas, pero el 20% fueron dulceacuícolas, este es el porcentaje más alto de estas especies, por encima del 17% en la ZII con influencia de descargas de ríos, en la cual se registró el porcentaje de especies marinas más alto (67%). Por otro lado, la ZIII presentó el mayor número de especies estuarinas y marino/estuarinas con el 18 y 23%, respectivamente, y con el menor número de especies netamente marinas (43%). La gran variabilidad que presentan las asociaciones de diatomeas bentónicas en la laguna de Términos, tanto a nivel espacial como temporal, corresponde con lo observado por otros autores (Delgado et al., 2012, Rovira et al., 2012, Lavoie et al., 2014, Pandey et al., 2018a, Tornés et al., 2018, Martínez et al., 2021, Tudurí et al., 2021). En estos estudios cada asociación presentó una composición y estructura particulares y se relacionaron a una combinación diferente de variables, respondiendo cada una de manera específica a cambios en las condiciones ambientales.

6. Conclusiones

Por ahora, los resultados de esta investigación representan una referencia de lo que se puede considerar un ecosistema sin perturbación y altamente productivo, a partir de la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas y sus relaciones con las variables físico-químicas.

Fue posible validar las zonas propuestas para Laguna de Términos durante las tres épocas climáticas analizadas. Sin embargo, cabe destacar que con este estudio se pudo establecer la alta variabilidad que se presenta en el sistema, variabilidad que no se observa si nos limitamos a abordarla por zonas. Los límites que definieron a las zonas durante las diferentes épocas climáticas no fueron constantes ni iguales, demostrando que el uso de la zonación puede estar encubriendo información sobre la variabilidad en la Laguna.

La alta riqueza y diversidad alcanzada por las comunidades de diatomeas bentónicas de la Laguna de Términos son características de ambientes sin perturbación y altamente productivos, y la riqueza registrada es la mayor para cualquier estudio previo en costas mexicanas. Esto coincide con lo citado para otras áreas protegidas de México, lo que puede significar que los programas de conservación tienen un efecto positivo sobre los ambientes.

La estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas de la laguna de Términos y su relación con las condiciones ambientales presentaron características particulares, haciendo difícil la comparación con otros estudios, sin embargo, de manera general

presentaron características propias de ambientes costeros al estar conformadas por especies de naturaleza marina, dulceacuícola, estuarina y marino-dulceacuícola.

Si bien no se presentaron diferencias significativas entre los índices de diversidad, si hubo diferencias entre las especies que conformaron las asociaciones de diatomeas, tanto a nivel espacial como temporal; y están relacionadas con las variables ambientales, principalmente las concentraciones de nutrientes.

A pesar de que no se pudo observar una correlación estadística con la salinidad, un parámetro importante en la variación de los ambientes costeros, su influencia sobre la comunidad se ve reflejada en el alto número de especies marinas que dominaron las asociaciones, incluso en las zonas cercanas a descargas dulceacuícola, dado por el gran importancia que tiene la zona marina sobre la laguna.

Contrario a lo esperado, el efecto de los escurrimientos epicontinentales sobre las asociaciones de diatomeas tuvo un efecto negativo, disminuyendo la riqueza y diversidad, indicando que las descargas son una fuente de perturbación para las comunidades bentónicas.

El aumento de nutrientes y su efecto en la comunidad también se vio reflejada durante la temporada de nortes en la cual se presentaron los valores de riqueza y diversidad más bajos, y las concentraciones de nutrientes más altas.

Debido a que las características ambientales bajo las que se desarrollan las comunidades de diatomeas bentónicas son específicas para cada sistema estuarino y no se cuenta con un sitio de referencia, es difícil afirmar de manera clara o definitiva cuál sería el efecto de

algún cambio sobre la estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas, haciendo necesario establecer y comprender la dinámica del sistema a evaluar, tanto temporal como espacialmente, para lograr una correcta evaluación y entendimiento del ambiente.

La evaluación ecológica basada en las asociaciones de diatomeas bentónicas se hace posible al llevar a cabo estudios en los que se caracterice a detalle las estructuras de las asociaciones y se reconozca su relación con las condiciones ambientales. Haciendo de las diatomeas un referente clave para el estudio de los ambientes costeros y el reconocimiento de su estado ecológico.

El presente estudio permitió entender mejor la alta variabilidad que tiene lugar en la Laguna de Términos, al incluir a las asociaciones de diatomeas, sirviendo como base para futuros estudios, incluyendo un posible monitoreo ecológico y ambiental, así como para poder reconocer en el futuro los procesos de perturbación que estén alterando las condiciones ecológicas de la laguna, las cuales actualmente parecen ser óptimas para el desarrollo de las comunidades de diatomeas bentónicas.

7. Referencias

- Abuhatab, Aragón Y. A. & Donato-Rondón J. C. 2012. *Cocconeis Placentula* Y *Achnathidium Minutissimum* Especies Indicadoras De Arroyos Oligotróficos Andinos. *Caldasia* 34: 205–212.
- Al-Yamani F. Y. & Saburova M. A. 2011. *Illustrated guide on the benthic diatoms of Kuwait's Marine Environment*. Kuwait Institute for Scientific Research. Safat, Kuwait.
- An S. M., Choi D. H., Lee J. H., Lee H. & Noh J. H. 2017. Identification of benthic diatoms isolated from the eastern tidal flats of the Yellow Sea: Comparison between morphological and molecular approaches. *PLoS ONE* 12.
- Atazadeh I., Sharifi M. & Kelly M. G. 2007. Evaluation of the Trophic Diatom Index for assessing water quality in River Gharasou, western Iran. *Hydrobiologia* 589: 165–173.
- Badii, M. H., Landeros, J. & Cerna, E. 2007. Papel de los Ecosistemas en la Sustentabilidad. *CULCyT/Ecología* 4(21): 19-28.
- Basset, A. & Abbiati, M. 2004. Challenges to transitional water monitoring: ecological descriptors and scales. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14: S1-S3.
- Basset, A. Sabetta, L. & Carrada, G.C. 2006. Conservation of transitional water ecosystems in the Mediterranean area: bridging basic ecological research and theories with requirements of application. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 439-440
- Blanco S., Ector L., Huck V., Monnier O., Cauchie H. M., Hoffmann L. & E. 2008. DIATOM ASSEMBLAGES AND WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE DUERO BASIN (NW SPAIN). *Belgian Journal of Botany* 141: 39–50. Royal Botanical Society of Belgium.

- Borja, A. & Dauer, D.M. 2008. Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: Comparing methodologies and indices. *Ecological Indicators* 8: 331-337.
- Borowitzka M. A., Lavery P. S. & Van Kuelen M. 2006. Epiphytes of Seagrasses. In: *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (Ed. by A. W. D. Laekum), pp. 441–461. Springer, Netherlands.
- Boyer J. N., Fourqurean J. W. & Jones R. D. 1999. Seasonal and long-term trends in the water quality of Florida Bay (1989-1997). *Estuaries* 22: 417–430.
- Brito A., Newton A., Tett P. & Fernandes T. F. 2009. Temporal and spatial variability of microphytobenthos in a shallow lagoon: Ria Formosa (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 83: 67–76.
- Carvalho F. P., Villeneuve J., Cattini C., Rendón J. & Oliveira J. M. De 2009. Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Terminos , a protected area of the coast of Campeche , Mexico. *Chemosphere* 74: 988–995.
- Chen X., Zhou W., Pickett S. T. A., Li W., Han L. & Ren Y. 2016. Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. *Ecological Indicators* 60: 265–274.
- Clarke, K. P., & Gorley, R. N. 2006. *PRIMER Version 6: User Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E.
- Clavero E., Hernández-Mariné M., Grimalt J. O. & García-Pichel F. 2000. Salinity tolerance of diatoms from thalassic hypersaline environments. *Journal of Phycology* 36: 1021–1034.
- Conan P., Pujo-pay M., Agab M., Calva-benítez L., Chifflet S., Douillet P., Dussud C., Fichez R., Grenz C., Gutiérrez-Mendieta F. G., Origel-Moreno M., Rodríguez-blanco A., Sauret C., Severin T., Tedetti M. & Torres-Alvarado R., & Ghiglione, JF. 2017. Biogeochemical cycling and phyto- and bacterioplankton communities in a large and

shallow tropical lagoon (Términos Lagoon, Mexico) under 2009-2010 El Niño Modoki drought conditions. *Biogeosciences*, 14: 959–975.

Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O., & García-Nagaya, A. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*.

Contreras-Espinosa, F. 2010. *Ecosistemas costeros mexicanos*. México: universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, pp. 514.

Contreras Ruiz Esparza A., Douillet P. & Zavala-Hidalgo J. 2014. Tidal dynamics of the Terminos Lagoon, Mexico: Observations and 3D numerical modelling. *Ocean Dynamics* 64: 1349–1371.

Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherland Journal of Aquatic Ecology* 28: 117–133.

David L. T. & Kjerfve B. 1998. Tides and Currents in a Two-Inlet Coastal Lagoon: Laguna de Términos, México. *Continental Shelf Research*. 18: 1057–1079.

Dauvin, J. 2007. Paradox of estuarine quality: Benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Marine Pollution Bulletin*. 55: 271-281.

Day J. W., Kemp W. M., Hall C. A. S. & Yáñez-Arancibia A. 1989. *Estuarine Ecology*. New York, NY.

Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M., Yáñez-Arancibia, A. 2013. Estuarine ecology. In: Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M., Yáñez-Arancibia, A. (Eds.), *Ecological Economics*. Wiley-Blackwell, Canada.

De La Cruz-Aguero, G. 1994. *Sistema de Análisis de Comunidades. Versión 3.0*. Dpto. Pesquerías y Biología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, La Paz, BCS, México, pp 99.

de Jonge, V. C., Elliott, M., & Orive, E. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: Eutrophication. *Hydrobiologia* 475/476, 1-19.

Delgado C. & Pardo I. 2014. Comparison of benthic diatoms from Mediterranean and Atlantic Spanish streams: Community changes in relation to environmental factors. *Aquatic Botany* 120: 304–314.

Delgado C., Pardo I. & García L. 2010. A multimetric diatom index to assess the ecological status of coastal Galician rivers (NW Spain). *Hydrobiologia* 644: 371–384.

Delgado C., Pardo I. & García L. 2012. Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Islands, Spain). *Ecological Indicators* 15: 131–139.

Desianti N., Potapova M., Enache M., Belton T. J., Velinsky D. J., Thomas R. & Mead J. 2017. Sediment Diatoms as Environmental Indicators in New Jersey Coastal Lagoons. *Journal of Coastal Research* 78: 127–140.

Desrosiers C., Leflaive J., Eulin A. & Ten-Hage L. 2013. Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems. *Ecological Indicators* 32: 25–34.

Dufrêne, M. & Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetric approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-66.

Escavara, V., Ysebeart, T., & Herrman, P. 2004. Description of the maximal and good ecological potentials (MEP/GEP) for the benthic macrofauna for the European Water Framework Directive (WFD), the Westerschelde.

Facca C. & Sfriso A. 2007. Epipellic diatom spatial and temporal distribution and relationship with the main environmental parameters in coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75: 35–49.

Fichez R., Linares C., Chifflet S., Conan P., Esparza A. C. R., Denis L., Douillet P., Grenz C., Ghiglione J. F., Mendieta F. G., Origel-Moreno M., Caravaca A. M., Pujo-Pay M. & Zavala-Hidalgo J. 2019. Spatiotemporal variability in Terminos Lagoon (Mexico) waters during the 2009–2010 drought reveals upcoming trophic status shift in response to climate change. *Regional Environmental Change* 19: 1787–1799.

Frankovich T. A., Gaiser E. E., Zieman J. C. & Wachnicka A. H. 2006. Spatial and temporal distributions of epiphytic diatoms growing on *Thalassia testudinum* Banks ex König: relationships to water quality. *Hydrobiologia* 569: 259–271.

García-Ramírez. 2007. Selección de ensambles multi-específicos de indicadores ecológicos utilizando aves. Trabajo recepcional: Especialización en Métodos Estadísticos. Universidad Veracruzana, Facultad de Estadística e Informática. Veracruz, Mexico.

Gold-Bouchot G., Silva-Herrera T. & Zapata-Pérez O. 1993. Chlorinated Pesticides in the Rio Palizada, Campeche, Mexico 26: 648–650.

Grenier M., Lavoie I., Rousseau A. N. & Campeau S. 2010. Defining ecological thresholds to determine class boundaries in a bioassessment tool: The case of the Eastern Canadian Diatom Index (IDEC). *Ecological Indicators* 10: 980–989.

Grenz C., Fichez R., Álvarez-Silva C., Calva-Benítez L., Conan P., Contreras Ruiz Esparza A., Esparza R., Denis L., Díaz-Ruiz S., Douillet P., Martínez-Gallegos M. E., Ghiglione J.-F., Gutiérrez-Mendieta F., Origel-Moreno M., Marquez-García A. Z., Muñoz Caravaca A., Pujo-Pay M., Torres-Alvarado R. & Zavala-Hidalgo J. 2017. Benthic ecology of tropical coastal lagoons : Environmental changes over the last decades in the Términos Lagoon, México. *C. R. Geoscience* 349: 319–329.

Hammer O., Harper D. A. T. & Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9.

HANKIN S. L., WEILHOEFER C. L., KALDY J. E. & DEWITT T. H. 2012. Sediment diatom species and community response to nitrogen addition in Oregon (USA) estuarine tidal wetlands. *Wetlands* 32: 1023–1031.

Hudson P. F., Hendrickson D. A., Benke A. C., Varela-Romero A. & Rodiles-Hernández R. 2005. *Rivers of North America*. In: *Rivers of North America* (A. C. Benke and C. E. Cushing (eds)). Elsevier Academic Press.

Kelly M., Bennett C., Coste M., Delgado C., Delmas F., Denys L., Ector L., Fauville C., Ferréol M., Golub M., Jarlman A., Kahlert M., Lucey J., Ní Chatháin B., Pardo I., Pfister P., Picinska-Faltynowicz J., Rosebery J., Schranz C., Schaumburg J., Van Dam H. & Vilbaste S. 2009. A comparison of national approaches to setting ecological status boundaries in phytobenthos assessment for the European Water Framework Directive: Results of an intercalibration exercise. *Hydrobiologia* 621: 169–182.

Kelly M. G. 2002. Role of benthic diatoms in the implementation of the Urban Wastewater Treatment Directive in the River Wear, North-East England. *Journal of Applied Phycology* 14: 9–18.

Kelly M. G., Penny C. J. & Whitton B. A. 1995. Comparative performance of benthic diatom indices used to assess river water quality. *Hydrobiologia* 302: 179–188.

Kelly M. G. & Whitton B. A. 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433–444.

Lavoie I., Campeau S., Grenier M. & Dillon P. J. 2006. A diatom-based index for the biological assessment of eastern Canadian rivers: An application of correspondence analysis (CA). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 1793–1811.

Lavoie, I., Dillon, P. J., & Campeau, S. 2009. The effect of excluding diatom taxones and reducing taxonomic resolution on multivariate analyses and stream bioassessment. *Ecological Indicators* 9: 213-225.

Lavoie I., Campeau S., Zugic-Drakulic N., Winter J. G. & Fortin C. 2014. Using diatoms to monitor stream biological integrity in Eastern Canada: An overview of 10 years of index development and ongoing challenges. *Science of the Total Environment* 475: 187–200.

Lee R. E. 1992. *Phycology*. Cambridge University Press.

Lei, Y., Du, X., Wang, Y., Chen, Q., Tang, H., & Jiang, S. 2018. Diatom succession dynamics controlled by multiple forces in a subtropical reservoir in southern China. *Quaternary International* 493: 227-244.

Lloret, J., Marín, A., & Marín-Guirao, L. 2008. Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78: 403-412.

López-Fuerte F. O., Siqueiros-Beltrones D. A. & Hernández-Lmeida O. U. 2013. Epiphytic diatoms of *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) from the Mexican Caribbean. *Marine Biodiversity Records* 6: 1–11.

López-Fuerte F., Siqueiros-Beltrones D. A. & Veleza L. 2019. Diatoms (Bacillariophyta) from artificial substrates and sediments in the Caribbean sea off Yucatan, Mexico. *Phytotaxones* 406: 1–54.

Lopez-Mejia D. 2016. Caracterización de la taxocenosis de diatomeas epífitas de *Thalassia testudinum* K.D. Koenig en la costa de Campeche, México. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

MacLulich J. H. 1986. Colonization of bare rock surfaces by microflora in a rocky intertidal habitat. *Marine Ecology Progress Series* 32: 91–96.

Martínez Y. J., Siqueiros-Beltrones D. A. & Marmolejo-Rodríguez A. J. 2021. Response of benthic diatom assemblages to contamination by metals in a marine environment. *Journal of Marine Science and Engineering* 9.

McGarigal, K., Cushman, S., & Stanfford, S. 2000. *Multivariate statistics for wildlife and Ecology Research*. Springer-Verlag, New York, Inc., pp. 283.

Medina-Gómez I., Villalobos-Zapata G. J. & Herrera-Silveira J. A. 2015. Spatial and Temporal Hydrological Variations in the Inner Estuaries of a Large Coastal Lagoon of the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research* 31: 1429–1438.

Montagna, P. A., Blanchard, G. F. & Dinét, A. 1995. Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofauna grazing rates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 185: 149-165.

Nixon S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41: 199–219.

Pandey L. K., Lavoie I., Morin S., Park J., Lyu J., Choi S., Lee H. & Han T. 2018a. River water quality assessment based on a multi-descriptor approach including chemistry, diatom assemblage structure, and non-taxonomical diatom metrics. *Ecological Indicators* 84: 140–151.

Pandey L. K., Sharma Y. C., Park J., Choi S., Lee H., Lyu J. & Han T. 2018b. Evaluating features of periphytic diatom communities as biomonitoring tools in fresh, brackish and marine waters. *Aquatic Toxicology* 194: 67–77.

Pardo I., Delgado C., Abraín R., Gómez-Rodríguez C., García-Roselló E., García L. & Reynoldson T. B. 2018. A predictive diatom-based model to assess the ecological status of streams and rivers of Northern Spain. *Ecological Indicators* 90: 519–528.

Passy S. I. & Bode R. W. 2004. Diatom model affinity (DMA), a new index for water quality assessment. *Hydrobiologia* 524: 241–251.

Peragallo H. & Peragallo M. 1908. *Diatomees marines de France et des districts marines voisins*. Tempere, France.

Perillo, G. M. E. 1995. Geomorphology and sedimentology of estuaries. In: *Developments in sedimentology*, vol 53. Elsevier, Amsterdam, pp. 471.

Ponce-Manjarrez E. J. 2016. Variabilidad espacio-temporal de los principales grupos fitoplanctónicos mediante la utilización de pigmentos marcadores, en la laguna de Términos, Campeche. Tesis de Mestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ramos-Miranda J., Quiniou L., Flores-Hernandez D., Do-Chis T., Ayala-Pérez L. & Sosa-Lopez A. 2005. Spatial and temporal changes in the nekton of the Términos Lagoon, Campeche, México. *Journal of Fish Biology* 66: 513–530.

Robadue D. J., Oczkowski A., Calderon R., Bach L. & Cepeda M. F. 2004. Characterization of the region of the Términos Lagoon, Campeche, Mexico: Draft for discussion. *The Nature Conservancy*: 50.

Round F. E. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology* 3: 129–145.

Rovira L., Trobajo R., Leira M. & Ibáñez C. 2012. The effects of hydrological dynamics on benthic diatom community structure in a highly stratified estuary: The case of the Ebro Estuary (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 101: 1–14.

Schmidt A., Schmidt M., Fricke F., Heiden H., Muller O. & Hustedt F. (n.d.). *Atlas der diatomaceenkunde. Heft 1-20, Tafeln 1-460*. Reisland, Leipzig.

Schelske, C. L., & Odum, E. P. 1962. Mechanisms maintaining high productivity in Georgia estuaries. *Proc Gulf Caribb Fish Inst* 14: 75-80.

Shannon L., Weilhoefer C., Kaldy J. & DeWitt T. 2012. Sediment diatom species and community response to nitrogen addition in Oregon (USA). *Estuarine Tidal Wetlands. Wetlands* 32: 1023–1031.

Sheppard, C. 1995. The shifting baseline syndrome. *Marine Pollution Bulletin* 30: 766-767.

Sieburth J. M. & Thomas C. 1973. Fouling on eelgrass (*Zostera marina*). *Journal of Phycology* 9: 46–50.

Siqueiros-Beltrones D. A. 2014. Asociaciones de diatomeas bentónicas marinas; análisis de su estructura y su aplicación. *Serie Científica: Tópicos Selectos Sobre Microalgas* Volumen 2, No. Especial 1.

Siqueiros-Beltrones D. A. 2002. *Diatomeas Bentónicas de la Península de Baja California, Diversidad y Potencial Ecológico*. IPN-CICIMAR.

Siqueiros Beltrones D. A. & Argumedo-Hernández, U. 2014. Particular structure of an epiphytic diatom assemblage living on *Plocclamium cartilagineum* (Lamoroux) Dixon (Rhodophyceae: Gigartinales). *CICI-MAR-Oceánides* 29: 11-24.

Siqueiros-Beltrones D. A., López-Fuerte F. O., Martínez Y. J. & Carmen A.-C. M. del 2021. A First Estimate of Species Diversity for Benthic Diatom Assemblages from the Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Diversity* 14.

Siqueiros-Beltrones D. A., López-Mejía D. & Gutiérrez-Mendieta F. 2020. High species richness of epiphytic *Mastogloia* (Mastogloiales: Bacillariophyceae) on *Thalassia testudinum* along the coast of Campeche, southern Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91.

Siqueiros-Beltrones D. A., Martínez-Yuriko J. & Aldana-Moreno A. 2019. Exploratory floristics of epiphytic diatoms from Revillagigedo Islands (Mexico). *Cymbella* 5.

Siqueiros-Beltrones D. A. & Martínez Y. J. 2017. Prospective Floristics of Epiphytic Diatoms on Rhodophyta From the Southern Gulf of Mexico. *CICIMAR Oceánides* 32: 35–49.

Siqueiros Beltrones D. A., Hernández U. A. & Hernández Almeida O. U. 2017. High species diversity (H') of benthic diatoms in a coastal lagoon located within a natural protected area. *Hidrobiologica* 27: 293–300.

Snoeijs P. 1994. Distribution of epiphytic diatom species composition, diversity and biomass on different macroalgal hosts along seasonal and salinity gradients in the Baltic Sea. *Diatom Research* 9: 189–211.

- Strickland J. D. H. & Parsons T. R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Ottawa.
- Sullivan M. J. 1976. Long-term effects of manipulating light intensity and nutrient enrichment on the structure of a salt marsh diatom community. *Journal of Phycology* 12: 205–210. Blackwell Science Inc.
- Szczepocka E. & Szulc B. 2009. The use of benthic diatoms in estimating water quality of variously polluted rivers. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 38: 17–26.
- Terrados J., Ramírez-García P., Hernández-Martínez Ó., Pedraza K. & Quiroz A. 2008. State of *Thalassia testudinum* Banks ex König meadows in the Veracruz Reef System, Veracruz, México. *Aquatic Botany* 88: 17–26.
- Tornés E., Mor J. R., Mandaric L. & Sabater S. 2018. Diatom responses to sewage inputs and hydrological alteration in Mediterranean streams. *Environmental Pollution* 238: 369–378.
- Tudurí A., Becoña L. P., Venturini N., Rodríguez-Gallego L., García-Rodríguez F., González L., Lescano C., Costa S., del Puerto L. & Bergamino L. 2021. Trophic assessment in South American Atlantic coastal lagoons: Linking water, sediment and diatom indicators. *Marine Pollution Bulletin* 165.
- Underwood G., Phillips J. & Saunders K. 1998. Distribution of estuarine benthic diatom species along salinity and nutrient gradients. *European Journal of Phycology* 33: 173–183.
- Varona-Cordero, F., & Gutiérrez-Mendieta, F. J. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica* 13(3): 177-194.
- Weckström K. & Juggins S. 2005. Coastal diatom-environment relationships from the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Journal of Phycology* 42: 25–35.

Werner, D. 1977. Silicate metabolism. In *The Biology of Diatoms*, ed. D. Wener, pp. 49-110 Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Wildsmith, M. D., Valesini, F. J., & Robinson, S. F. 2017. The value of enduring environmental surrogates as predictors of stuarine benthic macroinvertebrate assemblages. *Estuarine Coastal Shelf Sciences* 197: 159-172.

Yáñez-Arancibia A. & Day J. W. 1988. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon estuarine system in the southern Gulf of México. In: *Ecology of a Coastal Ecosystem in the Southern Gulf of Mexico: Términos Lagoon Region* (Ed. by A. Yáñez-Arancibia & J. W. J. Day), pp. 1–26. Editorial Universitaria, México, D.F.

Zelinka M. & Marvan P. 1961. Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation des Reinheit fliessender Grewässer.. *Arch. Hydrobiol* 57: 389–407.

Paginas web

Diatom Flora of Britain and Ireland

<https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms/>

Diatoms of North America

<https://diatoms.org>

Diatom New Taxon File

<http://symbiont.ansp.org/dntf/>

Oamaru Diatoms

<https://www.oamarudiatoms.co.uk>

8. Glosario

- Florística.- Rama de la Fitogeografía que se dedica a inventariar los taxones de un territorio. En este estudio se utiliza y entiende como el inventario o lista de especies de diatomeas presentes en la zona de estudio.
- Asociación.-
 - “Comunidad vegetal caracterizada por una florística y organización sociológica definida, características que muestran, por la presencia de especies, cierta independencia” (Braùn-Blanquet, 1921).
 - “Tipo concreto de comunidad vegetal que se caracteriza por tener unas determinadas cualidades mesológicas, una distribución geográfica concreta, y una composición florística determinada, y estadísticamente homogénea y constante” (Rivas-Martínez, 1995).
 - En este estudio se entiende como las especies (florística) que forman parte de la comunidad de diatomeas que están presentes y caracterizan la zona.
- Comunidad.- Conjunto de poblaciones. A lo largo del documento se utiliza como sinónimo de Asociación.
- Estructura de la asociación.-En este estudio se utiliza como las características que presentan las asociaciones de diatomeas (riqueza, diversidad y composición de especies).
- Taxocenosis.- Grupo de organismos taxonómicamente relacionados que coocurre.
- Especie indicadora.- En este documento hace referencia a aquellas especies que, con base en el IndVal, presentan una mayor afinidad por ciertas características ambientales, por lo que su observación puede «indicar» la presencia de esas características ambientales.

9. Apéndice

Apéndice A. Lista de especies

Cuadro Apéndice a.-Lista de especies presentes en la Laguna de Términos.

Taxones	Codigo	Temporada		
		S ec	LI u	N or
Filum: Bacillariophyta				
Clase: Bacillariophyta Clases incertae sedis				
Orden: Bacillariophyta ordo incertae sedis				
Familia: Bacillariophyta familia incertae sedis				
Género: <i>Ambo</i> Witkowski, Ashworth, Lange-Bertalot & Klein, 2020				
<i>Ambo tenuissimus</i> (Hustedt) A.Witkowski, Lange-Bertalot & M.Ashworth	Amb.ten		*	*
Género: <i>Hobaniella</i> P.A.Sims & D.M.Williams, 2018				
<i>Hobaniella longicuris</i> (Greville) P.A.Sims & D.M.Eilliams	Hob.lon	*	*	
Género: <i>Pinnulariosigma</i> Desikachary, Raja Roa & Sridharan, 1989				
<i>Pinnulariosigma raëanum</i> (Castracane) Desikachary, Raj Rao & Sridharan Pin.raë 0 0 2				
Clase: Bacillariophyceae				
Oden: Bacillariales				
Familia: Bacillariaceae				
Género: <i>Bacillaria</i> J.F.Gmelin, 1791				
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Müller) T.Marsson	Bac.pax			*
<i>Bacillaria socialis</i> (W.Gregory) Ralfs	Bac.soc	*		*
Género: <i>Cylindrotheca</i> Rabenhorst, 1859, nom. Cons				
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin	Cyl.clo	*	*	*
Género: <i>Fragilariopsis</i> Hustedt, 1913				
<i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin & P.A.Sims	Fra.dol	*	*	
Género: <i>Nitzschia</i> Hassall, 1845, nom. cons.				
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	Nit.aci	*		
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith var. <i>closterium</i>	Nit.acic			*
<i>Nitzschia aequorea</i> Hustedt	Nit.aeq	*	*	*
<i>Nitzschia angularis</i> W.Smith	Nit.ang	*	*	*
<i>Nitzschia aremonica</i> Archibald	Nit.are		*	
<i>Nitzschia behrei</i> Hustedt	Nit.beh	*		*
<i>Nitzschia biacrula</i> Hohn & Hellermann	Nit.bia	*		*
<i>Nitzschia bilobata</i> W.Smith var. ?	Nit.bil		*	
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt	Nit.cap	*	*	*
<i>Nitzschia carnicobarica</i> Desikachary & Prema	Nit.car	*		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>acicularis</i> (Kützing) W.Smith	Nit.aci			*
<i>Nitzschia</i> cf. <i>bremensis</i> Hustedt var. <i>jeniseyensis</i>	Nit.bre			*
<i>Nitzschia</i> cf. <i>dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	Nit.dis	*	*	*
<i>Nitzschia</i> cf. <i>paleacea</i> (Grunow) Grunow	Nit.pal			*
<i>Nitzschia</i> cf. <i>pulcherrima</i> (Grunow ex Kitton) Grunow	Nit.pul	*		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot	Nit.umb			*
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	Nit.dis	*	*	*
<i>Nitzschia distans</i> W.Gregory	Nit.dis	*	*	*
<i>Nitzschia distans</i> W.Gregory var. <i>distans</i>	Nit.disd			*
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow	Nit.fru	*	*	*
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow var. <i>perminuta</i>	Nit.frup	*	*	*
<i>Nitzschia grossestriata</i> Hustedt	Nit.gro	*	*	*
<i>Nitzschia incognita</i> Lagler & Krasske	Nit.inc	*	*	*

<i>Nitzschia incurva</i> var. <i>lorenziana</i> R.Ross	Nit.inc	*	*	
<i>Nitzschia inflata</i> Kufferath	Nit.inf	*		
Continuación. Cuadro apéndice a				
<i>Nitzschia laevis</i> Frenguelli	Nit.lae	*	*	*
<i>Nitzschia lanceolata</i> W.Smith	Nit.lan	*		
<i>Nitzschia lanceolata</i> W.Smith var. <i>incrustans</i>	Nit.lani	*	*	*
<i>Nitzschia libertruthii</i> Rabenhorst	Nit.lib	*	*	*
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow	Nit.mic	*	*	*
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	Nit.pal	*	*	*
<i>Nitzschia pellucida</i> Grunow	Nit.pel	*	*	*
<i>Nitzschia prolongata</i> Hustedt	Nit.pro		*	
<i>Nitzschia pusilla</i> Grunow	Nit.pus	*	*	
<i>Nitzschia reversa</i> W.Smith	Nit.rev	*		*
<i>Nitzschia sicula</i> (Castracane) Hustedt var. <i>bicuneata</i>	Nit.sic	*	*	
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W.Smith	Nit.sig			*
<i>Nitzschia sigmaformis</i> Hustedt	Nit.sigm	*		
<i>Nitzschia soratensis</i> E.A.Morales & M.L.Vis	Nit.sor		*	*
<i>Nitzschia</i> sp.1	Nit.sp1		*	*
<i>Nitzschia</i> sp.2	Nit.sp2		*	*
<i>Nitzschia</i> sp.3	Nit.sp3			*
<i>Nitzschia</i> sp.4	Nit.sp4			*
<i>Nitzschia</i> sp.6	Nit.sp6			*
<i>Nitzschia thermaloides</i> Hustedt	Nit.the	*		
<i>Nitzschia tubicula</i> Grunow	Nit.tub	*	*	*
Género: Psammodictyon D.G.Mann, 1990				
<i>Psammodictyon panduriforme</i> (W-Gregory) D.G.Mann var. <i>abrupta</i>	Psa.pana		*	
<i>Psammodictyon panduriforme</i> (W-Gregory) D.G.Mann var. <i>constricta</i>	Psa.panc	*		
<i>Psammodictyon panduriforme</i> var. <i>continua</i> (Grunow) Snoeijis	Psa.panc o	*		
Género: Tryblionella W.Smith, 1853				
<i>Tryblionella angustatula</i> (Lange-Bertalot) Cantonati & Lange-Bertalot	Try.ang	*		
<i>Tryblionella coarctata</i> (Grunow) D.G.Mann	Try.coa	*	*	*
<i>Tryblionella compressa</i> (Bailey) Poulin	Try.com	*	*	
<i>Tryblionella granulata</i> (Grunow) D.G.Mann	Try.gra	*	*	
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli	Try.hun	*		
<i>Tryblionella lanceolata</i> Grunow	Try.lan	*	*	*
<i>Tryblionella levidensis</i> W.Smith	Try.lev	*		
<i>Tryblionella pararostrata</i> (Lage-Bertalot) Clavero & Hernández-Mariné	Try.par	*	*	*
<i>Tryblionella persuadens</i> (Cholnoki) K.P.Cavalcante, P.I.Tremanin & T.A.V.Ludwig	Try.per	*	*	
<i>Tryblionella punctata</i> W.Smith	Try.pun	*	*	*
Orden: Cocconeidales				
Familia: Achnanthidiaceae				
Género: Achnanthidium Kützing				
<i>Achnanthidium</i> cf. <i>delicatulum</i> Kützing	Ach.del	*		
<i>Achnanthidium petersenii</i> (Hustedt) C.E.Wetzel, L.Ector, D.M.Williams & I.Jüttner	Ach.pet	*	*	*
<i>Achnanthidium pyrenaicum</i> (Hustedt) H.Kobayasi	Ach.pyr	*		
Género: Astartiella A.Witkowski, Lange-Bertalot & D.Metzeltin, 1998				
<i>Astartiella</i> cf. <i>bahuensis</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Ast.bah		*	
<i>Astartiella</i> cf. <i>bahusiensoides</i> (Foged) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Ast.bahu		*	*
<i>Astartiella punctifera</i> (Hustedt) Witkowski & Lange-Bertalot	Ast.pun	*	*	
<i>Astartiella societatis</i> Riaux-Gobin, Witkowski & Romero	Ast.soc	*	*	*
<i>Astartiella</i> sp.1	Est.spm1	*		

Género: <i>Karayevia</i> Round & L.Bukhtiyarova ex Round, 1998				
<i>Karayevia amoena</i> (Hustedt) Bukhtiyarova	Kar.amo	*	*	*
Género: <i>Planothidium</i> Round & L.Bukhtiyarova, 1996				
<i>Planothidium campechianum</i> (Hustedt) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Pla.cam		*	*
Continuación. Cuadro apéndice a				
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	Ach.fre	*	*	*
<i>Planothidium</i> cf. <i>hauckianum</i> (Grunow) Bukhtiyarova	Pla.chau			*
<i>Planothidium</i> cf. <i>lilljeborgei</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Pla.lil		*	
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova	Pla.del			*
<i>Planothidium deperditum</i> (M.H.Giffen) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Pla.dep	*	*	
<i>Planothidium hauckianum</i> (Grunow) Bukhtiyarova	Pla.hau	*		*
Familia: Achnanthidiaceae				
Género: <i>Lemnicola</i> Round & Basson, 1997				
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson	Lem.hun	*		
Familia: Cocconeidaceae				
Género: <i>Amphicocconeis</i> M.De Stefano & D.Marino, 2002				
<i>Amphicocconeis</i> cf. <i>disculoides</i> (Hustedt) Stefano & Marino	Amp.cfdi s	*	*	*
<i>Amphicocconeis discrepans</i> (A.W.F.Schmidt) Riaux-Gobin, Witkowski, Ector & Igersheim	Amp.disc	*	*	*
<i>Amphicocconeis disculoides</i> (Hustedt) Stefano & Marino	Amp.dis	*	*	*
Género: <i>Cocconeopsis</i> Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin				
<i>Cocconeopsis</i> cf. <i>pullus</i> (Hustedt) A.Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Coc.pul	*		*
<i>Cocconeopsis patrickae</i> (Hustedt) A.Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Coc.pat	*	*	*
Género: <i>Cocconeis</i> Ehrenberg				
<i>Cocconeis</i> cf. <i>dirupta</i> W.Gregory	Coc.dir	*		
<i>Cocconeis</i> cf. <i>distans</i> W.Gregory	Coc.dis	*	*	*
<i>Cocconeis</i> cf. <i>distantula</i> M.H.Giffen	Coc.dist		*	
<i>Cocconeis guttata</i> Hustedt & Aleem	Coc.gut		*	
<i>Cocconeis neothumensis</i> Krammer	Coc.neo		*	*
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	Coc.pla	*	*	*
<i>Cocconeis pseudonotata</i> M.De Stefano & D.Marino	Coc.pse	*	*	
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg var. <i>scutellum</i>	Coc.scu	*	*	*
<i>Cocconeis</i> sp.1	Coc.sp1			*
<i>Cocconeis</i> sp.2	Coc.sp2			*
<i>Cocconeis</i> sp.5	Coc.sp5			*
<i>Cocconeis speciosa</i> W.Gregory	Coc.spe	*	*	*
Familia: Heliopeltaceae				
Género: <i>Actinoptychus</i> Ehrenberg				
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Act. Sen	*		
Familia: Naviculales incertae sedis				
Género: <i>Chamaepinnularia</i> Lange-Bertalot & Krammer, 1996				
<i>Chamaepinnularia alexandrowiczii</i> Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Cha.ale		*	
<i>Chamaepinnularia clamans</i> (Hustedt) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Cha.cla	*	*	*
<i>Chamaepinnularia soehrensensis</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Krammer	Cha.soe	*	*	*
Familia: Plagiogrammeaceae				
Género: <i>Dimeregramma</i> Ralfs, 1861				
<i>Dimeregramma minus</i> (W.Gregory) Ralfs	Dim.min	*		
Familia: Scoliotropidaceae				
Género: <i>Biremis</i> D.G.Mann & E.J.Cox				
<i>Biremis ambigua</i> (Cleve) D.G.Mann	Bir.amb	*	*	*
<i>Biremis circumtexta</i> (Meister ex Hustedt) Lange-Bertalot & Witkowski	Bir.cir		*	*
<i>Biremis lucens</i> (Hustedt) Sabbe, Witkowski & Vyverman	Bir.luc	*		*

Orden: Cymbellales				
Familia: Anomoeoneidaceae				
Género: <i>Adlafia</i> Gerd Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin, 1998				
<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot	Adl.min	*	*	*
Género: <i>Dickieia</i> Berkeley ex Kützing, 1844				
<i>Dickieia subinflata</i> (Grunow) D.G.Mann	Dic.sub	*	*	*
Continuación. Cuadro apéndice a				
Género: <i>Staurophora</i> Mereschkowsky, 1903, nom. cons.				
<i>Staurophora amphioxys</i> (W.Gregory) D.G.Mann	Sta.amp			*
<i>Staurophora salina</i> (W.Smith) Mereschkowsky	Sta.sal	*	*	
<i>Staurophora tackei</i> (Hustedt) Bahls	Sta.tac	*	*	*
Familia: Cymbellaceae				
Género: <i>Cymbella</i> C.Agardh, 1830, nom. et typ. cons				
<i>Cymbella</i> sp.1	Cym.sp1		*	
Género: <i>Encyonopsis</i> Krammer, 1997				
<i>Encyonopsis falaisensis</i> (Grunow) Krammer	Enc.fal	*		*
Familia: Gomphonemataceae				
Género: <i>Gomphonema</i> Ehrenberg, 1832, nom. et typ. cons.				
<i>Gomphonema sarcophagus</i> W.Gregory	Gom.sar			*
Orden: Eunotiales				
Familia: Eunotiaceae				
Género: <i>Eunotia</i> Ehrenberg, 1837				
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst var. <i>minor</i> f. <i>intermedia</i>	Eun.pec	*	*	*
<i>Eunotia</i> sp.1	Eun.sp.1	*		
Orden: Fragilariales				
Familia: Fragilariaceae				
Género: <i>Fragilaria</i> Lyngbye, 1819				
<i>Fragilaria</i> sp.1	Fra.sp1		*	
Género: <i>Martyana</i> Round, 1990				
<i>Martyana atomus</i> (Hustedt) Snoeijis	Mar.ato	*		
Familia: Rhoicospheniaceae				
Género: <i>Campylopyxis</i> Medlin				
<i>Campylopyxis germainii</i> D.G.Mann	Cam.ger	*	*	*
Familia: Staurosiraceae				
Género: <i>Opephora</i> P.Petit, 1889				
<i>Opephora minuta</i> (A.Cleve) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Ope.min	*	*	*
<i>Opephora mutabilis</i> Sabbe & Wyverman, nom. inval.	Ope.mut		*	
<i>Opephora pacifica</i> (Grunow) Petit	Ope.pac	*	*	*
Género: <i>Staurosira</i> Ehrenberg, 1843				
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	Sta.con	*		
<i>Staurosira incerta</i> E.Morales	Stau.inc	*		
<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal	Sta.lep			*
<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal var. <i>dubia</i>	Sta.lepd	*	*	*
Género: <i>Staurosirella</i> D.M.Williams & Round, 1988				
<i>Staurosirella gunter-grassi</i> (Witkowski & Lange-Bertalot) E.A.Morales, C.E.Wetzel & Ector	Sta.gun	*	*	*
<i>Staurosirella mutabilis</i> (W.Smith) E.Morales & Van de Vijver	Sta.mut	*	*	*
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round	Sta.pin	*	*	*
Orden: Licmophorales				
Familia: Licmophoraceae				
Género: <i>Licmophora</i> C.Agardh, 1827, nom. et typ. cons.				
<i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh	Lic.abb	*	*	*
<i>Licmophora dalmatica</i> (Kützing) Grunow	Lic.dal	*		
<i>Licmophora paradoxa</i> (Lyngbye) C.Agardh	Lic.par	*		

<i>Licmophora remulus</i> (Grunow) Grunow	Lic.rem	*		
<i>Licmophora</i> sp.1	Lic.sp1			*
Familia: Ulnariaceae				
Género: <i>Falcula</i> M.Voight, 1960				
<i>Falcula media</i> Voigt	Fal.med			*
Género: <i>Hyalosynedra</i> D.M.Williams & F.E.Round, 1986				
<i>Hyalosynedra laevigata</i> (Grunow) D.M. Williams & Round	Hay.lae	*	*	*
Continuación. Cuadro apéndice a				
Género: <i>Tabularia</i> (Kützing) D.M.Williams & Round, 1986				
<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M.Williams & Round	Tab.fas	*	*	
<i>Tabularia ktenoeoides</i> M.Kuylenstierna	Tab.kte	*		*
Género: <i>Trachysphenia</i> P.Petit, 1877				
<i>Trachysphenia acuminata</i> H.Peragallo	Tra.acu	*		*
Orden: Lyrellales				
Familia: Lyrellaceae				
Género: <i>Lyrella</i> Karayeva, 1978				
<i>Lyrella approximatoides</i> (Hustedt) D.G.Mann	Lyr.app			*
Género: <i>Petroneis</i> A.J.Stickle & D.G.Mann, 1990				
<i>Petroneis monilifera</i> (Cleve) Stickle & D.G.Mann	Pet.mon	*		
<i>Petroneis punctigera</i> (Hustedt) D.G.Mann	Pet.pun	*	*	*
Orden: Mastogloiales				
Familia: Achnanthaceae				
Género: <i>Achnanthes</i> Bory				
<i>Achnanthes alteragracillimum</i> Round & Bukhtiyarova	Ach.alt	*	*	
<i>Achnanthes antarctica</i> M. Peragallo	Ach.ant			*
<i>Achnanthes bioselettiana</i> Cleve-Euler	Ach.bio	*	*	*
<i>Achnanthes</i> cf. <i>brevipes</i> H.Peragallo & M.Peragallo	Ach.bre	*	*	
<i>Achnanthes</i> cf. <i>hyperboreoides</i> Witkowski, Metzeltin & Lange-Bertalot	Ach.hyp	*	*	*
<i>Achnanthes</i> cf. <i>lorenziana</i> (Grunow) Cleve	Ach.lor			*
<i>Achnanthes delicatissima</i> Simonsen	Ach.del	*		
<i>Achnanthes dieselbe</i> var. <i>macrocephala</i>	Ach.die			*
<i>Achnanthes fimbriata</i> (Grunow) R.Ross	Ach.fri		*	
<i>Achnanthes fagedii</i> Hakansson	Ach.fog	*		
<i>Achnanthes leonardii</i> Witkowski & Lange-Bertalot	Ach.leo	*		
<i>Achnanthes linearis</i> (W.Smith) Grunow	Ach.lin		*	
<i>Achnanthes valida</i> Hustedt ex Simonsen	Ach.val	*	*	*
<i>Achnanthes ventralis</i> (Krasske) Lange-Bertalot	Ach.ven	*	*	*
Familia: Gomphonemataceae				
Género: <i>Encyonema</i> Kützing, 1834				
<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) D.G.Mann	Enc.mes			*
Familia: Mastogloiaceae				
Género: <i>Mastogloia</i> Thwaites ex W.Smith, 1856				
<i>Mastogloia angusta</i> Hustedt	Mas.ang	*	*	*
<i>Mastogloia angustata</i> Pantocsek	Mas.ang u			*
<i>Mastogloia apiculata</i> W.Smith	Mas.api		*	*
<i>Mastogloia balaensis</i> Voigt	Mas.bal	*		
<i>Mastogloia barbadensis</i> (Greville) Cleve	Mas.bar	*		
<i>Mastogloia binotata</i> (Grunow) Cleve	Mas.bin	*		*
<i>Mastogloia biocellata</i> (Grunow) G.Novarino & A.R.Muftah	Mas.bio		*	
<i>Mastogloia borneensis</i> Hustedt, <i>nom. inval.</i>	Mas.bor	*		
<i>Mastogloia braunii</i> Grunow	Mas.bra	*	*	*

<i>Mastogloia</i> cf. <i>striata</i> Meister	Mas.str	*	*	
<i>Mastogloia</i> cf. <i>vasta</i> Hustedt	Mas.vas	*		
<i>Mastogloia crucicula</i> (Grunow) Cleve	Mas.cru	*	*	*
<i>Mastogloia delicatissima</i> Hustedt	Mas.del			*
<i>Mastogloia erythraea</i> Grunow f. 1	Mas.ery1	*	*	*
<i>Mastogloia erythraea</i> Grunow f. 2	Mas.ery2		*	*
<i>Mastogloia erythraea</i> Grunow f. 3	Mas.ery3		*	
<i>Mastogloia gibbosa</i> Brun	Mas.gib			*
<i>Mastogloia lanceolata</i> Thwaites ex W.Smith	Mas.lan	*	*	*

Continuación. Cuadro apéndice a

<i>Mastogloia modesta</i> Voigt	Mas.mod		*	
<i>Mastogloia ovalis</i> A.W.F.Schmidt	Mas.ova	*	*	
<i>Mastogloia pumila</i> (Grunow) Cleve	Mas.pum		*	
<i>Mastogloia punctifera</i> Brun	Mas.pun		*	
<i>Mastogloia pusilla</i> Grunow var. <i>pusilla</i>	Mas.pus p	*	*	*
<i>Mastogloia pusilla</i> Grunow var. <i>subcapitata</i>	Mas.puss	*	*	*
<i>Mastogloia similis</i> Hustedt	Mas.sim		*	*
<i>Mastogloia</i> sp.1	Mas.sp1	*	*	
<i>Mastogloia</i> sp.2	Mas.sp2			*
<i>Mastogloia urveae</i> Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Mas.urv	*		
<i>Mastogloia viperina</i> Voigt	Mas.vip			*

Género: *Tetramphora* Mereschkowsky, 1903

<i>Tetramphora lineolata</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky	Tet.lin		*	*
<i>Tetramphora lineolatooides</i> Stepanek	Tet.lino	*	*	*
<i>Tetramphora ostrearia</i> (Brébisson) Mereschkowsky	Tet.ost	*	*	*
<i>Tetramphora ostrearia</i> (Brébisson) Mereschkowsky var. <i>vitrea</i>	Tet.ostv	*		
<i>Tetramphora rhombica</i> (Kitton) Stepanek & Kociolek	Tet.rho	*		
<i>Tetramphora robusta</i> Stepanek & Kociolek	Tet.rob			*

Orden: Naviculales

Familia: Amphipleuraceae

Género: *Amphiprora* Ehrenberg

<i>Amphiprora</i> sp.1	Amphi.1	*	*	
------------------------	---------	---	---	--

Género: *Frustulia* Rabenhorst, 1853, nom. et typ. Cons

<i>Frustulia interposita</i> (Lewis) De Toni	Fru.int	*	*	*
--	---------	---	---	---

Género: *Halamphora* (Cleve) Levkov, 2009

<i>Halamphora acutiuscula</i> (Kützing) Levkov	Hal.acu	*	*	*
<i>Halamphora angularis</i> (Gregory) Levkov	Hal.ang	*		
<i>Halamphora aponina</i> (Kützing) Levkov	Hal.apo		*	*
<i>Halamphora caribaea</i> (Wachnicka & E.E.Gaiser) Rimet & R.Jahn	Hal.car	*	*	*
<i>Halamphora</i> cf. <i>eunotia</i> (Cleve) Levkov	Hal.eun	*		
<i>Halamphora</i> cf. <i>turgida</i> (W.Gregory) Levkov	Hal.tur			*
<i>Halamphora coffeiformis</i> (C.Agardh) Mereschkowsky	Hal.cof	*	*	*
<i>Halamphora costata</i> (W.Smith) Levkov	Hal.cos	*	*	*
<i>Halamphora cuneata</i> (Cleve) Levkov	Hal.cun	*	*	*
<i>Halamphora cymbifera</i> (W.Gregory) Levkov	Hal.cym	*	*	*
<i>Halamphora cymbifera</i> (W.Gregory) Levkov var. <i>heritierarum</i>	Hal.cymh	*	*	*
<i>Halamphora dusenii</i> (Brun) Levkov	Hal.dus	*		
<i>Halamphora eunotia</i> (Cleve) Levkov	Hal.eun	*	*	*
<i>Halamphora holsatica</i> (Hustedt) Levkov	Hal.hol	*	*	*
<i>Halamphora hybrida</i> (Grunow) Levkov	Hal.hyb	*	*	
<i>Halamphora kolbei</i> (Aleem) Álvarez-Blanco & S.Blanco	Hal.kol			*

<i>Halamphora obscura</i> (Krasske) Levkov	Hal.obs	*		
<i>Halamphora semperpalorum</i> (Wachnicka & E.E.Gaiser) Rimet & R.Jahn	Hal.sem	*	*	
<i>Halamphora subsalina</i> Levkov	Hal.sub	*		*
<i>Halamphora tenerrima</i> (Aleem & Hustedt) Levkov	Hal.ten	*	*	*
<i>Halamphora terroris</i> (Ehrenberg) P.Wang	Hal.ter	*	*	*
<i>Halamphora turgida</i> (W.Gregory) Levkov	Hal.tur	*	*	*
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov	Hal.ven	*		*
Familia: Berkeleyaceae				
Género: Berkeleya Greville				
<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentepohl ex Roth) Grunow	Ber.rut	*	*	*
<i>Berkeleya scopulorum</i> (Brébisson ex Kützing) E.J.Cox	Ber.sco	*	*	
Género: Climaconeis Grunow				
Continuación. Cuadro apéndice a				
<i>Climaconeis scopulorioides</i> (Hustedt) E.J.Cox	Cli.sco	*	*	*
Familia: Brachysiraceae				
Género: Brachysira Kützing				
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère	Bra.mic		*	*
Género: Parlibellus E.J.Cox, 1988				
<i>Parlibellus</i> cf. <i>delognei</i> (Van Heurck) E.J.Cox	Par.cdel		*	
<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E.J.Cox	Par.del	*	*	*
<i>Parlibellus plicatus</i> (Donkin) E.J.Cox	Par.pli			*
Familia: Diadesmidaceae				
Género: Luticola D.G.Mann, 1990				
<i>Luticola permucicoides</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	Lut.per	*		*
Familia: Diploneidaceae				
Género: Diploneis Ehrenberg ex Cleve, 1894				
<i>Diploneis bombus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Dip.bom			*
<i>Diploneis</i> cf. <i>suborbicularis</i> (W.Gregory) Cleve	Dip.sub	*	*	*
<i>Diploneis mirabilis</i> Cleve	Dip.mir	*		*
<i>Diploneis obliqua</i> (Brun) Hustedt	Dip.obl		*	*
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve var. <i>smithii</i>	Dip.smi	*	*	
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve var. <i>vacillans</i>	Dip.smiv	*	*	*
<i>Diploneis weissflogii</i> (A.W.F.Schmidt) Cleve	Dip.wei		*	
Familia: Naviculaceae				
Género: Caloneis Cleve				
<i>Caloneis</i> cf. <i>absoluta</i> Manguin	Cal.abs			*
<i>Caloneis excentrica</i> (Grunow) Boyer	Cal.exc	*		*
<i>Caloneis liber</i> (W.Smith) Cleve	Cal.lib		*	*
Género: Gyrosigma Hassall, 1845, nom. cons.				
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	Gyr.acu	*		
<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Rabenhorst	Gyr.bal		*	*
<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Rabenhorst var. <i>diminutum</i>	Gyr.bald	*		
<i>Gyrosigma gibbyae</i> G.Reid	Gyr.gib			*
<i>Gyrosigma tenuissimum</i> (W.Smith) J.W.Griffith & Henfrey var. <i>hyperboreum</i>	Gyr.ten			*
<i>Gyrosigma murphyi</i> G.Reid	Gyr.mur		*	
Género: Haslea Simonsen, 1974				
<i>Haslea clevei</i> F.Hinz, P.E.Hargraves & F.A.S.Sterrenburg	Has.cle			*
<i>Haslea howeana</i> (Hagelstein) Giffen	Has.how	*	*	*
<i>Haslea ostrearia</i> (Gaillon) Simonsen	Has.ost	*	*	*
<i>Haslea</i> sp.1	Has.sp1	*		
<i>Haslea staurosigoidea</i> F.A.S.Sterrenburg & M.a.Tiffany	Has.sta	*	*	*
<i>Haslea stundlii</i> (Hustedt) Blanco, Borrego-Ramos & Olenici	Has.stu	*	*	*

Género: Hippodonta Lange-Bertalot, Witkowski & Metzeltin

<i>Hippodonta</i> sp.1	Hip.sp1			*
<i>Hippodonta</i> sp.2	Hip.sp2			*

Género: Navicula Bory, 1822

<i>Navicula abunda</i> Hustedt	Nav.abu			*
<i>Navicula agnita</i> Hustedt	Nav.agn	*	*	*
<i>Navicula aleksandrae</i> Lange-Bertalot, Bogaczewicz-Adamczak & Witkowski	Nav.ale		*	*
<i>Navicula ammophila</i> Grunow	Nav.amm	*	*	*
<i>Navicula apta</i> Hustedt	Nav.apt	*	*	*
<i>Navicula aquaedurae</i> Lange-Bertalot	Nav.aqu	*		
<i>Navicula arenaria</i> Donkin var. <i>arenaria</i>	Nav.area	*		
<i>Navicula arenaria</i> Donkin var. <i>rostellata</i>	Nav.arer	*	*	
<i>Navicula cancellata</i> Donkin	Nav.can	*		*
<i>Navicula cancellata</i> var. <i>retusa</i> (Brébisson) Cleve	Nav.canr	*		*

Continuación. Cuadro apéndice a

<i>Navicula</i> cf. <i>abunda</i> Hustedt	Nav.abu	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>borealis</i> (Ehrenberg) Kützing	Nav.bor	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>cancellata</i> Donkin	Nav.can	*		
<i>Navicula</i> cf. <i>diserta</i> Hustedt	Nav.dis	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>flagellifera</i> Hustedt	Nav.cfla	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>flanatica</i> Grunow	Nav.cflan	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>germanopolonica</i> Witkowski & Lange-Bertalot	Nav.ger		*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>kuripanensis</i> Hustedt	Nav.kur	*		
<i>Navicula</i> cf. <i>microdigitoradiata</i> Lange-Bertalot	Nav.mic		*	
<i>Navicula</i> cf. <i>palpebralis</i> Brébisson ex W.Smith var. <i>minor</i>	Nav.pal			*
<i>Navicula</i> cf. <i>pennata</i> A.W.F.Schmidt	Nav.pen		*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>perminuta</i> Grunow	Nav.per	*	*	*
<i>Navicula</i> cf. <i>transistans</i> Cleve	Nav.tra		*	
<i>Navicula</i> cf. <i>transistantoides</i> Foged	Nav.trans	*	*	*
<i>Navicula cincta</i> Pantocsek, <i>nom.illeg.</i>	Nav.cin	*	*	
<i>Navicula cremorne</i> M.H.Hohn & Helleman var. <i>salinarum</i>	Nav.cre	*		*
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	Nav.cry	*	*	*
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing var. <i>subsalina</i>	Nav.crys	*	*	*
<i>Navicula directa</i> (W.Smith) Brébisson	Nav.dir	*	*	*
<i>Navicula dissipata</i> Salah	Nav.dis		*	*
<i>Navicula entoleia</i> Cleve	Nav.ent			*
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot	Nav.eri	*	*	*
<i>Navicula flagellifera</i> Hustedt	Nav.fla	*	*	*
<i>Navicula flanatica</i> Grunow	Nav.fla	*	*	*
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	Nav.gre		*	*
<i>Navicula groschopffii</i> Hustedt	Nav.gro			*
<i>Navicula heterovalvata</i> Simonsen	Nav.het	*	*	
<i>Navicula hyalosira</i> Cleve	Nav.hya	*	*	
<i>Navicula invicta</i> Hustedt	Nav.inv		*	*
<i>Navicula lusoria</i> M.F.Giffen	Nav.lus	*	*	*
<i>Navicula meniscoides</i> Hustedt	Nav.men		*	*
<i>Navicula normaloides</i> Cholnoky	Nav.nor	*	*	*
<i>Navicula pavillardii</i> Hustedt	Nav.pav	*	*	
<i>Navicula pennata</i> A.W.F.Schmidt	Nav.pen	*	*	
<i>Navicula perminuta</i> Grunow	Nav.per	*	*	*
<i>Navicula phyllepta</i> Kützing	Nav.phy	*	*	*
<i>Navicula platyventris</i> F.Meister	Nav.pla	*	*	*

<i>Navicula radiosafallax</i> Lange-Bertalot	Nav.rad			*
<i>Navicula rajmundii</i> Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Nav.raj		*	*
<i>Navicula ramosissima</i> (C.Agardh) Cleve	Nav.ram	*	*	*
<i>Navicula rogersii</i> M.H.Giffen	Nav.rog	*		
<i>Navicula salinicola</i> Hustedt	Nav.sal		*	*
<i>Navicula</i> sp.1	Nav.sp1	*	*	*
<i>Navicula</i> sp.2	Nav.sp2	*	*	*
<i>Navicula</i> sp.3	Nav.sp3	*	*	*
<i>Navicula</i> sp.4	Nav.sp4		*	*
<i>Navicula</i> sp.5	Nav.sp5			*
<i>Navicula</i> sp.6	Nav.sp6		*	*
<i>Navicula</i> sp.7	Nav.sp7			*
<i>Navicula</i> sp.8	Nav.sp8	*		
<i>Navicula</i> sp.9	Nav.sp9	*		*
<i>Navicula</i> sp.10	Nav.sp10			*
<i>Navicula</i> sp.11	Nav.sp11			*

Continuación. Cuadro apéndice a

<i>Navicula</i> sp.12	Nav.sp12		*	
<i>Navicula</i> sp.13	Nav.sp13			*
<i>Navicula</i> sp.14	Nav.sp14			*
<i>Navicula</i> sp.15	Nav.sp15		*	
<i>Navicula</i> sp.16	Nav.sp16		*	*
<i>Navicula</i> sp.17	Nav.sp17	*		
<i>Navicula</i> sp.18	Nav.sp18		*	
<i>Navicula</i> sp.19	Nav.sp19		*	
<i>Navicula tenella</i> Brébisson ex Kützing	Nav.ten	*	*	*
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	Nav.tri	*		*
<i>Navicula tropicoidea</i> Witkowski, Metzeltin & Lange-Bertalot	Nav.tro	*		
<i>Navicula veneta</i> Kützing	Nav.ven	*	*	*
<i>Navicula viminoides</i> M.F.Giffen	Nav.vim		*	
<i>Navicula zostereti</i> Grunow f. <i>minor</i>	Nav.zos	*		*

Género: *Pinnunavis* H.Okuno, 1975

<i>Pinnunavis yarrensensis</i> (Grunow) H.Okuno	Pin.yar	1	1	0
<i>Pinnunavis yarrensensis</i> (Grunow) H.Okuno var. <i>ovalis</i>	Pin.yar			*

Género: *Seminavis* D.G.Mann, 1990

<i>Seminavis obtusiuscula</i> (Grunow) Danieledis & D.G.Mann	Sem.obt	*		
<i>Seminavis robusta</i> D.B.Danielidis & D.G.Mann	Sem.rob	*	*	*
<i>Seminavis</i> sp.1	Sem.sp1		*	
<i>Seminavis</i> sp.2	Sem.sp2	*		
<i>Seminavis strigosa</i> (Hustedt) Danieledis & Economou-Amilli	Sem.str	*	*	*
<i>Seminavis ventricosa</i> (W.Gregory) M.Garcia-Baptista	Sem.ven	*	*	*

Género: *Trachyneis* P.T.Cleve, 1894

<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	Tra.asp			*
<i>Trachyneis</i> cf. <i>velata</i> (A.W.F.Schmidt) Cleve	Tra.vel	*		

Familia: *Naviculales incertae sedis*

Género: *Amicula* Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin, 2000

<i>Amicula speculum</i> (Witkowski) Witkowski	Ami.spe	*	*	*
---	---------	---	---	---

Familia: *Pinnulariaceae*

Género: *Envekadea* Van de Vijver, Gligora, Hinz, Kralj & Coc

<i>Envekadea palestinae</i> (Gerloff, Natour & Rivera) S.S.Lee, F.A.C.Tobias & B.van de Vijver	Env.pal	*		
--	---------	---	--	--

Género: *Oestrupia* Heiden ex Hustedt, 1935

<i>Oestrupia zanardiniana</i> (Grunow) Hendey	Oes.zan		*	*
---	---------	--	---	---

Familia: Plagiotropidaceae			
Género: <i>Plagiotropis</i> Pfitzer, 1871			
<i>Plagiotropis</i> cf. <i>lepidoptera</i> (W.Gregory) Kuntze	Pla.clep		*
<i>Plagiotropis lepidoptera</i> (W.Gregory) Kuntze	Pla.lep	*	*
<i>Plagiotropis longa</i> (Cleve) Kuntze	Pla.lon		*
<i>Plagiotropis pusilla</i> (W.Gregory) Kuntze	Pla.pus		*
<i>Plagiotropis vitrea</i> (W.Smith) Grunow	Pla.vit	*	
Familia: Pleurosigmataceae			
Género: <i>Pleurosigma</i> W.Smith, 1852, nom. et typ. cons.			
<i>Pleurosigma distinguendum</i> Hustedt	Pla.dis	*	*
<i>Pleurosigma normanii</i> Ralfs	Ple.nor	*	*
<i>Pleurosigma salinarum</i> (Grunow) Grunow	Ple.sal	*	*
Familia: Proschkiniaceae			
Género: <i>Proschkinia</i> Karayeva, 1978			
<i>Proschkinia</i> sp.1	Pro.sp1		*
Familia: Sellaphoraceae			
Género: <i>Fallacia</i> Stickle & D.G.Mann, 1990			
<i>Fallacia</i> cf. <i>schaeferae</i> (Hustedt) D.G.Mann	Fal.csch		*
Continuación. Cuadro apéndice a			
<i>Fallacia forcipata</i> (Greville) Stickle & D.G.Mann	Fal.for	*	*
<i>Fallacia hummii</i> (Hustedt) D.G.Mann	Fal.hum	*	*
<i>Fallacia litoricola</i> (Hustedt) D.G.Mann	Fal.lit	*	*
<i>Fallacia marginopunctata</i> Sabbe & Vyverman	Fal.mar	*	*
<i>Fallacia marnieri</i> (Manguin) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Fal.marn	*	
<i>Fallacia nicobarica</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin var.?	Fal.nic	*	*
<i>Fallacia schaeferae</i> (Hustedt) D.G.Mann	Fal.sch		*
Género: <i>Sellaphora</i> Mereschowsky			
<i>Sellaphora tridentula</i> (Krasske) C.E.Wetzel	Sel.tri	*	*
Familia: Stauroneidaceae			
Género: <i>Craticula</i> Grunow, 1868			
<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G.Mann f. <i>apiculata</i>	Cra.hal	*	*
<i>Craticula sardiniana</i> Bahls	Cra.sar		*
Género: <i>Fistulifera</i> Lange-Bertalot, 1997			
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot	Fis.sap	*	*
Género: <i>Stauroneis</i> Ehrenberg, 1843			
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg var. <i>birrostris</i>	Sta.anc	*	
<i>Stauroneis incerta</i> Cleve-Euler	Sta.inc	*	*
Orden: Rhabdonematales			
Familia: Grammatophoraceae			
Género: <i>Grammatophora</i> Ehrenberg, 1840			
<i>Grammatophora angulosa</i> Ehrenberg	Gra.ang		*
<i>Grammatophora angulosa</i> Ehrenberg var. <i>pacifica</i>	Gra.ang	*	*
<i>Grammatophora hamulifera</i> Kützing	Gra.ham	*	
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing	Gra.mar		*
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg	Gra.oce	*	*
Familia: Rhabdonemataceae			
Género: <i>Rhabdonema</i> Kützing, 1844, nom. cons.			
<i>Rhabdonema</i> sp.1	Rha.sp1	*	
Orden: Rhaphoneidales			
Familia: Psammodiscaceae			
Género: <i>Psammodiscus</i> Round & D.G.Mann, 1980			
<i>Psammodiscus nitidus</i> (W.Gregory) Round & D.G.Mann	Psa.nit	*	

Familia: Rhaphoneidaceae				
Género: <i>Delphineis</i> G.W.Andrews, 1977				
<i>Delphineis minutissima</i> (Hustedt) Simonsen	Del.min	*	*	
<i>Delphineis surirella</i> (Ehrenberg) G.W.Andrews	Del.sur	*	*	*
<i>Delphineis surirella</i> (Ehrenberg) G.W.Andrews var. <i>australis</i>	Del.sura		*	
Género: <i>Neodelphineis</i> Takano, 1982				
<i>Neodelphineis silenda</i> (M.H.Hohn & J.Hellerman) N.Desianti & M.Potapova	Neo.sil	*	*	*
<i>Neodelphineis</i> sp.1	Neo.sp1			*
Género: <i>Rhaphoneis</i> Ehrenberg, 1844				
<i>Rhaphoneis castracanei</i> Grunow	Rha.cas	*	*	*
Orden: Rhopalodiales				
Familia: Rhopalodiaceae				
Género: <i>Rhopalodia</i> Otto Müller, 1895, nom. cons.				
<i>Rhopalodia constricta</i> (Brébisson) Krammer var. <i>minor</i>	Rho.con m	*		
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O.Müller	Rho.gib	*	*	
<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O.Müller	Rho.mus	*		*
Orden: Striatellales				
Familia: Striatellaceae				
Género: <i>Striatella</i> C.Agardh, 1832				
<i>Striatella</i> sp. 1	Str.sp1	*		*
Continuación. Cuadro apéndice a				
Orden: Surirellales				
Familia: Auriculaceae				
Género: <i>Auricula</i> Castracane				
<i>Auricula minuta</i> Cleve	Aur.min	*		
<i>Auricula</i> sp.1	Aur.sp1			*
Familia: Entomoneidaceae				
Género: <i>Entomoneis</i> Ehrenberg, 1845				
<i>Entomoneis aequabilis</i> K.Osada & H.Kobayasi	Ent.aeq			*
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg var. <i>japonica</i>	Ent.ala			*
<i>Entomoneis</i> cf. <i>adriatica</i> Mejdandzic & Bosak	Ent.adr			*
<i>Entomoneis</i> cf. <i>paludosa</i> (W.Smith) Reimer var. <i>duplex</i>	Ent.pal	*		*
<i>Entomoneis</i> cf. <i>tenera</i> Mejdandzic & Bosak	Ent.ten		*	*
<i>Entomoneis paludosa</i> (W.Smith) Reimer	Ent.pal		*	*
<i>Entomoneis paludosa</i> (W.Smith) Reimer var. <i>hyalina</i>	Ent.palh			*
<i>Entomoneis pulchra</i> (Bailey) Reimer var. <i>pulchella</i>	Ent.pul	*		
<i>Entomoneis tenuistriata</i> John	Ent.ten	*	*	
Familia: Surirellaceae				
Género: <i>Surirella</i> Turpin, 1828				
<i>Surirella atomus</i> Hustedt	Sur.ato	*		*
<i>Surirella febigeri</i> F.W.Lewis	Sur.feb		*	
Orden: Thalassionematales				
Familia: Thalassionemataceae				
Género: <i>Thalassionema</i> Grunow ex Mereschkowsky, 1902				
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	Tha.nit	*	*	*
Género: <i>Thalassiothrix</i> Cleve & Grunow, 1880, nom. et typ. cons.				
<i>Thalassiothrix</i> sp.1	Tha.sp1		*	
Orden: Thalassiophysales				
Familia: Catenulaceae				
Género: <i>Amphora</i> Ehrenberg ex Kützing				
<i>Amphora abludens</i> Simonsen	Amp.abl	*	*	*

<i>Amphora amoena</i> Hustedt	Amp.amo	*	*	*
<i>Amphora angusta</i> W.Gregory	Amp.ang		*	
<i>Amphora archibaldii</i> A.H.Wachnicka & E.E.Gaiser	Amp.arc	*	*	
<i>Amphora arenaria</i> Donkin	Amp.are	*		
<i>Amphora beaufortiana</i> Hustedt	Amp.bea	*		
<i>Amphora catharinaria</i> Cholnoky	Amp.cat		*	
<i>Amphora</i> cf. <i>arenaria</i> Donkin	Amp.care	*		
<i>Amphora</i> cf. <i>egregia</i> Ehrenberg	Amp.cbia	*		*
<i>Amphora</i> cf. <i>grevilleana</i> W.Gregory var. <i>typica</i>	Amp.cgre	*		
<i>Amphora</i> cf. <i>mexicana</i> A.W.F.Schmidt f. <i>minimum</i>	Amp.cme x		*	*
<i>Amphora</i> cf. <i>ostrearia</i> Brébisson ex Kützing	Amp.ost	*		
<i>Amphora</i> cf. <i>pannucea</i> M.H.Griffen	Amp.pan		*	*
<i>Amphora cingulata</i> Pantocsek	Amp.cin		*	*
<i>Amphora coffaeiformis</i> (C.Agardh) Kützing	Amp.cof	*	*	*
<i>Amphora constricta</i> (Ehrenberg) W.Carruthers	Amp.con		*	
<i>Amphora delicatissima</i> Krasske	Amp.del	*	*	*
<i>Amphora egregia</i> Ehrenberg	Amp.egr	*		
<i>Amphora graeffeana</i> Henedey	Amp.gra	*	*	*
<i>Amphora gramenorum</i> A.H.Wachnicka & E.E.Gaiser	Amp.gra m			*
<i>Amphora hamata</i> Heiden	Amp.ham	*	*	*
<i>Amphora helenensis</i> M.H.Giffen	Amp.hel	*	*	*
Continuación. Cuadro apéndice a				
<i>Amphora hyalina</i> Kützing var. <i>inpalpabilis</i>	Amp.hya	*	*	*
<i>Amphora immarginata</i> Nagumo	Amp.imm	*	*	*
<i>Amphora incredulata</i> M.H.Giffen	Amp.inc	*		
<i>Amphora jostesorum</i> Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	Amp.jos	*		
<i>Amphora laevis</i> W.Gregory	Amp.lae			*
<i>Amphora laevis</i> W.Gregory var. <i>perminuta</i>	Amp.laev	*	*	*
<i>Amphora langebaanae</i> M.H.Giffen	Amp.lan	*	*	
<i>Amphora lineolata</i> Ehrenberg	Amp.lin	*	*	*
<i>Amphora longa</i> Hustedt	Amp.lon	*	*	*
<i>Amphora luciae</i> Cholnoky	Amp.luc	*		
<i>Amphora micrometra</i> M.H.Giffen	Amp.mic	*	*	
<i>Amphora nana</i> W.Gregory	Amp.nan	*		
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	Amp.ova		*	
<i>Amphora ovalis</i> var. <i>gracilis</i> (Ehrenberg) Van Heurck	Amp.ova g	*	*	*
<i>Amphora praelata</i> Henedey	Amp.pra			*
<i>Amphora proteus</i> W.Gregory	Amp.pro	*	*	*
<i>Amphora proteus</i> W.Gregory var. <i>contigua</i>	Amp.proc	*		
<i>Amphora proteus</i> W.Gregory var. <i>emarginata</i>	Amp.pro e		*	
<i>Amphora</i> sp.1	Amp.sp1	*	*	*
<i>Amphora</i> sp.2	Amp.sp2	*		
<i>Amphora</i> sp.3	Amp.sp3			*
<i>Amphora</i> sp.4	Amp.sp4	*		*
<i>Amphora</i> sp.5	Amp.sp5			*
<i>Amphora</i> sp.6	Amp.sp6			*
<i>Amphora</i> sp.7	Amp.sp7			*
<i>Amphora</i> sp.8	Amp.sp8			*

<i>Amphora</i> sp.9	Amp.sp9			*
<i>Amphora spectabilis</i> W.Gregory	Amp.spe	*		
<i>Amphora sublaevis</i> Hustedt	Amp.sub		*	
<i>Amphora tegetum</i> A.H.Wachnicka & E.E.Gaiser	Amp.teg	*	*	
<i>Amphora tenerrima</i> Aleem & Hustedt	Amp.ten	*	*	
Género: <i>Catenula</i> Mereschkowsky, 1903				
<i>Catenula adhaerens</i> (Mereschkowsky) Mereschkowsky	Cat.adh	*	*	*
Familia: Thalassiophysaceae				
Género: <i>Thalassiphysa</i> P.S.Conger, 1954				
<i>Thalassiphysa hyalina</i> (Greville) Paddock & P.A.Sims **	Tha.hya		*	
Clase: Coscinodiscophyceae				
Orden: Aulacoseirales				
Familia: Aulacoseiraceae				
Género: <i>Aulacoseira</i> Thwaites, 1848				
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Aul.gra			*
Orden: Coscinodiscales				
Familia: Coscinodiscaceae				
Género: <i>Coscinodiscus</i> Ehrenberg, nom. et typ. cons.				
<i>Coscinodiscus curvatulus</i> var. <i>monir</i> (Ehrenberg) Grunow	Coc.cur			*
<i>Coscinodiscus lineolatus</i> Ehrenberg	Cos.len	*		*
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	Cos.mar	*		
Familia: Heliopeltaceae				
Genero: <i>Actinodiscus</i> Greville, 1863				
<i>Actinodiscus tener</i> Gr. & St.	Act.ten			*
Orden: Melosirales				
Familia: Hyalodiscaceae				
Continuación. Cuadro apéndice a				
Genero: <i>Podosira</i> Ehrenberg, 1840				
<i>Podosira montagnei</i> Kützing	Mel.mont			*
Familia: Melosiraceae				
Género: <i>Melosira</i> C.Agardh, 1824, nom. cons.				
<i>Melosira</i> cf. <i>moniliformis</i> C.Agardh	Mel.mon	*	*	*
Familia: Paraliaceae				
Género: <i>Paralia</i> Heiberg, 1863				
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve var. <i>crenulata</i>	Par.sul	*	*	
<i>Paralia sulcata</i> f. <i>major</i> Cleve-Euler	Par.sulm	*	*	
<i>Paralia sulcata</i> f. <i>minor</i> Cleve-Euler in Cleve-Euler & Hessland	Par.suli		*	*
<i>Paralia varennarum</i> (M.Peragallo & Héribaud) Loseva	Par.var	*	*	
Orden: Triceratiales				
Familia: Triceratiaceae				
Género: <i>Triceratium</i> Ehrenberg, 1839				
<i>Triceratium tessellatum</i> Greville	Tri.tes	*		
Clase: Mediophyceae				
Orden: Anaulales				
Familia: Anaulaceae				
Género: <i>Anaulus</i> Ehrenberg				
<i>Anaulus minutus</i> Grunow	Ana.min	*	*	*
Género: <i>Eunotogramma</i> J.F.Weisse, 1855				
<i>Eunotogramma laeve</i> Grunow	Eun.lae	*	*	*
<i>Eunotogramma marinum</i> (W.Smith) H.Peragallo & M.Peragallo	Eun.mar		*	*
<i>Eunotogramma rectum</i> Salah	Eun.rec	*		
<i>Eunotogramma</i> sp.1	Euno.sp. 1			*

Orden: Biddulphiales				
Familia: Biddulphiaceae				
Género: <i>Biddulphia</i> S.F.Gray				
<i>Biddulphia alternans</i> (Bailey) Van Heurck	Bid.alt	*		
<i>Biddulphia minutissima</i> Greville	Bid.min	*	*	
Orden: Chaetocerotaceae				
Género: <i>Bacteriastrum</i> Shadbolt, 1854				
<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder	Bac.hya	*		
Orden: Cymatosirales				
Familia: Cymatosiraceae				
Género: <i>Campylosira</i> Grunow ex Van Heurck, 1885				
<i>Campylosira</i> sp.1	Cam.sp1	*	*	*
Género: <i>Cymatosira</i> Grunow, 1862				
<i>Cymatosira belgica</i> Grunow	Cym.bel	*	*	*
<i>Cymatosira lorenziana</i> Grunow	Cym.lor	*	*	*
Género: <i>Plagiogrammopsis</i> Hasle, Stosch & Syvertsen, 1983				
<i>Plagiogrammopsis mediaequata</i> C.Gardner & R.M.Crawford	Pla.med		*	*
<i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i> (Grunow) Hasle, Stosch & Syvertsen	Pla.van		*	*
Orden: Eupodiscales				
Familia: Odontellaceae				
Género: <i>Odontella</i> C.Agardh, 1832				
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbey) C.Agardh	Odo.aur	*	*	*
Género: <i>Pseudictyota</i> P.A.Sims & D.M.Williams, 2018				
<i>Pseudictyota dubia</i> (Brightwell) P.A.Sims & D.M.Williams	Pse.dub	*		
Familia: Parodontellaceae				
Género: <i>Trieres</i> M.P.Ashworth & E.C.Theriot, 2013				
<i>Trieres mobiliensis</i> (Bailey) Ashworth & E.C.Theriot	Tri.mob	*		
Orden: Stephanodiscales				
Continuación. Cuadro apéndice a				
Familia: Stephanodiscaceae				
Género: <i>Cyclostephanos</i> Round, 1987				
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (M.H.Hohn & Hellermann) E.C.Theriot, Stoermer & Hakasson	Cyc.inv	*	*	*
Género: <i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson				
<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt	Cyc.ato	*	*	*
<i>Cyclotella bomba</i> Serieyssol	Cyc.bom		*	
<i>Cyclotella</i> cf. <i>striata</i> var. <i>mucronulata</i> Chi & Chang	Cyc.cstr	*	*	*
<i>Cyclotella litoralis</i> Lange & Syvertsen	Cyc.lit	*	*	
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Cyc.men			*
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow	Cyc.str		*	*
<i>Cyclotella stylorum</i> Brightwell	Cyc.sty	*	*	*
Género: <i>Discotella</i> V.Houk & R.Klee, 2004				
<i>Discotella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee	Dis.pse			*
Género: <i>Tertiarius</i> H.Hakansson & G.Khursevich, 1997				
<i>Tertiarius pygmaeus</i> (Pantocsek) Hakansson & Khursevich	Ter.pyg	*	*	
Orden: Thalassiosirales				
Familia: Thalassiosiraceae				
Género: <i>Minidiscus</i> Hasle, 1973				
<i>Minidiscus</i> sp.1	Men.sp1			*
Género: <i>Planktoniella</i> F.Schütt, 1892				
<i>Planktonella blanda</i> (A.W.F.Schmidt) Syvertsen & Hasle	Pla.bla	*		
Género: <i>Shinodiscus</i> A.J.Alverson, S.H.Kang & E.C.Theriot, 2006				
<i>Shinodiscus oestrupii</i> (Ostenfeld) A.J.alverson, S.-H.Kang & E.C.Theriot	Shi.oes		*	*
Género: <i>Thalassiosira</i> Cleve, 1873				

<i>Thalassiosira decipiens</i> (Grunow ex Van Heurck) E.G.Jorgensen	Tha.dec	*	*	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	Tha.ecc	*	*	*
<i>Thalassiosira symetrica</i> G.A.Fryxell & Hasle	Tha.sym			*
Familia: Skeletonemataceae				
Género: Skeletonema Greville, 1865, nom. et typ. cons.				
<i>Skeletonema</i> sp.1	Ske.sp1	*		

Apéndice B. Abundancia relativa

Cuadro Apéndice b.-Abundancia relativa de las especies de diatomeas bentónicas de la laguna de Términos observadas durante los conteos. (ST) Suma Total de valvas; (AR) Abundancia relativa; (ARA) Abundancia relativa acumulada; (Frec) Frecuencia de aparición; (O-T) clasificación del diagrama Olmsted-Tukey.

Taxones	ST	AR %	ARA%	Frec %	O-T
<i>Amicula speculum</i>	5353	12.04	12.04	83.33	Dominante
<i>Haslea staurosigmoidea</i>	2321	5.22	17.25	55.56	Dominante
<i>Amphora graeffeana</i>	1804	4.06	21.31	58.33	Dominante
<i>Cymatosira belgica</i>	1622	3.65	24.96	75.00	Dominante
<i>Nitzschia tubicula</i>	1274	2.86	27.82	69.44	Dominante
<i>Nitzschia libertruthii</i>	1185	2.66	30.49	36.11	Dominante
<i>Cyclotella atomus</i>	1044	2.35	32.83	72.22	Dominante
<i>Staurosirella gunter-grassi</i>	827	1.86	34.69	86.11	Dominante
<i>Amphicoconeis disculoides</i>	814	1.83	36.52	36.11	Dominante
<i>Amphora coffaeiformis</i>	791	1.78	38.30	88.89	Dominante
<i>Cyclotella cf. striata</i>	710	1.60	39.90	97.22	Dominante
<i>Nitzschia frustulum</i>	666	1.50	41.40	80.56	Dominante
<i>Navicula ammophila</i>	658	1.48	42.87	91.67	Dominante
<i>Navicula apta</i>	647	1.45	44.33	88.89	Dominante
<i>Haslea howeana</i>	645	1.45	45.78	36.11	Dominante
<i>Navicula sp.6</i>	636	1.43	47.21	36.11	Dominante
<i>Neodelphineis silenda</i>	627	1.41	48.62	52.78	Dominante
<i>Halamphora acutiuscula</i>	616	1.39	50.00	94.44	Dominante
<i>Haslea ostrearia</i>	544	1.22	51.23	30.56	Dominante
<i>Nitzschia soratensis</i>	519	1.17	52.39	47.22	Dominante
<i>Navicula agnita</i>	500	1.12	53.52	72.22	Dominante
<i>Navicula perminuta</i>	460	1.03	54.55	50.00	Dominante
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	443	1.00	55.55	77.78	Dominante
<i>Navicula phyllepta</i>	429	0.96	56.51	61.11	Dominante
<i>Amphora hyalina var. inpalpabilis</i>	423	0.95	57.46	50.00	Dominante
<i>Tertiarius pygmaeus</i>	391	0.88	58.34	30.56	Dominante
<i>Astartiella cf. bahuensis</i>	386	0.87	59.21	11.11	Dominante
<i>Nitzschia frustulum var. perminuta</i>	372	0.84	60.05	61.11	Dominante
<i>Amphora helenensis</i>	365	0.82	60.87	50.00	Dominante
<i>Navicula cf. abunda</i>	342	0.77	61.64	44.44	Dominante
<i>Halamphora semperpalorum</i>	333	0.75	62.39	8.33	Dominante
<i>Eunotogramma laeve</i>	325	0.73	63.12	66.67	Dominante
<i>Halamphora tenerrima</i>	300	0.67	63.79	72.22	Dominante
<i>Nitzschia incognita</i>	280	0.63	64.42	47.22	Dominante
<i>Nitzschia lanceolata var. incrustans</i>	277	0.62	65.04	36.11	Dominante
<i>Cocconeis placentula</i>	264	0.59	65.64	63.89	Dominante
<i>Halamphora terroris</i>	256	0.58	66.21	61.11	Dominante
<i>Navicula cincta</i>	242	0.54	66.76	36.11	Dominante
<i>Chamaepinnularia alexandrowiczii</i>	239	0.54	67.29	11.11	Ocasional
<i>Nitzschia laevis</i>	239	0.54	67.83	58.33	Dominante

<i>Seminavis strigosa</i>	238	0.54	68.37	38.89	Dominante
<i>Chamaepinnularia soehrensii</i>	237	0.53	68.90	50.00	Dominante
<i>Navicula flagellifera</i>	235	0.53	69.43	30.56	Dominante
<i>Navicula ramosissima</i>	214	0.48	69.91	58.33	Dominante
<i>Halamphora costata</i>	210	0.47	70.38	52.78	Dominante
<i>Tryblionella coarctata</i>	204	0.46	70.84	58.33	Dominante
<i>Chamaepinnularia clamans</i>	201	0.45	71.29	47.22	Dominante
<i>Amphora laevissima</i> var. <i>perminuta</i>	200	0.45	71.74	38.89	Dominante
<i>Fistulifera saprophila</i>	200	0.45	72.19	50.00	Dominante
<i>Amphora delicatissima</i>	197	0.44	72.63	27.78	Dominante
<i>Nitzschia dissipata</i>	194	0.44	73.07	47.22	Dominante
<i>Entomoneis</i> cf. <i>tenera</i>	189	0.42	73.50	16.67	Dominante
<i>Navicula</i> cf. <i>flanatica</i>	181	0.41	73.90	19.44	Dominante
<i>Halamphora cymbifera</i> var. <i>heritierarum</i>	178	0.40	74.30	58.33	Dominante
<i>Campylosira</i> sp.1	176	0.40	74.70	36.11	Dominante
<i>Amphicocconeis discrepans</i>	174	0.39	75.09	50.00	Dominante
<i>Nitzschia</i> cf. <i>acicularis</i>	172	0.39	75.48	19.44	Dominante
<i>Nitzschia grossestriata</i>	172	0.39	75.86	36.11	Dominante
<i>Achnanthes ventralis</i>	170	0.38	76.25	55.56	Dominante
<i>Nitzschia pellucida</i>	162	0.36	76.61	30.56	Dominante
<i>Amphora</i> sp.4	158	0.36	76.97	22.22	Dominante
<i>Navicula cryptocephala</i>	155	0.35	77.31	36.11	Dominante
<i>Odontella aurita</i>	151	0.34	77.65	25.00	Dominante
<i>Staurosirella pinnata</i>	150	0.34	77.99	25.00	Dominante
<i>Halamphora coffeiformis</i>	146	0.33	78.32	44.44	Dominante
<i>Cocconeopsis patrickae</i>	132	0.30	78.62	33.33	Dominante
<i>Fallacia litoricola</i>	127	0.29	78.90	33.33	Dominante
<i>Amphora hamata</i>	124	0.28	79.18	50.00	Dominante
<i>Nitzschia distans</i>	122	0.27	79.45	38.89	Dominante
<i>Mastogloia lanceolata</i>	121	0.27	79.73	25.00	Dominante
<i>Fallacia hummii</i>	120	0.27	80.00	38.89	Dominante
<i>Amphora abludens</i>	119	0.27	80.26	22.22	Dominante
<i>Navicula flanatica</i>	118	0.27	80.53	27.78	Dominante
<i>Amphora</i> sp.1	111	0.25	80.78	50.00	Dominante
<i>Ambo tenuissimus</i>	110	0.25	81.03	27.78	Dominante
<i>Entomoneis</i> cf. <i>adriatica</i>	110	0.25	81.27	5.56	Ocasional
<i>Nitzschia angularis</i>	108	0.24	81.52	47.22	Dominante
<i>Staurosirella mutabilis</i>	106	0.24	81.75	19.44	Dominante
<i>Cocconeis guttata</i>	105	0.24	81.99	5.56	Ocasional
<i>Navicula</i> sp.2	102	0.23	82.22	27.78	Dominante
<i>Achnantheiopsis frequentissima</i>	98	0.22	82.44	50.00	Dominante
<i>Fallacia forcipata</i>	98	0.22	82.66	33.33	Dominante
<i>Hyalosynedra laevigata</i>	97	0.22	82.88	63.89	Dominante
<i>Nitzschia aequorea</i>	97	0.22	83.10	33.33	Dominante
<i>Navicula</i> cf. <i>perminuta</i>	95	0.21	83.31	25.00	Dominante
<i>Amphora micrometra</i>	94	0.21	83.52	25.00	Dominante
<i>Amphora lineolata</i>	92	0.21	83.73	41.67	Dominante
<i>Biremis circumtexta</i>	91	0.20	83.93	19.44	Dominante
<i>Eunotogramma rectum</i>	90	0.20	84.14	2.78	Ocasional
<i>Navicula hyalosira</i>	90	0.20	84.34	8.33	Ocasional

<i>Navicula cf. flagellifera</i>	89	0.20	84.54	22.22	Dominante
<i>Tryblionella pararostrata</i>	88	0.20	84.74	47.22	Dominante
<i>Caloneis liber</i>	85	0.19	84.93	8.33	Ocasional
<i>Halamphora cymbifera</i>	83	0.19	85.11	58.33	Dominante
<i>Tabularia fasciculata</i>	82	0.18	85.30	38.89	Dominante
<i>Amphora proteus</i>	80	0.18	85.48	36.11	Dominante
<i>Halamphora hybrida</i>	79	0.18	85.66	27.78	Dominante
<i>Nitzschia cf. dissipata</i>	79	0.18	85.83	25.00	Dominante
<i>Paralia sulcata f. major</i>	77	0.17	86.01	19.44	Dominante
<i>Amphora sp.9</i>	76	0.17	86.18	11.11	Ocasional
<i>Halamphora caribaea</i>	76	0.17	86.35	38.89	Dominante
<i>Navicula tropicoidea</i>	73	0.16	86.51	2.78	Ocasional
<i>Thalassiosira decipiens</i>	73	0.16	86.68	36.11	Dominante
<i>Cocconeis sp.2</i>	72	0.16	86.84	5.56	Ocasional
<i>Taxon 2</i>	72	0.16	87.00	27.78	Dominante
<i>Mastogloia similis</i>	71	0.16	87.16	5.56	Ocasional
<i>Cocconeis scutellum var. scutellum</i>	70	0.16	87.32	44.44	Dominante
<i>Navicula cryptocephala var. subsalina</i>	70	0.16	87.47	11.11	Ocasional
<i>Tabularia ktenooides</i>	70	0.16	87.63	30.56	Dominante
<i>Navicula sp.4</i>	68	0.15	87.78	19.44	Dominante
<i>Amphora ovalis var. gracilis</i>	67	0.15	87.94	11.11	Ocasional
<i>Seminavis ventricosa</i>	67	0.15	88.09	27.78	Dominante
<i>Achnantheidium petersenii</i>	66	0.15	88.23	38.89	Dominante
<i>Cocconeis cf. distans</i>	66	0.15	88.38	30.56	Dominante
<i>Staurosira leptostauron var. dubia</i>	66	0.15	88.53	16.67	Dominante
<i>Navicula salinicola</i>	62	0.14	88.67	8.33	Ocasional
<i>Navicula tenella</i>	61	0.14	88.81	22.22	Dominante
<i>Nitzschia microcephala</i>	61	0.14	88.94	27.78	Dominante
<i>Campylopyxis germainii</i>	60	0.13	89.08	41.67	Dominante
<i>Navicula aleksandrae</i>	60	0.13	89.21	19.44	Dominante
<i>Surirella atomus</i>	60	0.13	89.35	13.89	Ocasional
<i>Navicula cf. transistantoides</i>	59	0.13	89.48	13.89	Ocasional
<i>Navicula directa</i>	57	0.13	89.61	33.33	Dominante
<i>Staurosira incerta</i>	57	0.13	89.74	11.11	Ocasional
<i>Amphora tegetum</i>	56	0.13	89.86	13.89	Ocasional
<i>Navicula lusoria</i>	56	0.13	89.99	25.00	Dominante
<i>Diploneis smithii var. vacillans</i>	55	0.12	90.11	22.22	Dominante
<i>Amphora archibaldii</i>	54	0.12	90.24	19.44	Dominante
<i>Navicula sp.19</i>	54	0.12	90.36	2.78	Ocasional
<i>Falcula media</i>	53	0.12	90.48	8.33	Ocasional
<i>Cocconeis speciosa</i>	52	0.12	90.59	22.22	Dominante
<i>Navicula normaloides</i>	51	0.11	90.71	27.78	Dominante
<i>Fallacia nicobarica var.?</i>	50	0.11	90.82	30.56	Dominante
<i>Cyclotella striata</i>	49	0.11	90.93	27.78	Dominante
<i>Navicula sp.3</i>	49	0.11	91.04	19.44	Dominante
<i>Amphora amoena</i>	48	0.11	91.15	19.44	Dominante
<i>Amphora tenerrima</i>	48	0.11	91.26	11.11	Ocasional
<i>Mastogloia crucicula</i>	47	0.11	91.36	44.44	Dominante
<i>Nitzschia biacrula</i>	47	0.11	91.47	19.44	Dominante
<i>Opephora pacifica</i>	47	0.11	91.57	16.67	Dominante

<i>Plagiogrammopsis mediaequata</i>	47	0.11	91.68	13.89	Ocasional
<i>Fallacia marginopunctata</i>	46	0.10	91.78	33.33	Dominante
<i>Halamphora aponina</i>	43	0.10	91.88	19.44	Dominante
<i>Achnanthes cf. hyperboreoides</i>	42	0.09	91.97	41.67	Dominante
<i>Cymatosira lorenziana</i>	42	0.09	92.07	19.44	Dominante
<i>Halamphora obscura</i>	42	0.09	92.16	2.78	Ocasional
<i>Nitzschia sp.6</i>	40	0.09	92.25	2.78	Ocasional
<i>Entomoneis aequabilis</i>	39	0.09	92.34	2.78	Ocasional
<i>Planothidium deperditum</i>	39	0.09	92.43	16.67	Dominante
<i>Catenula adhaerens</i>	38	0.09	92.51	38.89	Dominante
<i>Nitzschia sicula var. bicuneata</i>	38	0.09	92.60	19.44	Dominante
<i>Halamphora eunotia</i>	37	0.08	92.68	16.67	Dominante
<i>Melosira cf. moniliformis</i>	37	0.08	92.76	19.44	Dominante
<i>Navicula cf. diserta</i>	37	0.08	92.85	19.44	Dominante
<i>Delphineis minutissima</i>	36	0.08	92.93	11.11	Ocasional
<i>Diploneis obliqua</i>	35	0.08	93.01	8.33	Ocasional
<i>Navicula tripunctata</i>	35	0.08	93.09	11.11	Ocasional
<i>Staurosira construens</i>	35	0.08	93.16	8.33	Ocasional
<i>Cocconeis neothumensis</i>	34	0.08	93.24	13.89	Ocasional
<i>Cyclotella litoralis</i>	34	0.08	93.32	19.44	Dominante
<i>Entomoneis cf. paludosa var. duplex</i>	34	0.08	93.39	25.00	Dominante
<i>Mastogloia erythraea f. 2</i>	34	0.08	93.47	8.33	Ocasional
<i>Opephora minuta</i>	33	0.07	93.54	19.44	Dominante
<i>Achnanthes bioselattiana</i>	32	0.07	93.62	22.22	Dominante
<i>Biremis ambigua</i>	32	0.07	93.69	16.67	Dominante
<i>Shionodiscus oestrupii</i>	32	0.07	93.76	19.44	Dominante
<i>Halamphora subsalina</i>	31	0.07	93.83	11.11	Ocasional
<i>Halamphora holsatica</i>	30	0.07	93.90	13.89	Ocasional
<i>Nitzschia thermaloides</i>	30	0.07	93.97	5.56	Ocasional
<i>Petroneis punctigera</i>	30	0.07	94.03	19.44	Dominante
<i>Craticula halophila f. apiculata</i>	29	0.07	94.10	8.33	Ocasional
<i>Fallacia schaeferae</i>	29	0.07	94.16	13.89	Ocasional
<i>Navicula gregaria</i>	29	0.07	94.23	25.00	Dominante
<i>Navicula platyventris</i>	29	0.07	94.29	13.89	Ocasional
<i>Entomoneis tenuistriata</i>	28	0.06	94.36	8.33	Ocasional
<i>Navicula sp.16</i>	28	0.06	94.42	5.56	Ocasional
<i>Parlibellus delognei</i>	28	0.06	94.48	11.11	Ocasional
<i>Plagiotropis lepidoptera</i>	28	0.06	94.55	25.00	Dominante
<i>Halamphora cf. turgida</i>	27	0.06	94.61	2.78	Ocasional
<i>Haslea stundlii</i>	27	0.06	94.67	30.56	Dominante
<i>Seminavis robusta</i>	27	0.06	94.73	13.89	Ocasional
<i>Stauroneis incerta</i>	27	0.06	94.79	16.67	Dominante
<i>Amphicocconeis cf. disculoides</i>	26	0.06	94.85	19.44	Dominante
<i>Anaulus minutus</i>	26	0.06	94.91	16.67	Dominante
<i>Navicula veneta</i>	26	0.06	94.96	16.67	Dominante
<i>Amphora langebaanae</i>	25	0.06	95.02	16.67	Dominante
<i>Tryblionella compressa</i>	25	0.06	95.08	25.00	Dominante
<i>Navicula cremorne var. salinarum</i>	24	0.05	95.13	5.56	Ocasional
<i>Eunotia pectinalis var. minor f. intermedia</i>	23	0.05	95.18	11.11	Ocasional
<i>Mastogloia angusta</i>	23	0.05	95.23	22.22	Dominante

<i>Navicula pennata</i>	23	0.05	95.29	11.11	Ocasional
<i>Tetramphora lineolatooides</i>	23	0.05	95.34	27.78	Dominante
<i>Tryblionella persuadens</i>	23	0.05	95.39	8.33	Ocasional
<i>Achnanthes delicatissima</i>	22	0.05	95.44	11.11	Ocasional
<i>Actinodiscus tener</i>	22	0.05	95.49	8.33	Ocasional
<i>Berkeleya rutilans</i>	22	0.05	95.54	16.67	Dominante
<i>Haslea clevei</i>	22	0.05	95.59	8.33	Ocasional
<i>Tetramphora ostrearia</i>	22	0.05	95.64	22.22	Dominante
<i>Auricula</i> sp.1	21	0.05	95.68	2.78	Ocasional
<i>Encyonopsis falaisensis</i>	21	0.05	95.73	16.67	Dominante
<i>Licmophora abbreviata</i>	21	0.05	95.78	11.11	Ocasional
<i>Navicula</i> sp.1	21	0.05	95.82	19.44	Dominante
<i>Nitzschia reversa</i>	21	0.05	95.87	13.89	Ocasional
<i>Bacillaria socialis</i>	20	0.04	95.92	11.11	Ocasional
<i>Fallacia marnieri</i>	20	0.04	95.96	8.33	Ocasional
<i>Karayevia amoena</i>	20	0.04	96.01	22.22	Dominante
<i>Mastogloia braunii</i>	20	0.04	96.05	13.89	Ocasional
<i>Navicula</i> cf. <i>cancellata</i>	20	0.04	96.10	2.78	Ocasional
<i>Achnanthes valida</i>	19	0.04	96.14	22.22	Dominante
<i>Amphora</i> cf. <i>ostrearia</i>	19	0.04	96.18	8.33	Ocasional
<i>Mastogloia pusilla</i> var. <i>pusilla</i>	19	0.04	96.22	11.11	Ocasional
<i>Navicula rajmundii</i>	19	0.04	96.27	11.11	Ocasional
<i>Nitzschia prolongata</i>	19	0.04	96.31	8.33	Ocasional
<i>Rhaphoneis castracanei</i>	19	0.04	96.35	8.33	Ocasional
<i>Cyclotella stylum</i>	18	0.04	96.39	16.67	Dominante
<i>Eunotogramma marinum</i>	18	0.04	96.43	13.89	Ocasional
<i>Mastogloia urveae</i>	18	0.04	96.47	11.11	Ocasional
<i>Amphora</i> sp.2	17	0.04	96.51	11.11	Ocasional
<i>Navicula viminoides</i>	17	0.04	96.55	5.56	Ocasional
<i>Nitzschia</i> cf. <i>paleacea</i>	17	0.04	96.59	2.78	Ocasional
<i>Nitzschia distans</i> var. <i>distans</i>	17	0.04	96.63	2.78	Ocasional
<i>Caloneis excentrica</i>	16	0.04	96.66	8.33	Ocasional
<i>Climaconeis scopuloroides</i>	16	0.04	96.70	8.33	Ocasional
<i>Delphineis surella</i>	16	0.04	96.74	13.89	Ocasional
<i>Achnanthes fogedii</i>	15	0.03	96.77	11.11	Ocasional
<i>Aulacoseira granulata</i>	15	0.03	96.80	8.33	Ocasional
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	15	0.03	96.84	8.33	Ocasional
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 1	15	0.03	96.87	16.67	Dominante
<i>Nitzschia behrei</i>	15	0.03	96.90	5.56	Ocasional
<i>Nitzschia pusilla</i>	15	0.03	96.94	11.11	Ocasional
<i>Tryblionella punctata</i>	15	0.03	96.97	16.67	Dominante
<i>Amphora cingulata</i>	14	0.03	97.00	11.11	Ocasional
<i>Astartiella societatis</i>	14	0.03	97.03	13.89	Rara
<i>Berkeleya scopulorum</i>	14	0.03	97.07	11.11	Rara
<i>Cylindrotheca closterium</i>	14	0.03	97.10	8.33	Rara
<i>Gyrosigma balticum</i>	14	0.03	97.13	13.89	Rara
<i>Mastogloia</i> sp.1	14	0.03	97.16	13.89	Rara
<i>Navicula erifuga</i>	14	0.03	97.19	19.44	Constante
<i>Navicula</i> sp.13	14	0.03	97.22	2.78	Rara
<i>Nitzschia carnicobarica</i>	14	0.03	97.25	13.89	Rara

<i>Pseudictyota dubia</i>	14	0.03	97.29	5.56	Rara
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	13	0.03	97.32	5.56	Rara
<i>Eunotia</i> sp.1	13	0.03	97.34	2.78	Rara
<i>Mastogloia</i> sp.2	13	0.03	97.37	2.78	Rara
<i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i>	13	0.03	97.40	11.11	Rara
<i>Psammodiscus nitidus</i>	13	0.03	97.43	8.33	Rara
<i>Adlafia minuscula</i>	12	0.03	97.46	16.67	Constante
<i>Amphora egregia</i>	12	0.03	97.49	8.33	Rara
<i>Biddulphia minutissima</i>	12	0.03	97.51	8.33	Rara
<i>Dickieia subinflata</i>	12	0.03	97.54	16.67	Constante
<i>Diploneis</i> cf. <i>suborbicularis</i>	12	0.03	97.57	16.67	Constante
<i>Diploneis mirabilis</i>	12	0.03	97.59	11.11	Rara
<i>Halamphora turgida</i>	12	0.03	97.62	16.67	Constante
<i>Navicula aquaedurae</i>	12	0.03	97.65	2.78	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>germanopolnica</i>	12	0.03	97.68	5.56	Rara
<i>Navicula zostereti</i> f. <i>minor</i>	12	0.03	97.70	5.56	Rara
<i>Oestrupia zanardiniana</i>	12	0.03	97.73	5.56	Rara
<i>Amphora immarginata</i>	11	0.02	97.75	13.89	Rara
<i>Amphora longa</i>	11	0.02	97.78	13.89	Rara
<i>Astartiella</i> cf. <i>bahusiensoides</i>	11	0.02	97.80	11.11	Rara
<i>Fallacia</i> cf. <i>schaeferae</i>	11	0.02	97.83	2.78	Rara
<i>Minidiscus</i> sp.1	11	0.02	97.85	11.11	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>borealis</i>	11	0.02	97.88	13.89	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>transistans</i>	11	0.02	97.90	5.56	Rara
<i>Nitzschia incurva</i> var. <i>lorenziana</i>	11	0.02	97.93	11.11	Rara
<i>Seminavis</i> sp.2	11	0.02	97.95	5.56	Rara
Taxon 10	11	0.02	97.98	5.56	Rara
Taxon 20	11	0.02	98.00	5.56	Rara
<i>Entomoneis pulchra</i> var. <i>pulchella</i>	10	0.02	98.02	2.78	Rara
<i>Grammatophora oceanica</i>	10	0.02	98.05	16.67	Constante
<i>Hippodonta</i> sp.1	10	0.02	98.07	5.56	Rara
<i>Lemnicola hungarica</i>	10	0.02	98.09	8.33	Rara
<i>Nitzschia acicularis</i> var. <i>closterium</i>	10	0.02	98.11	5.56	Rara
<i>Nitzschia palea</i>	10	0.02	98.14	16.67	Constante
<i>Rhopalodia musculus</i>	10	0.02	98.16	16.67	Constante
<i>Staurophora tackei</i>	10	0.02	98.18	8.33	Rara
<i>Striatella</i> sp.1	10	0.02	98.20	11.11	Rara
<i>Thalassiothrix</i> sp.1	10	0.02	98.23	2.78	Rara
<i>Achnantheidium pyrenaicum</i>	9	0.02	98.25	5.56	Rara
<i>Amphora proteus</i> var. <i>emarginata</i>	9	0.02	98.27	2.78	Rara
<i>Cocconeopsis</i> cf. <i>pullus</i>	9	0.02	98.29	11.11	Rara
<i>Diploneis smithii</i> var. <i>smithii</i>	9	0.02	98.31	11.11	Rara
<i>Hobaniella longicuris</i>	9	0.02	98.33	5.56	Rara
<i>Luticola permuticoides</i>	9	0.02	98.35	5.56	Rara
<i>Mastogloia binotata</i>	9	0.02	98.37	8.33	Rara
<i>Mastogloia</i> cf. <i>vasta</i>	9	0.02	98.39	8.33	Rara
<i>Mastogloia gibbosa</i>	9	0.02	98.41	2.78	Rara
<i>Mastogloia ovalis</i>	9	0.02	98.43	13.89	Rara
<i>Navicula cancellata</i>	9	0.02	98.45	16.67	Constante
<i>Navicula rogersii</i>	9	0.02	98.47	5.56	Rara

<i>Paralia sulcata</i> f. <i>minor</i>	9	0.02	98.49	11.11	Rara
<i>Pleurosigma salinarum</i>	9	0.02	98.51	11.11	Rara
<i>Rhopalodia gibberula</i>	9	0.02	98.53	11.11	Rara
<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>birrostris</i>	9	0.02	98.55	2.78	Rara
<i>Amphora angusta</i>	8	0.02	98.57	5.56	Rara
<i>Halamphora veneta</i>	8	0.02	98.59	5.56	Rara
<i>Martyana atomus</i>	8	0.02	98.60	2.78	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>kuripanensis</i>	8	0.02	98.62	8.33	Rara
<i>Petroneis monilifera</i>	8	0.02	98.64	8.33	Rara
<i>Pleurosigma distinguendum</i>	8	0.02	98.66	13.89	Rara
<i>Staurophora salina</i>	8	0.02	98.68	5.56	Rara
<i>Tryblionella granulata</i>	8	0.02	98.69	11.11	Rara
Taxon 8	8	0.02	98.71	2.78	Rara
<i>Achnanthes alteragracillimum</i>	7	0.02	98.73	11.11	Rara
<i>Amphiprora</i> sp.1	7	0.02	98.74	5.56	Rara
<i>Amphora beaufortiana</i>	7	0.02	98.76	5.56	Rara
<i>Cocconeis</i> cf. <i>distantula</i>	7	0.02	98.77	2.78	Rara
<i>Halamphora cuneata</i>	7	0.02	98.79	11.11	Rara
<i>Mastogloia pusilla</i> var. <i>subcapitata</i>	7	0.02	98.81	8.33	Rara
<i>Navicula meniscoides</i>	7	0.02	98.82	11.11	Rara
<i>Navicula</i> sp.7	7	0.02	98.84	8.33	Rara
<i>Trachysphenia acuminata</i>	7	0.02	98.85	8.33	Rara
<i>Amphora</i> cf. <i>pannucea</i>	6	0.01	98.87	8.33	Rara
<i>Amphora jostesorum</i>	6	0.01	98.88	2.78	Rara
<i>Amphora</i> sp.6	6	0.01	98.89	2.78	Rara
<i>Auricula</i> sp.1	6	0.01	98.91	5.56	Rara
<i>Cocconeis pseudonotata</i>	6	0.01	98.92	8.33	Rara
<i>Cocconeis</i> sp.5	6	0.01	98.93	2.78	Rara
<i>Coscinodiscus lineolatus</i>	6	0.01	98.95	8.33	Rara
<i>Halamphora angularis</i>	6	0.01	98.96	5.56	Rara
<i>Nitzschia capitellata</i>	6	0.01	98.97	13.89	Rara
<i>Nitzschia</i> cf. <i>bremensis</i> var. <i>jeniseyensis</i>	6	0.01	98.99	5.56	Rara
<i>Nitzschia inflata</i>	6	0.01	99.00	2.78	Rara
<i>Sellaphora tridentula</i>	6	0.01	99.02	5.56	Rara
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	6	0.01	99.03	11.11	Rara
<i>Tryblionella angustatula</i>	6	0.01	99.04	5.56	Rara
<i>Achnanthes linearis</i>	5	0.01	99.05	2.78	Rara
<i>Amphora arenaria</i>	5	0.01	99.06	5.56	Rara
<i>Amphora nana</i>	5	0.01	99.08	2.78	Rara
<i>Bacillaria paxillifera</i>	5	0.01	99.09	5.56	Rara
<i>Cocconeis</i> cf. <i>dirupta</i>	5	0.01	99.10	2.78	Rara
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	5	0.01	99.11	8.33	Rara
<i>Halamphora</i> cf. <i>eunotia</i>	5	0.01	99.12	2.78	Rara
<i>Navicula arenaria</i> var. <i>rostellata</i>	5	0.01	99.13	8.33	Rara
<i>Navicula heterovalvata</i>	5	0.01	99.14	8.33	Rara
<i>Nitzschia aremonica</i>	5	0.01	99.15	5.56	Rara
<i>Nitzschia</i> sp.1	5	0.01	99.17	5.56	Rara
<i>Plagiotropis longa</i>	5	0.01	99.18	2.78	Rara
<i>Plagiotropis pusilla</i>	5	0.01	99.19	2.78	Rara
<i>Planothidium delicatulum</i>	5	0.01	99.20	2.78	Rara

<i>Planothidium hauckianum</i>	5	0.01	99.21	8.33	Rara
<i>Tetramphora lineolata</i>	5	0.01	99.22	5.56	Rara
<i>Tetramphora robusta</i>	5	0.01	99.23	13.89	Rara
<i>Tryblionella hungarica</i>	5	0.01	99.24	5.56	Rara
<i>Achnanthes</i> cf. <i>brevipes</i>	4	0.01	99.25	5.56	Rara
<i>Amphora</i> cf. <i>arenaria</i>	4	0.01	99.26	8.33	Rara
<i>Amphora proteus</i> var. <i>contigua</i>	4	0.01	99.27	8.33	Rara
<i>Astartiella punctifera</i>	4	0.01	99.28	5.56	Rara
<i>Biremis lucens</i>	4	0.01	99.29	8.33	Rara
<i>Cocconeis</i> sp.1	4	0.01	99.30	5.56	Rara
<i>Entomoneis paludosa</i>	4	0.01	99.31	5.56	Rara
<i>Envekadea palestinae</i>	4	0.01	99.32	2.78	Rara
<i>Gyrosigma tenuissimum</i> var. <i>hyperboreum</i>	4	0.01	99.33	2.78	Rara
<i>Haslea</i> sp.1	4	0.01	99.33	2.78	Rara
<i>Hippodonta</i> sp.2	4	0.01	99.34	2.78	Rara
<i>Mastogloia barbadensis</i>	4	0.01	99.35	2.78	Rara
<i>Mastogloia</i> cf. <i>striata</i>	4	0.01	99.36	5.56	Rara
<i>Mastogloia modesta</i>	4	0.01	99.37	2.78	Rara
<i>Navicula cancellata</i> var. <i>retusa</i>	4	0.01	99.38	5.56	Rara
<i>Navicula</i> sp.5	4	0.01	99.39	2.78	Rara
<i>Navicula</i> sp.9	4	0.01	99.40	8.33	Rara
<i>Nitzschia lanceolata</i>	4	0.01	99.41	2.78	Rara
<i>Nitzschia sigmaformis</i>	4	0.01	99.42	5.56	Rara
<i>Parlibellus</i> cf. <i>delognei</i>	4	0.01	99.42	2.78	Rara
<i>Pinnulariosigma raëanum</i>	4	0.01	99.43	5.56	Rara
<i>Psammodictyon panduriforme</i> var. <i>abrupta</i>	4	0.01	99.44	5.56	Rara
<i>Trieres mobiliensis</i>	4	0.01	99.45	2.78	Rara
<i>Tryblionella lanceolata</i>	4	0.01	99.46	8.33	Rara
<i>Tryblionella levidensis</i>	4	0.01	99.47	5.56	Rara
Taxon 23	4	0.01	99.48	2.78	Rara
<i>Achnanthes leonardii</i>	3	0.01	99.49	2.78	Rara
<i>Amphora catharinaria</i>	3	0.01	99.49	2.78	Rara
<i>Amphora</i> cf. <i>egregia</i>	3	0.01	99.50	8.33	Rara
<i>Amphora</i> cf. <i>mexicana</i> f. <i>minimum</i>	3	0.01	99.51	5.56	Rara
<i>Brachysira microcephala</i>	3	0.01	99.51	8.33	Rara
<i>Craticula sardiniana</i>	3	0.01	99.52	2.78	Rara
<i>Dimeregramma minus</i>	3	0.01	99.53	2.78	Rara
<i>Diploneis bombus</i>	3	0.01	99.53	2.78	Rara
<i>Frustulia interposita</i>	3	0.01	99.54	8.33	Rara
<i>Grammatophora angulosa</i> var. <i>pacifica</i>	3	0.01	99.55	5.56	Rara
<i>Mastogloia borneensis</i>	3	0.01	99.55	2.78	Rara
<i>Mastogloia erythraea</i> f. 3	3	0.01	99.56	2.78	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>pennata</i>	3	0.01	99.57	5.56	Rara
<i>Navicula dissipata</i>	3	0.01	99.57	5.56	Rara
<i>Navicula entoleia</i>	3	0.01	99.58	2.78	Rara
<i>Navicula invicta</i>	3	0.01	99.59	5.56	Rara
<i>Navicula</i> sp.11	3	0.01	99.59	2.78	Rara
<i>Nitzschia</i> cf. <i>pulcherrima</i>	3	0.01	99.60	2.78	Rara
<i>Nitzschia</i> sp.2	3	0.01	99.61	5.56	Rara
<i>Nitzschia</i> sp.3	3	0.01	99.61	5.56	Rara

<i>Paralia varennarum</i>	3	0.01	99.62	8.33	Rara
<i>Plagiotropis vitrea</i>	3	0.01	99.63	2.78	Rara
<i>Planothidium</i> cf. <i>lilljeborgei</i>	3	0.01	99.63	2.78	Rara
<i>Pleurosigma normanii</i>	3	0.01	99.64	8.33	Rara
<i>Proschkinia</i> sp.1	3	0.01	99.65	2.78	Rara
<i>Stausosira leptostauron</i>	3	0.01	99.65	2.78	Rara
Taxon 16	3	0.01	99.66	2.78	Rara
<i>Achnanthes antarctica</i>	2	0.00	99.66	2.78	Rara
<i>Achnantheidium</i> cf. <i>delicatulum</i>	2	0.00	99.67	5.56	Rara
<i>Actinoptychus senarius</i>	2	0.00	99.67	5.56	Rara
<i>Amphora</i> cf. <i>grevilleana</i> var. <i>typica</i>	2	0.00	99.68	2.78	Rara
<i>Amphora constricta</i>	2	0.00	99.68	5.56	Rara
<i>Amphora incredulata</i>	2	0.00	99.69	5.56	Rara
<i>Amphora luciae</i>	2	0.00	99.69	2.78	Rara
<i>Amphora ovalis</i>	2	0.00	99.70	2.78	Rara
<i>Amphora</i> sp.3	2	0.00	99.70	5.56	Rara
<i>Auricula minuta</i>	2	0.00	99.71	5.56	Rara
<i>Biddulphia alternans</i>	2	0.00	99.71	2.78	Rara
<i>Delphineis surirella</i> var. <i>australis</i>	2	0.00	99.71	2.78	Rara
<i>Diploneis weissflogii</i>	2	0.00	99.72	2.78	Rara
<i>Estartiela</i> sp.1	2	0.00	99.72	2.78	Rara
<i>Eunotogramma</i> sp.1	2	0.00	99.73	2.78	Rara
<i>Gomphonema sarcophagus</i>	2	0.00	99.73	2.78	Rara
<i>Gyrosigma murphyi</i>	2	0.00	99.74	2.78	Rara
<i>Halamphora dusenii</i>	2	0.00	99.74	2.78	Rara
<i>Halamphora kolbei</i>	2	0.00	99.75	2.78	Rara
<i>Licmophora paradoxa</i>	2	0.00	99.75	5.56	Rara
<i>Mastogloia apiculata</i>	2	0.00	99.75	5.56	Rara
<i>Mastogloia delicatissima</i>	2	0.00	99.76	2.78	Rara
<i>Mastogloia pumila</i>	2	0.00	99.76	2.78	Rara
<i>Mastogloia punctifera</i>	2	0.00	99.77	2.78	Rara
<i>Navicula arenaria</i> var. <i>arenaria</i>	2	0.00	99.77	2.78	Rara
<i>Navicula</i> cf. <i>microdigitoradiata</i>	2	0.00	99.78	2.78	Rara
<i>Navicula groschopffii</i>	2	0.00	99.78	2.78	Rara
<i>Navicula pavillardii</i>	2	0.00	99.79	5.56	Rara
<i>Navicula radiosafallax</i>	2	0.00	99.79	2.78	Rara
<i>Navicula</i> sp.8	2	0.00	99.80	2.78	Rara
<i>Navicula</i> sp.15	2	0.00	99.80	2.78	Rara
<i>Navicula</i> sp.17	2	0.00	99.80	2.78	Rara
<i>Navicula</i> sp.18	2	0.00	99.81	2.78	Rara
<i>Neodelphineis</i> sp.1	2	0.00	99.81	5.56	Rara
<i>Nitzschia</i> cf. <i>umbonata</i>	2	0.00	99.82	2.78	Rara
<i>Nitzschia</i> sp.4	2	0.00	99.82	2.78	Rara
<i>Paralia sulcata</i> var. <i>crenulata</i>	2	0.00	99.83	5.56	Rara
<i>Planktonella blanda</i>	2	0.00	99.83	5.56	Rara
<i>Planothidium campechianum</i>	2	0.00	99.84	5.56	Rara
<i>Psammodictyon panduriforme</i> var. <i>constricta</i>	2	0.00	99.84	2.78	Rara
<i>Psammodictyon panduriforme</i> var. <i>continua</i>	2	0.00	99.84	2.78	Rara
<i>Tetramphora rhombica</i>	2	0.00	99.85	2.78	Rara

<i>Trachyneis cf. velata</i>	2	0.00	99.85	2.78	Rara
<i>Achnanthes cf. lorenziana</i>	1	0.00	99.86	2.78	Rara
<i>Achnanthes dieselbe var. macrocephala</i>	1	0.00	99.86	2.78	Rara
<i>Achnanthes fimbriata</i>	1	0.00	99.86	2.78	Rara
<i>Amphora gramenorum</i>	1	0.00	99.86	2.78	Rara
<i>Amphora laevis</i>	1	0.00	99.87	2.78	Rara
<i>Amphora praelata</i>	1	0.00	99.87	2.78	Rara
<i>Amphora sp.5</i>	1	0.00	99.87	2.78	Rara
<i>Amphora sp.7</i>	1	0.00	99.87	2.78	Rara
<i>Amphora sp.8</i>	1	0.00	99.87	2.78	Rara
<i>Amphora spectabilis</i>	1	0.00	99.88	2.78	Rara
<i>Amphora sublaevis</i>	1	0.00	99.88	2.78	Rara
<i>Caloneis cf. absoluta</i>	1	0.00	99.88	2.78	Rara
<i>Coscinodiscus curvatulus var. minor</i>	1	0.00	99.88	2.78	Rara
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	1	0.00	99.89	2.78	Rara
<i>Cyclotella bomba</i>	1	0.00	99.89	2.78	Rara
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1	0.00	99.89	2.78	Rara
<i>Cymbella sp.1</i>	1	0.00	99.89	2.78	Rara
<i>Discostella pseudostelligera</i>	1	0.00	99.89	2.78	Rara
<i>Encyonema mesianum</i>	1	0.00	99.90	2.78	Rara
<i>Entomoneis alata var. japonica</i>	1	0.00	99.90	2.78	Rara
<i>Entomoneis paludosa var. hyalina</i>	1	0.00	99.90	2.78	Rara
<i>Fragilaria sp.1</i>	1	0.00	99.90	2.78	Rara
<i>Grammatophora angulosa</i>	1	0.00	99.91	2.78	Rara
<i>Grammatophora hamulifera</i>	1	0.00	99.91	2.78	Rara
<i>Grammatophora marina</i>	1	0.00	99.91	2.78	Rara
<i>Gyrosigma balticum var. diminutum</i>	1	0.00	99.91	2.78	Rara
<i>Gyrosigma gibbyae</i>	1	0.00	99.91	2.78	Rara
<i>Licmophora dalmatica</i>	1	0.00	99.92	2.78	Rara
<i>Licmophora remulus</i>	1	0.00	99.92	2.78	Rara
<i>Licmophora sp.1</i>	1	0.00	99.92	2.78	Rara
<i>Lyrella approximatoides</i>	1	0.00	99.92	2.78	Rara
<i>Mastogloia angustata</i>	1	0.00	99.93	2.78	Rara
<i>Mastogloia balaensis</i>	1	0.00	99.93	2.78	Rara
<i>Mastogloia biocellata</i>	1	0.00	99.93	2.78	Rara
<i>Mastogloia viperina</i>	1	0.00	99.93	2.78	Rara
<i>Melorsira montagnei</i>	1	0.00	99.93	2.78	Rara
<i>Navicula abunda</i>	1	0.00	99.94	2.78	Rara
<i>Navicula cf. palpebralis var. minor</i>	1	0.00	99.94	2.78	Rara
<i>Navicula sp.10</i>	1	0.00	99.94	2.78	Rara
<i>Navicula sp.12</i>	1	0.00	99.94	2.78	Rara
<i>Navicula sp.14</i>	1	0.00	99.95	2.78	Rara
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	0.00	99.95	2.78	Rara
<i>Nitzschia bilobata var. ?</i>	1	0.00	99.95	2.78	Rara
<i>Nitzschia sigma</i>	1	0.00	99.95	2.78	Rara
<i>Opephora mutabilis</i>	1	0.00	99.96	2.78	Rara
<i>Parlibellus plicatus</i>	1	0.00	99.96	2.78	Rara
<i>Pinnularia yarrensensis</i>	1	0.00	99.96	2.78	Rara
<i>Pinnunavis yarrensensis var. ovalis</i>	1	0.00	99.96	2.78	Rara

<i>Plagiotropis cf. lepidoptera</i>	1	0.00	99.96	2.78	Rara
<i>Planothidium cf. hauckianum</i>	1	0.00	99.97	2.78	Rara
<i>Rhabdonema sp.1</i>	1	0.00	99.97	2.78	Rara
<i>Rhopalodia constricta var. minor</i>	1	0.00	99.97	2.78	Rara
<i>Seminavis obtusiuscula</i>	1	0.00	99.97	2.78	Rara
<i>Seminavis sp.1</i>	1	0.00	99.98	2.78	Rara
<i>Skeletonema sp.1</i>	1	0.00	99.98	2.78	Rara
<i>Staurophora amphioxys</i>	1	0.00	99.98	2.78	Rara
<i>Surirella febigeri</i>	1	0.00	99.98	2.78	Rara
<i>Tetramphora ostrearia var. vitrea</i>	1	0.00	99.98	2.78	Rara
<i>Thalassiosphaera hyalina</i>	1	0.00	99.99	2.78	Rara
<i>Thalassiosira symetrica</i>	1	0.00	99.99	2.78	Rara
<i>Trachyneis aspera</i>	1	0.00	99.99	2.78	Rara
<i>Triceratium tessellatum</i>	1	0.00	99.99	2.78	Rara
Taxon 7	1	0.00	100.00	2.78	Rara
Taxon 18	1	0.00	100.00	2.78	Rara
Taxon 19	1	0.00	100.00	2.78	Rara
<i>Cocconeis sp.4</i>	0	0.00	100.00	0.00	Rara
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	0	0.00	100.00	0.00	Rara
<i>Planothidium sp.1</i>	0	0.00	100.00	0.00	Rara

Apéndice C. Análisis estadísticos

a. Variación temporal

i. Análisis de componentes principales

Cuadro C.a.i.1.- Cuadro de Valores propios.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	3.354	1.699	1.470	1.168	0.965	0.694
Variabilidad (%)	30.491	15.446	13.364	10.618	8.776	6.305
% acumulado	30.491	45.937	59.301	69.919	78.695	85.000

Cuadro C.a.i.2.-Carga factorial. Variables clasificadas como buenas subrayadas.

	F1	F2	F3	F4
Profundidad	-0.423	<u>0.568</u>	-0.144	0.420
Secchi	-0.458	0.528	-0.257	0.418
Temperatura	<u>-0.705</u>	<u>-0.551</u>	-0.123	0.306
Salinidad	-0.422	0.196	0.019	-0.168
pH	0.533	0.325	-0.501	0.132
O2%	0.389	-0.047	<u>0.729</u>	0.291
Amonio	<u>0.788</u>	0.064	-0.005	0.023
FRS	<u>0.830</u>	0.458	0.038	-0.143
Nitratos	0.169	-0.461	-0.499	-0.229
Silice	0.531	-0.279	<u>-0.556</u>	0.273
Clor a T	0.486	-0.378	0.158	0.667

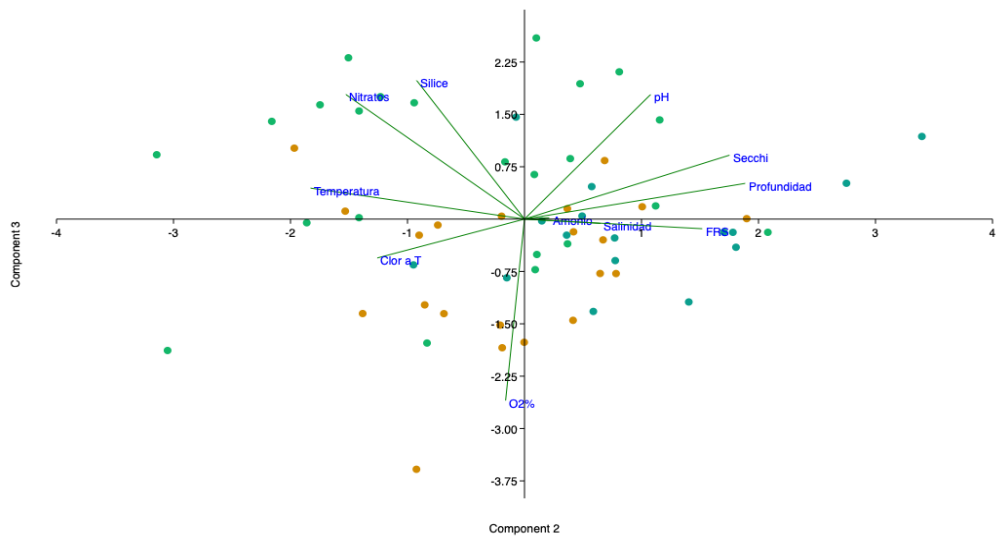


Figura C.a.i.1.- Gráfico Biplot del ACP. F1vsF3.

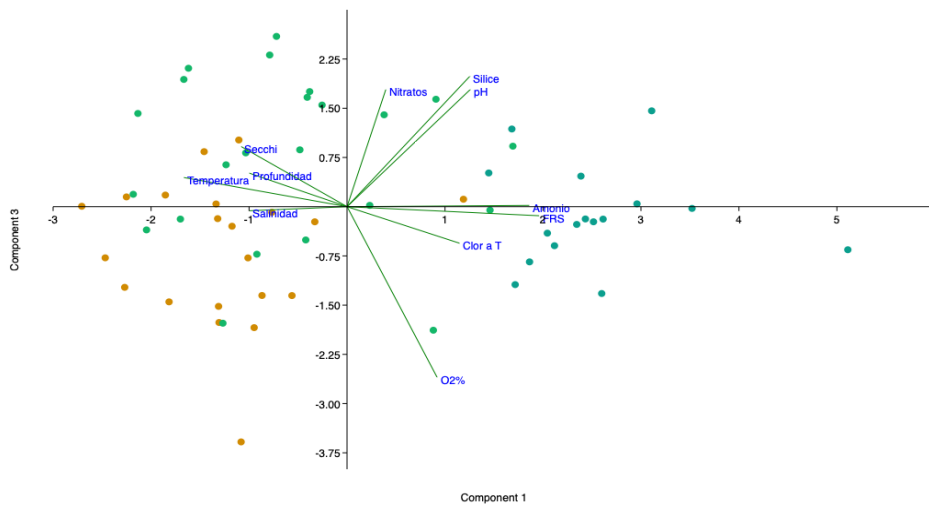


Figura C.a.i.2.- Gráfico Biplot del ACP. F2vsF3

b. Variación espacial

ii. Secas 2017

1. Análisis de discriminantes

Cuadro C.b.i.1.1.- Matriz de confusión. Subrayada: estación perteneciente a otro grupo.

	II	I	IV	III	Total
II	8	0	0	0	8
I	0	3	0	0	3
IV	0	0	3	0	3
III	<u>2</u>	0	0	5	7
Total	10	3	3	5	21

Cuadro C.b.1.1.2.- Cuadro de clasificación. Subrayado: clasificación incorrecta para la estación.

Point	Given group	Classificatio n	Jackknifed
1	II	II	II
2	II	II	II
3	II	II	II
4	I	I	II
5	I	I	III
6	II	II	II
7	II	II	II
8	II	II	III
9	IV	IV	IV
13	IV	IV	IV
14	II	II	II
15	II	II	III
16	IV	IV	IV
18	I	I	I
19	III	III	II
<u>20</u>	<u>III</u>	<u>II</u>	<u>II</u>
<u>21</u>	<u>III</u>	<u>II</u>	<u>I</u>
22	III	III	I
23	III	III	II
24	III	III	IV
25	III	III	I

2. Análisis de componentes principales

Cuadro C.b.1.2.1.- Valores propios del Análisis de componentes principales

Factor	Valor propio	Variabilidad (%)	% acumulado
F1	2.997	29.971	29.971
F2	1.653	16.526	46.497
F3	1.453	14.526	61.022
F4	1.135	11.350	72.372
F5	0.962	9.623	81.996
F6	0.699	6.993	88.989
F7	0.558	5.577	94.566
F8	0.304	3.037	97.603
F9	0.214	2.144	99.747
F10	0.025	0.253	100.000

Cuadro C.b.1.2.2.- Carga Factorial de las variables. Subrayado: variables de mayor importancia.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Prof-Total	-0.349	-0.159	<u>-0.613</u>	-0.472	-0.215	0.106	0.413	-0.068	0.150	-0.003
Secchi	-0.438	<u>-0.610</u>	-0.361	0.278	-0.191	-0.057	-0.346	0.201	0.168	-0.029
Temp	0.395	<u>0.766</u>	-0.118	0.313	0.148	-0.011	0.133	0.198	0.257	-0.012
Sal	0.186	-0.494	-0.069	<u>0.611</u>	0.244	0.443	0.292	-0.016	-0.047	0.008
pH	-0.056	<u>0.562</u>	<u>-0.594</u>	0.100	-0.287	0.389	-0.229	-0.032	-0.177	-0.017
O2%	-0.037	0.011	<u>0.722</u>	-0.143	-0.486	0.450	-0.020	0.041	0.127	-0.013
NH4	<u>0.890</u>	-0.149	-0.035	0.145	-0.279	-0.191	0.065	-0.182	0.000	-0.107
PO4	<u>0.880</u>	-0.132	-0.178	0.111	-0.342	-0.064	-0.105	-0.113	0.086	0.110
NO3	0.545	-0.140	-0.114	-0.417	0.532	0.305	-0.297	-0.117	0.133	-0.019
SiCo	<u>0.791</u>	-0.223	-0.088	-0.354	-0.046	0.039	0.087	0.397	-0.153	-0.003

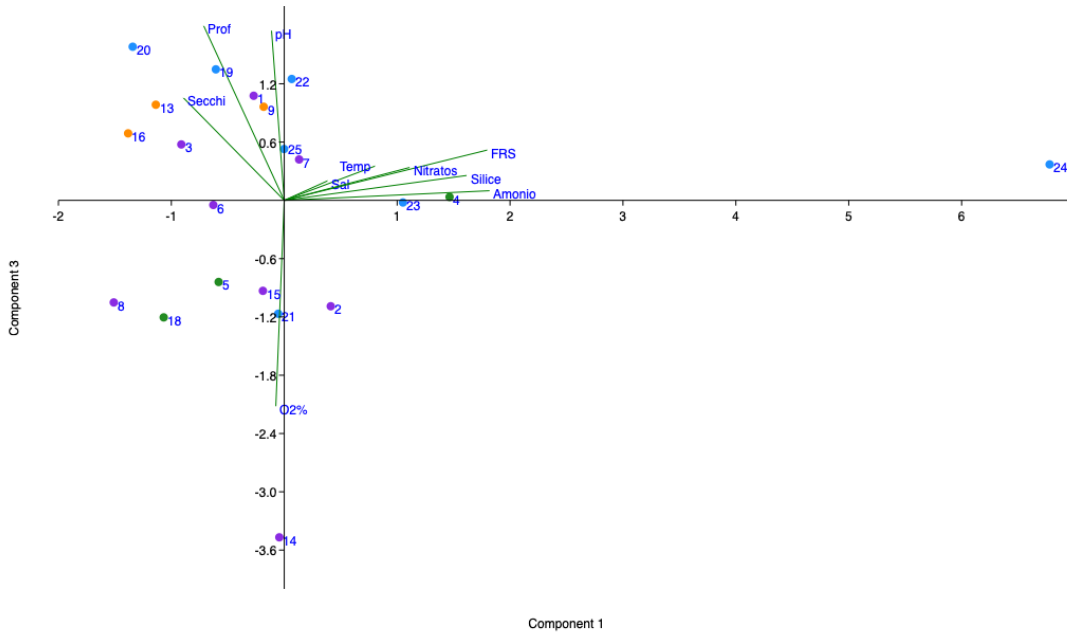


Figura C.b.1.2.1.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 1 y 3. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII; puntos azules: ZIII; puntos naranjas: ZIV.

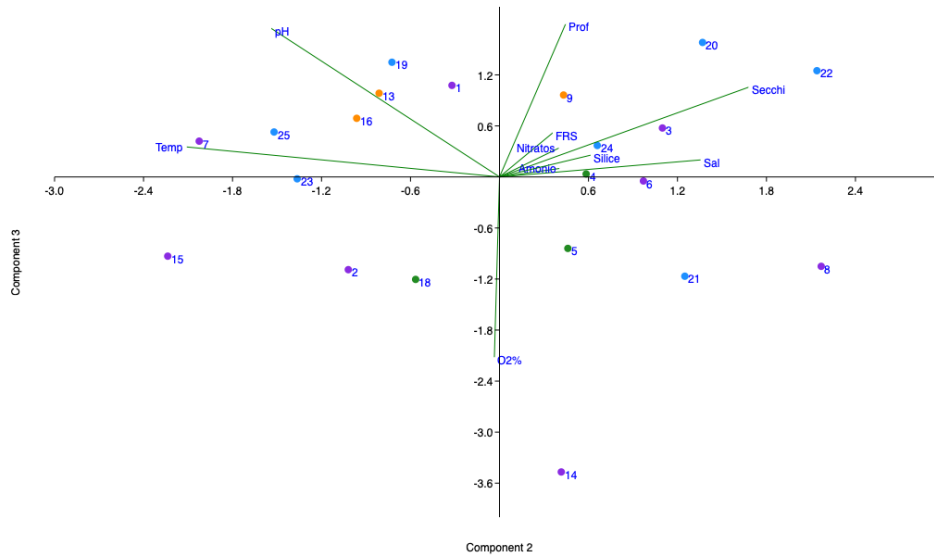


Figura C.b.1.2.2.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 2 y 3. Puntos verdes: ZI; puntos morados: ZII; puntos azules: ZIII; puntos naranjas: ZIV.

iii.Lluvias 2017

1. Análisis de discriminantes

Cuadro C.b.ii.1.1.- Matriz de confusión

	II	I	IV	III	Total
II	7	0	0	0	7
I	1	3	0	0	4
IV	0	0	6	0	6
III	0	0	0	6	6
Total	8	3	6	6	23

Cuadro C.b.ii.1.2.- Cuadro de clasificación. Subrayado: clasificación incorrecta de la estación

Point	Given group	Classificatio n	Jackknifed
2	II	II	II
3	II	II	I
<u>4</u>	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>II</u>
5	I	I	II
6	II	II	I
7	II	II	III
8	II	II	I
9	IV	IV	I
10	IV	IV	IV
11	I	I	IV
12	IV	IV	III
13	IV	IV	IV
14	II	II	I
15	II	II	I
16	IV	IV	IV
17	IV	IV	IV
18	I	I	IV
19	III	III	II
20	III	III	III
21	III	III	III
22	III	III	III
23	III	III	IV
24	III	III	III

2. Análisis de componentes principales

Cuadro C.b.ii.2.1.-Valores propios de Análisis de componentes principales

	Valor propio	Variabilidad (%)	% acumulado
F1	3.191	31.906	31.906
F2	1.781	17.808	49.713
F3	1.390	13.897	63.610
F4	1.145	11.450	75.060
F5	0.767	7.665	82.726
F6	0.665	6.652	89.378
F7	0.381	3.809	93.187
F8	0.319	3.190	96.376
F9	0.265	2.648	99.024
F10	0.098	0.976	100.000

Cuadro C.b.ii.2.1.- Carga Factorial de las variables durante la época de luvias-17.
Subrayado: variables de mayor importancia.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Profundidad	<u>0.872</u>	0.008	0.058	-0.161	0.055	-0.304	-0.092	0.164	-0.225	0.170
Secchi	<u>0.707</u>	-0.300	0.124	0.391	0.135	0.299	0.145	0.315	-0.048	-0.105
Temperatura	-0.285	0.358	-0.519	0.417	0.513	-0.170	0.175	-0.075	-0.138	0.004
Salinidad	<u>0.724</u>	-0.199	0.007	-0.306	0.436	0.208	0.125	-0.177	0.235	0.083
pH	-0.264	-0.573	0.444	0.278	0.371	-0.317	-0.284	-0.014	0.084	-0.038
O2%	0.046	<u>0.891</u>	0.096	0.218	0.065	0.004	-0.163	0.210	0.266	0.049
Amonio	-0.394	0.410	0.472	-0.403	0.346	0.326	-0.119	0.008	-0.221	-0.039
FRS	0.377	0.233	<u>0.564</u>	<u>0.586</u>	-0.174	0.128	0.043	-0.287	-0.084	0.065
Nitratos	<u>-0.675</u>	-0.054	0.547	-0.089	0.016	-0.189	0.410	0.144	0.057	0.078
Silice	<u>-0.707</u>	-0.419	-0.233	0.244	0.007	0.391	-0.118	0.092	-0.018	0.187

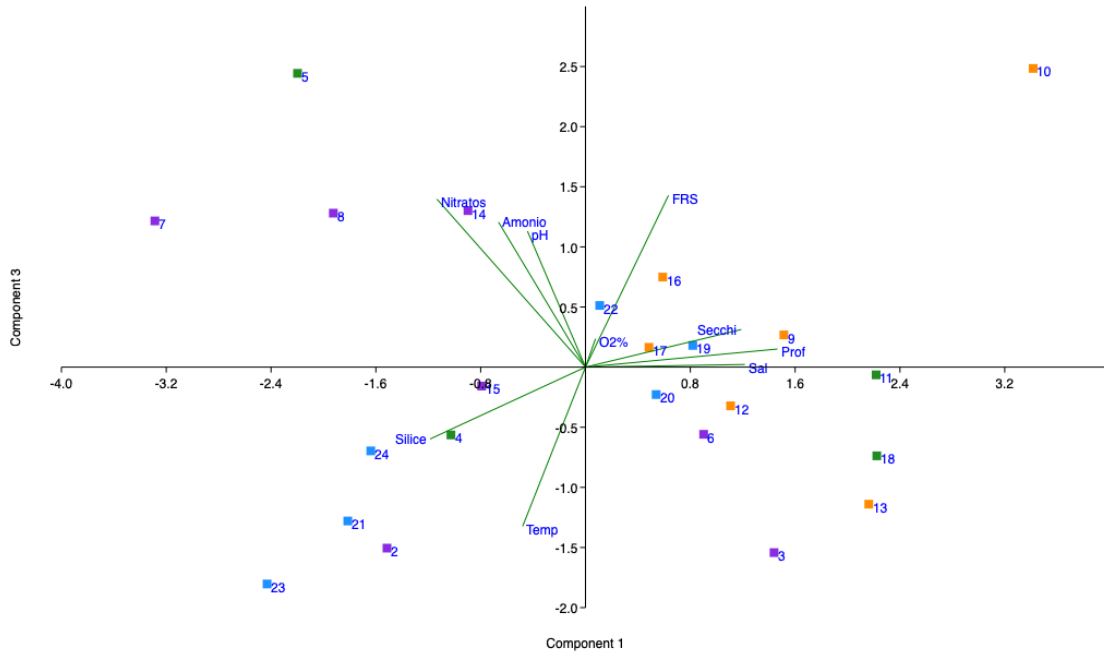


Figura C.b.ii.2.1.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 1 y 3. Cuadros verdes: ZI; cuadros morados: ZII; cuadros azules: ZIII; cuadros naranjas: ZIV.

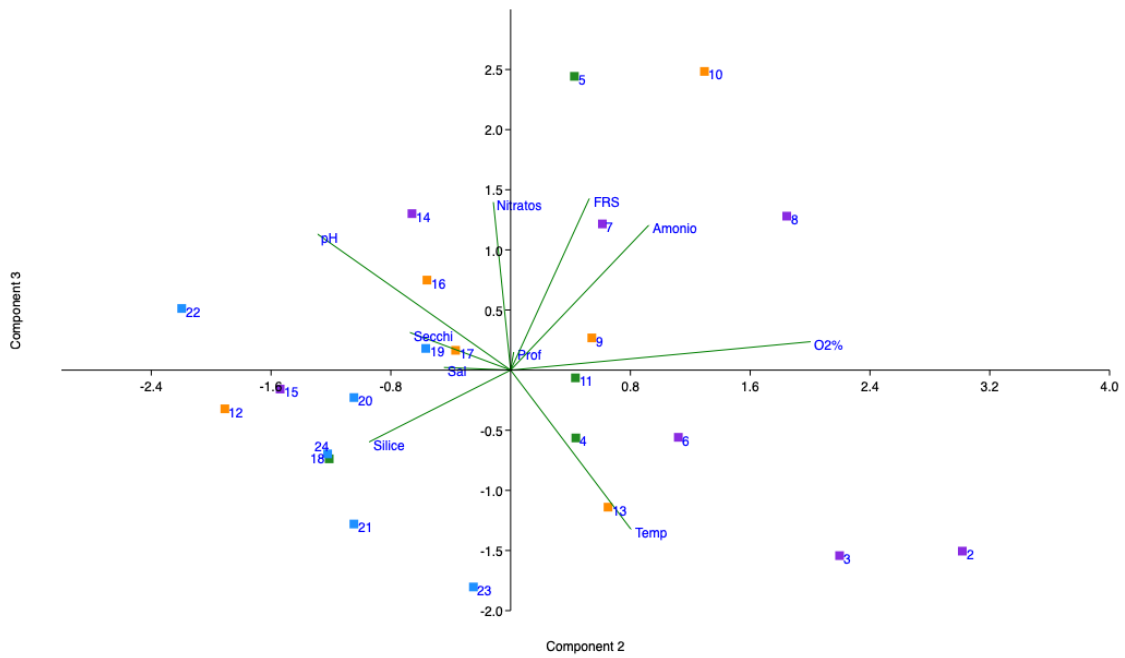


Figura C.b.ii.2.2.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 2 y 3. Cuadros verdes: ZI; cuadros morados: ZII; cuadros azules: ZIII; cuadros naranjas: ZIV.

iv.Nortes 2018

1. Análisis de discriminantes

Cuadro C.b.iii.1.1.- Matriz de confusión. Subrayada: estación perteneciente a otro grupo

	II	I	III	IV	Total
II	8	0	0	0	8
<u>I</u>	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>3</u>
III	0	0	2	0	2
IV	0	0	0	3	3
Total	8	2	2	4	16

Cuadro C.b.iii.1.2.- Cuadro de clasificación. Subrayado: clasificación incorrecta de la estación

Point	Given group	Classificatio n	Jackknife d
1	II	II	II
2	II	II	II
3	II	II	I
<u>4</u>	<u>I</u>	<u>IV</u>	<u>IV</u>
6	II	II	II
7	II	II	IV
8	II	II	III
9	III	III	III
10	III	III	IV
11	I	I	III
14	II	II	II
15	II	II	IV
18	I	I	I
21	IV	IV	II
23	IV	IV	I
24	IV	IV	III

2. Análisis de componentes principales

Cuadro C.b.iii.2.1.- Valores propios del Análisis de componentes principales

	Valor propio	Variabilidad (%)	% acumulado
F1	2.521	25.212	25.212
F2	2.178	21.783	46.995
F3	1.457	14.566	61.560
F4	1.289	12.890	74.450
F5	0.903	9.032	83.482
F6	0.711	7.112	90.595
F7	0.403	4.026	94.621
F8	0.285	2.849	97.470
F9	0.226	2.259	99.729

Cuadro C.b.iii.2.2.- Carga Factorial de las variables durante la época de nortes-18.
Subrayado: variables de mayor importancia.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Profundidad	<u>0.781</u>	-0.491	-0.094	0.038	-0.160	0.249	0.186	-0.046	-0.053	0.107
Secchi	<u>0.848</u>	-0.357	-0.170	-0.049	0.094	-0.022	0.078	0.154	0.280	-0.070
Temperatura	<u>-0.707</u>	-0.543	-0.244	-0.048	0.081	0.028	-0.251	0.163	0.204	0.070
Salinidad	0.303	<u>0.784</u>	-0.121	-0.339	0.136	0.031	-0.019	0.367	-0.092	0.037
pH	0.471	-0.505	-0.010	-0.268	0.402	-0.454	-0.227	-0.061	-0.169	0.008
O2%	-0.377	0.083	<u>-0.618</u>	-0.265	0.526	0.063	0.317	-0.132	0.018	0.003
Amonio	-0.095	-0.333	-0.394	<u>0.795</u>	0.125	0.040	0.034	0.195	-0.192	-0.029
FRS	0.030	-0.140	<u>0.652</u>	0.048	0.550	0.494	-0.077	0.011	-0.012	-0.010
Nitratos	0.203	<u>0.552</u>	0.221	<u>0.611</u>	0.296	-0.325	0.045	-0.065	0.169	0.059
Silice	-0.431	-0.451	<u>0.577</u>	-0.135	-0.014	-0.294	0.371	0.186	-0.024	0.007

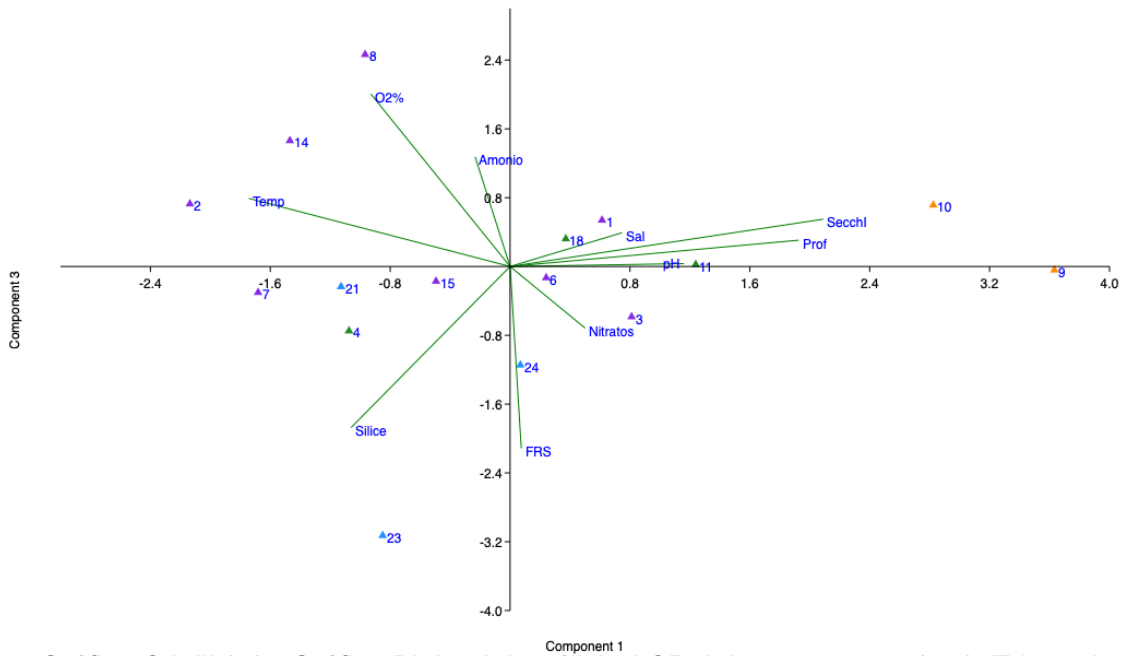


Gráfico C.b.iii.2.1.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 1 y 3. Triángulos verdes: ZI; triángulos morados: ZII; triángulos azules: ZIII; triángulos naranjas: ZIV.

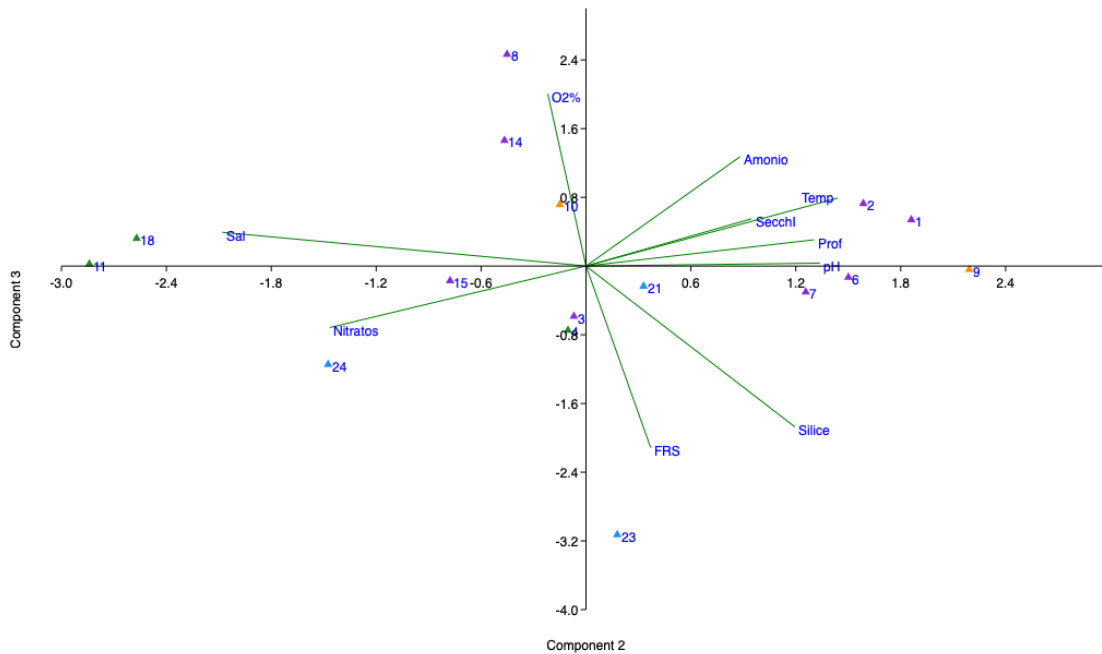


Gráfico C.b.iii.2.2.- Gráfico Biplot del análisis ACP del componente 2 y 3. Triángulos verdes: ZI; triángulos morados: ZII; triángulos azules: ZIII; triángulos naranjas: ZIV.

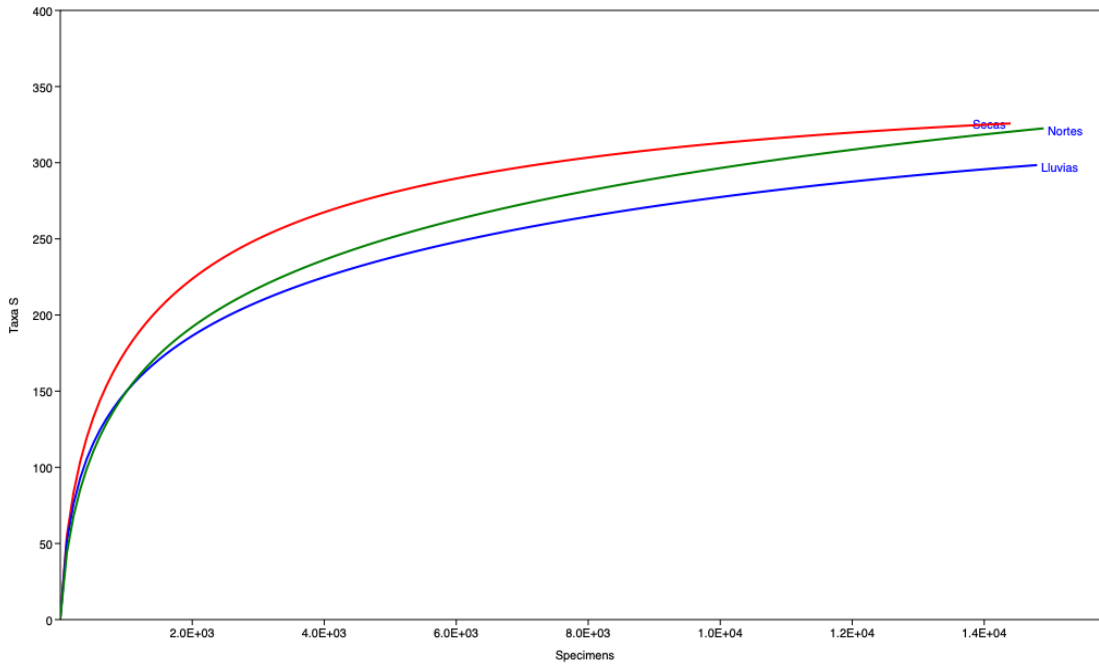


Gráfico C.b.iii.2.3.- Curva de rarefacción de acumulación de especies de diatomeas bentónicas para las épocas climáticas de la Laguna de Términos, Campeche, México.
 Línea roja: secas-2017; línea azul: lluvias-2017; línea verde: nortes-2018.

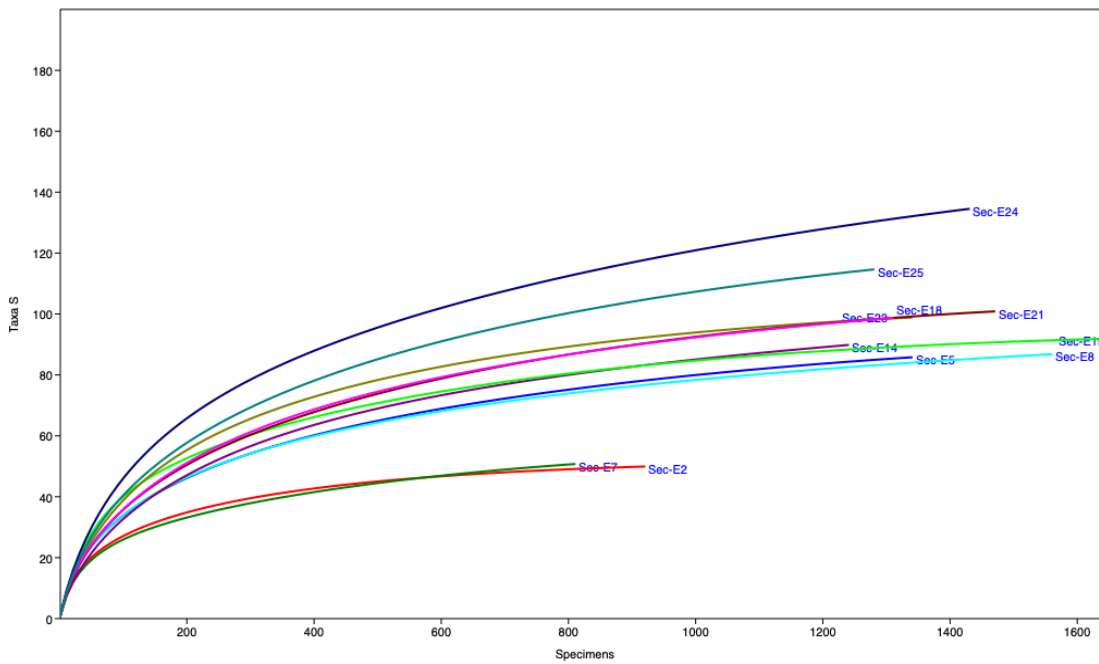


Gráfico C.b.iii.2.4.- Curva de rarefacción de acumulación de especies de diatomeas bentónicas para la época de secas-2017 de la Laguna de Términos, Campeche, México.

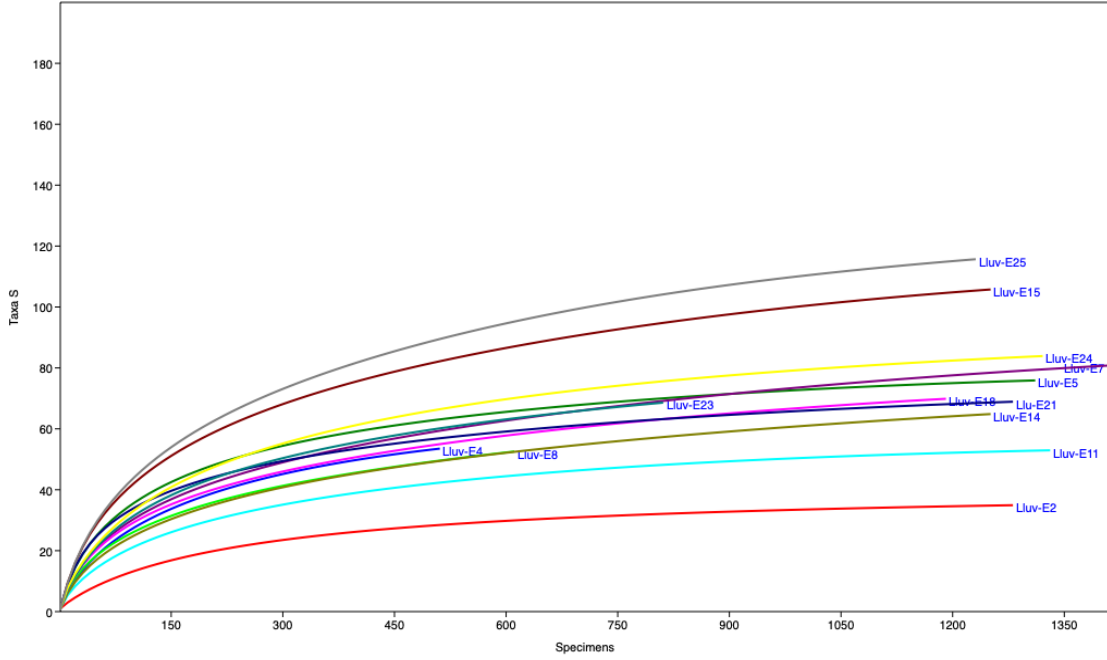


Gráfico C.b.iii.2.5.- Curva de rarefacción de acumulación de especies de diatomeas bentónicas para la época de lluvias-2017 de la Laguna de Términos, Campeche, México.

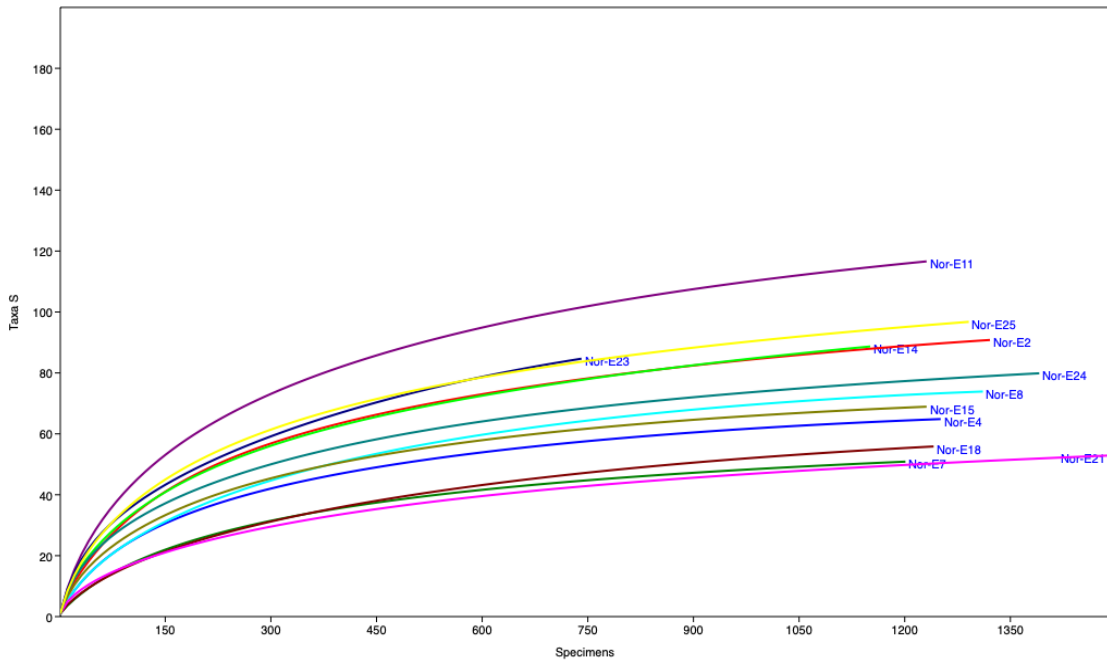
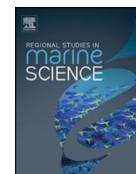


Gráfico C.b.iii.2.5.- Curva de rarefacción de acumulación de especies de diatomeas bentónicas para la época de nortes-2018 de la Laguna de Términos, Campeche, México.

Anexos



Physicochemical gradients in a coastal lagoon from the southern Gulf of Mexico; a multivariate approach

Daniela López-Mejía^{a,b}, Francisco José Gutiérrez-Mendieta^{b,*}, José A. Zavala-Hurtado^c, David A. Siqueiros-Beltrones^d, Francisco Varona-Cordero^b, Ivanhoe R. Herrera-Moro Chao^e

^a Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico

^b Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Edificio AS-224, Av. San Rafael Atlixco Núm. 186, Col. Vicentina, 09340, Ciudad de México, Mexico

^c Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco Núm. 186, Col. Vicentina, Apartado postal 55-535, 09340, Ciudad de México, Mexico

^d Departamento Plancton y Ecología Merina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, 23096, Baja California Sur, Mexico

^e Laboratorio de Pastos Marinos, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Edificio AS-212, Av. San Rafael Atlixco Núm. 186, Col. Vicentina, 09340, Ciudad de México, Mexico

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 May 2020

Received in revised form 30 September 2021

Accepted 2 March 2022

Available online 8 March 2022

Keywords:

Términos lagoon

Environmental gradients

Estuaries

Brackish water environment

Principal component analysis (PCA)

ABSTRACT

The high environmental variability that characterizes estuarine ecosystems can be approached through multivariate methods which would allow us to achieve an integrated view of the change ratios and direction of the environmental variables. The aim of this study was to make a spatio-temporal characterization of Términos Lagoon (TL) using a multivariate approach enabling us to better understand the high variability of the system and to recognize underlying gradients. Five samplings were carried out at TL in a period of two years during which physicochemical variables were measured along 25 stations. A principal component analysis was made to analyze changes and interactions between variables in the lagoon, using the scores values at each station to represent the spatial variation for each component. The mapped scores allowed us to detect multivariate gradients generated by the variable interactions in the new components. Each sampling displayed multivariate gradients composed by the interaction of different variables correlated to the principal components. Our results allow us to recognize the processes occurring in TL that are responsible for these gradients. One of the main processes was freshwater discharge, whose influence was irregular. The multivariate gradients proposed evidenced the high variability that characterizes TL and, likely, coastal systems in general. We thus consider that the present methodological approach is adequate for modeling both spatial and time variations in a coastal system.

© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Estuarine environments are characterized as being highly complex, diverse, and dynamic ecosystems (Day et al., 2013) where various physicochemical, biological and anthropogenic factors converge, granting them great variability which results in

multiple habitats (Escavara et al., 2004) and ecotones within the same system (Elliott and Whitfield, 2011). Repeated observations of certain patterns in coastal ecosystems has led to the definition of various paradigms which generalize the expected characteristics of these environments, such as their dependence on connected adjacent systems (Elliott and Whitfield, 2011).

A key particularity of estuarine environments is the epicontinental water inputs that, together with wind, salinity, and temperature directly affect circulation patterns (Snedden et al., 2013). These inputs also modify salinity which will exhibit the characteristic gradient of estuarine systems with increasing values from the river mouth towards the ocean (Day et al., 2013). Likewise, most physicochemical variables are affected by these inputs and, as with salinity, they show distinct gradients along the system.

Abbreviations: Condition of the Scores, (C1, C2 y C3); Principal Component Analysis, (PCA); Términos Lagoon, (TL)

* Corresponding author.

E-mail addresses: daniela.lopez.mejia20@gmail.com (D. López-Mejía), fgm@xanum.uam.mx (F.J. Gutiérrez-Mendieta), jazh@xanum.uam.mx (J.A. Zavala-Hurtado), dsiquei@gmail.com (D.A. Siqueiros-Beltrones), varonacf@gmail.com (F. Varona-Cordero), ivanhoer.siamex@gmail.com (I.R. Herrera-Moro Chao).

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102284>

2352-4855/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

Usually, the study of this type of environments has been oriented towards recognizing zones or regions within the system (David and Kjerfve, 1998; Robadue et al., 2004; Carvalho et al., 2009; Varona-Cordero et al., 2010; Domínguez et al., 2013; Medina-Gómez et al., 2015) whose particular characteristics sets them apart. However, this approach may lead to the loss of information because it overlooks the high variability typical of these systems.

In the case of Términos Lagoon (TL), different zonations have been proposed based on variations observed mainly in salinity and turbidity. The first one divided the lagoon into five regions (Yáñez-Arancibia and Day, 1982): (1) Inner coast of Isla del Carmen and Isla Aguada, (2) central part of the lagoon; considered as a transition zone (Carvalho et al., 2009), (3) freshwater influence zone in the south coast of the lagoon, (4) the del Carmen inlet, and (5) the Puerto Real inlet. This classification was related to the high interaction that the lagoon had with the constant exchange with surrounding subsystems (rivers, ocean and coastal lagoons) which promotes various processes and circulations patterns.

However, the most frequently referred classification for TL divides it into two main regions: (1) East zone, related to marine conditions, i.e., high salinity and low nutrient concentrations, and (2) West zone, where the Palizada river has notorious influence such as high nutrient and organic matter concentrations (David and Kjerfve, 1998; Robadue et al., 2004; Fichez et al., 2019). This zonation though does not exhibit a time-space consistency, and David and Kjerfve (1998) indicate that these regions behave almost as independent water bodies if the epicontinental water discharges into the lagoon do not increase significantly because they generate the hydrological homogenization of the lagoon.

The great variability that characterizes these systems can be approached confidently using multivariate methods, inasmuch these allow an integrated view of the environmental variables involved (Varona-Cordero and Gutiérrez-Mendieta, 2003), thus representing a rigorous approach for assessing space and time variations in these environments (Fichez et al., 2019). In addition, multivariate methods also allow identification of environmental variables interactions, allowing a better understanding of the fluctuations inside the system.

In view of the above, principal components analysis is one of the most employed multivariate methods for environmental characterization in aquatic systems (Pilkaityte and Razinkovas, 2006; Schenone et al., 2008; Rovira et al., 2012; Abou Zakhem, 2016; Carayon et al., 2020), and it has been used for analyzing the hydrology of Términos lagoon previously, e.g., Fichez et al. (2019) used it to recognize the lagoon variation that occurred along a two-year study which determined the repercussions of climate change in the system. Their approach allowed them to create a synthetic vision (model) of the variability of the lagoon, so that it is possible to compare it against further additional samplings.

Thus, our hypothesis was that environmental conditions in Términos lagoons should have temporal and spatial significant differences in the water column between samplings due to the characteristic high variability of coastal environments, and because of the influence of numerous adjacent systems connected with the lagoon directly. This variability would be controlled by multiple variable interactions instead of only one variable (i.e. salinity). So, this study aimed to carry out the spatio-temporal characterization of Términos lagoon using a multivariate approach that would allow us to determine the high system variability and to detect environmental gradients.

2. Study area

Términos lagoon (Fig. 1) is located on the southern Gulf of Mexico, in the state of Campeche, Mexico. It is the second-largest

coastal lagoon in the country (2500 km²; Medina-Gómez et al., 2015). It is a "Protected area for flora and fauna" (CONANP) and designated a Ramsar site (RAMSAR) mainly because of its importance as a nesting area for migratory birds, as well as breeding and nursery area for commercially important fisheries (Robadue et al., 2004; Ramos-Miranda and Villalobos-Zapata, 2015).

The lagoon shows a constant communication with Bahía de Campeche through two inlets located at both ends of the sand bar (Isla del Carmen), named Puerto Real inlet to the East (E), and del Carmen inlet to the West (W). It is surrounded by four discharging subsystems (Robadue et al., 2004): Candelaria-Mamantel river (72 m³ s⁻¹ discharge) in the E of the lagoon, flowing into Laguna de Panlau; Chumpán river (18 m³ s⁻¹ discharge) in the middle of the southern coast, flowing into Balchacah lagoon; Palizada river (288 m³ s⁻¹ discharge; Medina-Gómez et al., 2015) in the W flowing into the Viento-Oeste-Vapor lagoon system; and San Pedro-San Pablo river that reaches the Pom-Atasta-Peralta lagoon system, at the W end near Carmen inlet. Located on its NE and E ends are the Sabancuy and Xibujá estuaries, respectively.

According to Guerra-Santos and Kahl (2018), the region is characterized by three climate seasons: a dry season from February to April, with low precipitation (<60 mm); a wet season from June to September, with May as a transition period; and nortes season from October to January, with predominant northern winds.

3. Material and methods

3.1. Sampling

An array of 25 sampling stations was established comprising the whole lagoon surface (Fig. 1). Five samplings were carried out from April 2017 to January 2019 during the three seasons identified for the lagoon: dry 2017 (Dry-17) from April 25th to April 27th of 2017; rainy 2017 (Wet-17) from August 30th to September 1st of 2017, rainy 2018 (Wet-18) from October 2nd to October 4th 2018, this sampling was considered as rainy season due to the absence of any Nortes event before or in the sampling (Fig. 2), Nortes 2018 (Nor-18) from January 10th to January 12th of 2018, and Nortes 2019 (Nor-19) from January 16th to January 18th of 2019. During Dry-17 and Nor-18, some stations were not sampled in the central part of the system because of rough weather conditions. The Dry-2017 and Wet-2018 samplings presented moderate and severe drought conditions, respectively (CONAGUA, 2020; Fig. 2).

At each station the following variables were measured: depth using a SM-5 depth meter, water transparency with a Secchi disk, temperature with a Mercury thermometer, salinity with a Vee Gee STX-3 refractometer, and pH with a potentiometer. Water samples were collected at mid-depth for dissolved oxygen measurements using the Winkler technique (Strickland and Parsons, 1972) and O₂% saturation (UNESCO, 1986). To determine nutrient concentrations, 500 ml sample water were filtered using Whatman GF/F filters which were later used to measure phytoplankton biomass (Chl *a*). Measured nutrients included soluble reactive phosphorus (SRP), ammonia (NH₄⁺), nitrates and nitrites (NO₃+NO₂) and silicates (SiO₂) following (Strickland and Parsons, 1972). Chl *a* was analyzed by HPLC in a HP 1100 chromatograph equipped with a quaternary pump (Vidussi et al., 1996) and diode array. Chl *a* identification and its concentration were determined by comparison of its retention time peak and by comparing its absorption spectra with those of a library from a calibration curve for a chlorophyll *a* standard (Vidussi et al., 1996).

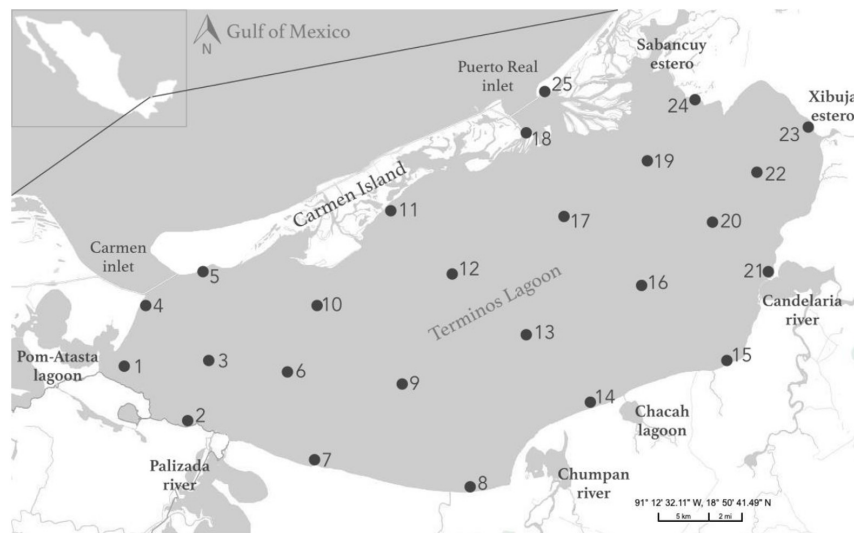


Fig. 1. Location of Términos lagoon, adjacent subsystems, and distribution of sampling stations.

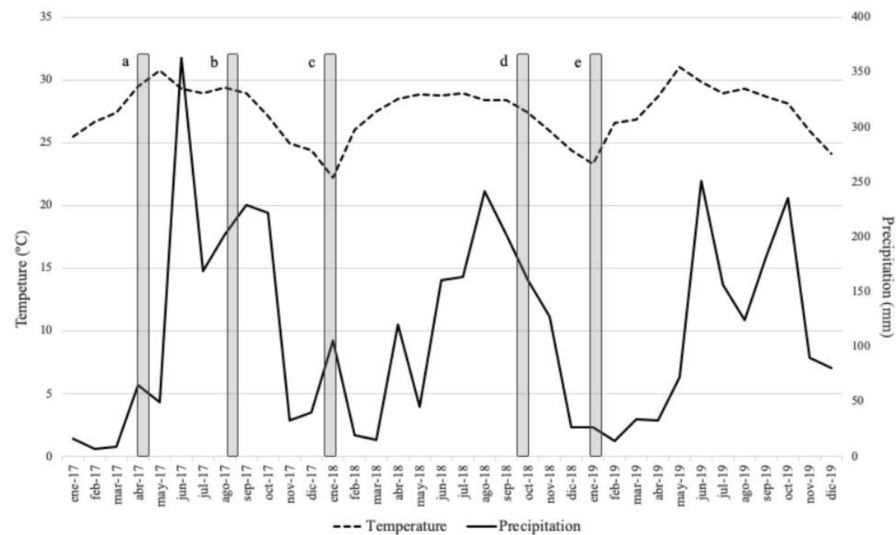


Fig. 2. Precipitation and temperature records for Ciudad del Carmen during sampling months. Bars represent the sampling periods: (a) Dry-2017; (b) Wet-2017; (c) Nortes-2018; (d) Wet-2018; (e) Nortes-2019. (CONAGUA, 2020).

3.2. Data processing

In order to understand the changes occurring in the lagoon an exploratory data analysis was carried out using the median as measure of Central Tendency and the absolute median deviation (AMD) as dispersion measure for all physicochemical variables. Both measures are robust statistics that reduce the effect of extreme values (García-Pérez, 2001; Ramalle-Gómara and Andrés De Llano, 2003). Then, Kruskal-Wallis tests between sampling for nutrient concentrations, and CI α , to determine if there were significant differences between them. Afterwards, a Kruskal-Wallis-Z test was used to identify specific differences. Statistica 8.0 was used in both cases.

3.2.1. Interaction between environmental variables determined by principal component analysis (PCA)

PCA transforms the original variable set into a new set formed by orthogonal principal components (Abou Zakhem, 2016). These new variables called principal components allow us to explain system changes based on more than one variable, as usually done. The analysis assumes that variables change linearly along gradients and this lineal relation exists between variables, that is why they can be combined to create a new component (McGarigal et al., 2000). However, this linear relationship is difficult to identify in environmental variables, making the data interpretation a hard task.

Despite this, the PCA is an important resource that creates new information to understand the interaction of the variables under

an exploratory context, and large departures from ideal data structures are tolerable (Gauch, 1982; McGarigal et al., 2000).

The interaction between variables in the lagoon during the study period was explored using principal component analysis (PCA; XL-STAT 2009.3.02) applied on the correlation matrix of the standardized data (PRIMER 6 software). The most important components were those that achieved more than 50% of cumulative variance. The most important variables in each component were selected based on their loadings, <0.550 and <-0.550 , which are considered as good (Tabachnick and Fidell, 2014). Positive and negative signs in the factor values determine their correlation between the more important variables.

The PCA results were mapped to represent the variation of the most important physicochemical parameters from each sampling to show the gradients in the lagoon. These “multivariate gradients” represent the interaction of the most important variables for the main components in the analysis, and are measured with the “scores”, which are the component’s value at each station: their magnitude is directly associated to the correlation and magnitude of the factor weight of the important variables.

In this way, three distinct conditions are defined in general as: (C1) Positive scores values related to high correlations, values greater than the median with positive factor weight, and values below the median with negative factor weight; (C2) negative scores values associated to high correlations, values above the median for variables with negative factor weight, and values below the median for variables with positive factor weight; and (C3) scores values close to zero associated to low or no correlation, and values close to the median of the important variables.

Scores were mapped (Ocean Data View, ODV 4.7.8 at 32 bits for Windows; DIVA algorithm), where it was possible to observe the multivariate gradients created by the interactions of variables in the generated components. The scales in the maps for each sampling were unified to avoid overestimating the importance of the components.

4. Results

4.1. Temporal variation

Among the five samplings, salinity (25 ± 5 ; $KW_{4,109} = 9.09$, $p = 0.587$) and depth (2 ± 1.3 m; $KW_{4,109} = 6.617$, $p = 0.157$) were the only variables with no significant differences between samplings.

The rest of the variables showed significant differences between samplings, even among those classified in the same season. The highest temperatures registered were in Wet-17 while the lowest were during Nor-18 ($KW_{4,109} = 85.57$, $p < 0.05$), this sampling also had the highest pH ($KW_{4,109} = 46.90$, $p < 0.05$) and the lowest transparency ($KW_{4,109} = 18.06$, $p = 0.012$) and in Nor-19 the lowest oxygen saturations were registered. Secondly, the lowest silicate concentration ($KW_{4,109} = 47.24$, $p < 0.05$) was registered in Dry-17, while Nor-19 had the highest concentration. Nitrate + nitrite in Nor-19 were highest ($KW_{4,109} = 31.03$, $p < 0.05$) compared with the rest of the samplings. Ammonia was below the detection limit in Dry-17 and the highest concentration was in Nor-18 ($KW_{4,109} = 58.66$, $p < 0.05$). In the latter sampling there were higher phosphorus concentrations than in LL-18 which had the minimum values ($KW_{4,109} = 78.84$, $p < 0.05$).

4.2. Spatial variation

Due to the differences detected between the samplings, a PCA was performed for each one. In general, more than 50% of the variation was explained by the first three components of the analysis (Table 2). The differences between samplings could also be observed in the PCA, as each one was explained by different variables.

4.2.1. Dry-2017 sampling

During Dry-2017 the stations located to the center of the lagoon and the inner coast of Isla del Carmen were not sampled due to bad weather conditions (Fig. 1). The first three components of the PCA explained 61.56% of the variance (Table 2). Component 1 (PC1) had a positive correlation with NH_4^+ , SRF, and SiO_2 (Table 2; Fig. 3a). A gradient is evident starting from the East of the lagoon at station 24, and from the mouth of the Palizada river and Carmen inlet. In these sites, the scores were positive, associated with high nutrient concentrations (Fig. 3), meeting Condition 1 (C1). Both gradients were oriented towards the center of the lagoon where negative scores occurred due to the decline in NH_4^+ and SiO_2 concentrations below the median values. The second component (PC2) had positive correlation with $O_2\%$ and Cl_a , and negative correlation with transparency (Table 2; Fig. 3c). The highest scores (C1) were located near the mouth of the Chumpán river and Chacah inlet (stations 8 and 14) on the south coast, remaining positive towards the inner portion of Isla del Carmen, although reaching negative scores towards the E and W ends of the lagoon (Fig. 3d) due to the increase in transparency and a lowering in $O_2\%$ and Cl_a , thus complying with Condition 2 (C2).

The third component (PC3) correlated positively with temperature and pH, and negatively with salinity (Table 2; Fig. 3e). The positive score (C1) was displayed from the coast close to the mouths of the Palizada, Candelaria rivers and Estero Xibuja (Fig. 3f), from where a gradient was generated towards the center of the lagoon and inner coast of Isla del Carmen. Negative scores occurred from the mouth of the Chumpán river up to the East coast of Isla del Carmen with low pH values, the temperature was close to the median value, and salinity varied from values below the median up to the maximum recorded (Table 1). The middle part of the Eastern lagoon showed the lowest scores in compliance with C2.

4.2.2. Wet-2017 sampling

For Wet-2017, 62.82% of the variation was explained by the three first factors in the PCA (Table 2). PC1 had a positive correlation with transparency and salinity, negative with NO_3+NO_2 and Cl_a (Fig. 4a). One of the highest scores came from the Puerto Real inlet, where maximum transparency and salinity were recorded, but due to the high Cl_a concentration, it was not the highest, which corresponded to the center of the lagoon in accordance with C1, while negative scores (C2) were estimated close to the mouth of Palizada and Chumpán rivers, as well as in stations 23, near the mouth of Estero Xibuja in the Eastern part of the lagoon (Fig. 4b).

PC2 showed a positive correlation with $O_2\%$ and negative with pH and SiO_2 (Table 2; Fig. 4c). This component showed a gradient oriented from W to E, starting in the Atasta inlet (maximum score), with diminishing $O_2\%$ levels while pH y SiO_2 increase, reaching negative FV (Fig. 4d). One-third of the lagoon did not show this interaction between variables in compliance with C3, thus resulting in scores close to zero. Station 7, near the Palizada river, was an exception, with high $O_2\%$ and SiO_2 .

PC3 had positive correlation with SRP (Table 2; Fig. 4e) with a gradient going from the inner coast of Isla del Carmen to the south shore of the lagoon, and from W to E reaching a maximum concentration at station 10. The W and E ends presented low scores because SRP was below the median value (Fig. 4f).

4.2.3. Nortes-2018 sampling

During Nortes-2018 stations located at the center-east of the lagoon were not surveyed (Fig. 5). For this season, 60.65% of the variation was explained by the first three components (Table 2). PC1 had positive correlations with temperature and Cl_a ,

Table 1

Summary statistics of environmental variables measured in Laguna de Términos. (Me) Median; (AMD) Absolute median deviation; (Min) Minimum; (Max) Maximum; (Dp) Depth; (Zsd) Transparency; (Temp) Temperature; (Sal) Salinity; (O₂%) Percentage of oxygen saturation; (NH₄⁺) Ammonia; (SRP); Soluble reactive phosphorus; (NO₃+NO₂) Nitrate + Nitrite; (SiO₂) Silicates; (Cla) Chlorophyll *a*; Below the detection limit (BL).

		Dp (m)	Zsd (m)	Temp °C	Sal	pH	O ₂ %	NH ₄ ⁺ (μM)	SRP (μM)	NO ₃ + NO ₂ (μM)	SiO ₂ (μM)	Cla (mg m ⁻³)
Dry 2017	Me	1	0.9	30	30	7.75	80.1	BL	3.49	0.39	2.39	1.01
	MAD	0.5	0.4	0.5	5	0.56	11.63	0	0.32	0.14	1.15	0.61
	Min	0.5	0.3	29	4	5.72	59.83	BL	2.49	0.14	BL	4.06
	Max	5	3.1	31	36	8.52	148.46	18.01	10.48	1.85	8.54	0.4
Wet 2017	Me	3	1.2	31.5	25	8.2	75.35	1.34	3.68	0.59	8.49	2.65
	MAD	1.5	0.5	0.5	1	0.11	18.57	0.96	0.19	0.13	2.15	1.29
	Min	0.5	0.5	30	10	6.79	46.74	BL	3.23	0.32	ND	7.19
	Max	7	4	33	35	8.72	127.42	14.32	15.32	1.57	15.68	0.77
Nortes 2018	Me	0.65	0.6	25.2	22	8.49	94.77	7.21	39.56	0.41	7.43	3.37
	MAD	0.15	0.2	0.8	2.5	0.05	3.96	1.62	2.2	0.13	2.16	0.77
	Min	0.5	0.35	23.4	12	8.34	75.37	3.77	6.25	0.15	2.14	15.9
	Max	4.3	3	26.7	35	9.49	124.02	18.81	42.87	1.54	15.51	1.34
Wet 2018	Me	2.5	1	31	27	7.83	92.53	8.17	2.04	1.16	5.58	2.64
	MAD	1.2	0.2	1	3	0.07	5.18	2.89	0.22	0.52	1.31	0.82
	Min	0.5	0.15	29	14	7.17	68.44	3.08	1.51	0.12	0.37	8.59
	Max	4.6	1.85	35	32	8	150.25	23.38	3.51	4.11	9.82	1.52
Nortes 2019	Med	2.15	0.63	26	25	7.83	51.35	3.99	3.98	3.4	10.46	3.04
	MAD	1.45	0.18	1	5	0.11	10.4	2.96	0.76	2.97	2.71	1.33
	Min	0.2	0.2	25	5	7.12	8.13	0.02	2.85	ND	1.9	10.5
	Max	4.4	1.4	28	39	8.12	233.33	28.59	8.38	32.54	18.14	0.73

Table 2

Eigenvalues for the principal components for each sampling, and factor weights of the variables for each component. Values in bold are factor weights classified as "good".

	Dry-2017			Wet-2017			Nortes-2018			Wet-2018			Nortes-2019	
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2
Eigenvalue	2.963	1.727	1.467	2.756	2.126	1.400	2.910	1.692	1.463	2.610	1.935	1.590	3.332	2.027
Variability (%)	29.629	17.266	14.669	27.562	21.263	14.001	29.100	16.920	14.631	26.100	19.349	15.900	33.315	20.274
Accumulated %	29.629	46.895	61.564	27.562	48.825	62.827	29.100	46.020	60.651	26.100	45.449	61.349	33.315	53.590
Variables	Factor weight													
Zsd	-0.356	-0.674	-0.456	0.735	0.127	0.067	-0.384	0.624	-0.560	0.721	-0.401	0.051	0.745	0.300
Temp	0.262	-0.345	0.701	-0.428	0.278	-0.473	0.852	0.016	-0.022	-0.347	0.427	0.742	-0.563	0.188
Sal	0.219	-0.154	-0.565	0.747	0.123	-0.008	-0.712	-0.417	-0.032	0.162	0.336	-0.554	0.768	-0.499
pH	-0.087	-0.462	0.627	-0.042	-0.631	0.328	-0.076	0.760	-0.371	0.430	0.425	0.174	-0.642	-0.126
O ₂ %	-0.002	0.699	0.075	-0.360	0.857	0.207	0.321	-0.433	-0.342	-0.207	0.671	0.379	0.006	0.734
NH ₄ ⁺	0.904	-0.079	-0.025	-0.484	0.082	0.535	0.501	-0.098	-0.567	-0.555	-0.557	0.224	0.548	0.277
SRP	0.882	-0.237	0.003	0.338	0.330	0.604	0.002	0.352	0.461	-0.708	0.330	-0.237	0.702	0.434
NO ₃ + NO ₂	0.502	-0.209	-0.170	-0.585	-0.405	0.520	-0.425	-0.251	-0.034	-0.673	-0.441	0.188	-0.074	0.694
SiO ₂	0.834	0.000	-0.117	-0.451	-0.575	-0.301	0.515	0.381	0.568	-0.540	-0.247	-0.321	-0.712	0.494
Cla	0.410	0.566	0.084	-0.671	0.525	-0.098	0.851	-0.151	-0.188	-0.400	0.416	-0.558	-0.389	-0.326

and negative with salinity (Fig. 5a), defining a gradient from the southern shore of the lagoon, close to the mouth of the Palizada and Chumpán rivers (highest score; C1), towards the center of the lagoon where temperature and Cla values decreased, and salinity increased (Fig. 5b). The lowest scores corresponded to the inner middle shore of Isla del Carmen, where minimum Cla was detected along with high salinity.

PC2 correlated positively with pH and transparency (Table 2; Fig. 5c), maximum values for both variables occurred at station 9 in the center of the lagoon in accordance with C1 condition, reaching the highest score. The opposite (C3) occurred close to the mouth of the Chumpán river and Chacah inlet, and on the inner coast of Isla del Carmen. The rest of the lagoon yielded scores close to zero (Fig. 5d).

PC3 correlated positively with SiO₂, and negatively with NH₄⁺ (Table 2; Fig. 5e). The highest score occurred at station 23 on the East shore of the lagoon near Estero Xibuja (Fig. 5f), where the highest concentration of SiO₂ was measured, marking the beginning of a gradient towards the W of the lagoon where SiO₂ decreased and increase again. Meanwhile, ammonia concentration increased towards the center of the lagoon, and from the middle of the Southern coast to the inner shore of the bar, reaching the highest concentrations near the Atasta inlet (Fig. 5f).

4.2.4. Wet-2018 sampling

For this period, 61.35% of the variation was explained by the first three components (Table 2). PC1 had a positive correlation with transparency, and negative with SRP, NO₃+NO₂ and NH₄⁺ (Fig. 6a). The interaction between variables generated a multivariate gradient from the Southwest to the East of the lagoon with nutrient concentrations decreasing while transparency increased (Fig. 6b). The eastern part of the lagoon had positive scores with high transparencies, while NH₄⁺ concentrations surpassed the median, and SRP and NO₃+NO₂ reached their lowest values. With NH₄⁺ being a less important variable (Table 2) its effect on the factor was smaller than that of SRP and NO₃+NO₂.

PC2 correlated positively with O₂% (Table 2; Fig. 6c); the highest values of O₂% were observed close to the mouth of the Palizada river, where the highest score was estimated. The inner coast of Isla del Carmen also showed positive scores defining a multivariate gradient towards the center of the lagoon (Fig. 6d), separating two zones of negative scores with high ammonia concentrations (close to the maximum value) and low values of O₂%. This same interaction between variables was noted at the Atasta inlet and to the East of the lagoon (Fig. 6d).

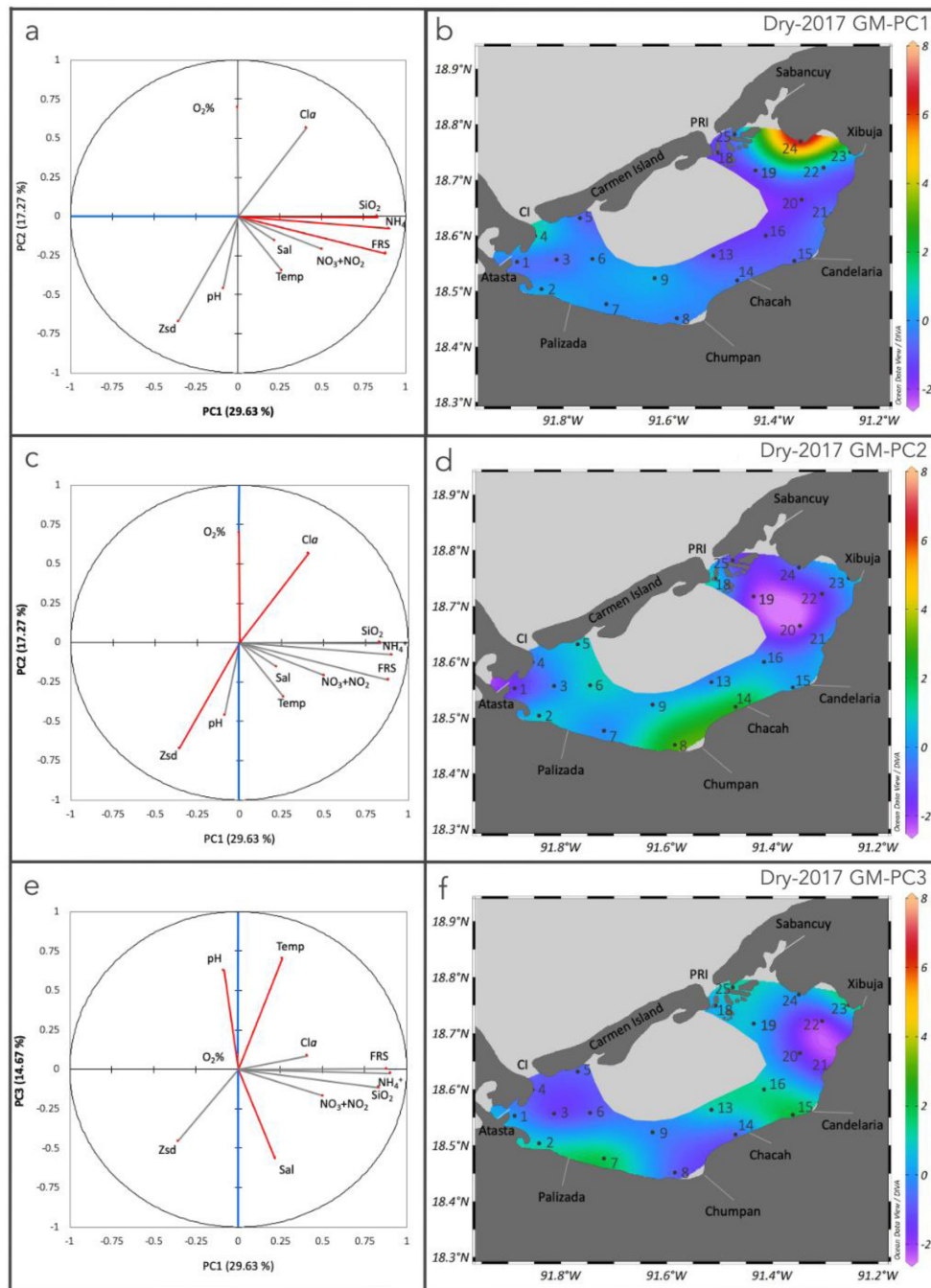


Fig. 3. PCA plot and multivariate gradients of the principal components of Dry-2017: (a, b) PC1; (c, d) PC2; (e, f) PC3. Blue axis: component analyzed; Red vectors: most relevant variables of the component. The color scale is dimensionless and represents the value of the scores, going from the lowest value (purple), zero (green), and the highest (red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

PC3 had a positive correlation with temperature, and negative with Cla and salinity (Table 2; Fig. 6e). This interaction of variables divides the Palizada river influence zone in two, the left side characterized by high temperatures and salinities and Cla values below the median (Fig. 6f) from the SW coast to del Carmen inlet.

While the right side showed the highest value of Cla, with salinity surpassing the median value and temperature below the median. In most of the lagoon, this component did not correlate much with the environmental variables, thus its scores remained close to zero in compliance with C3.

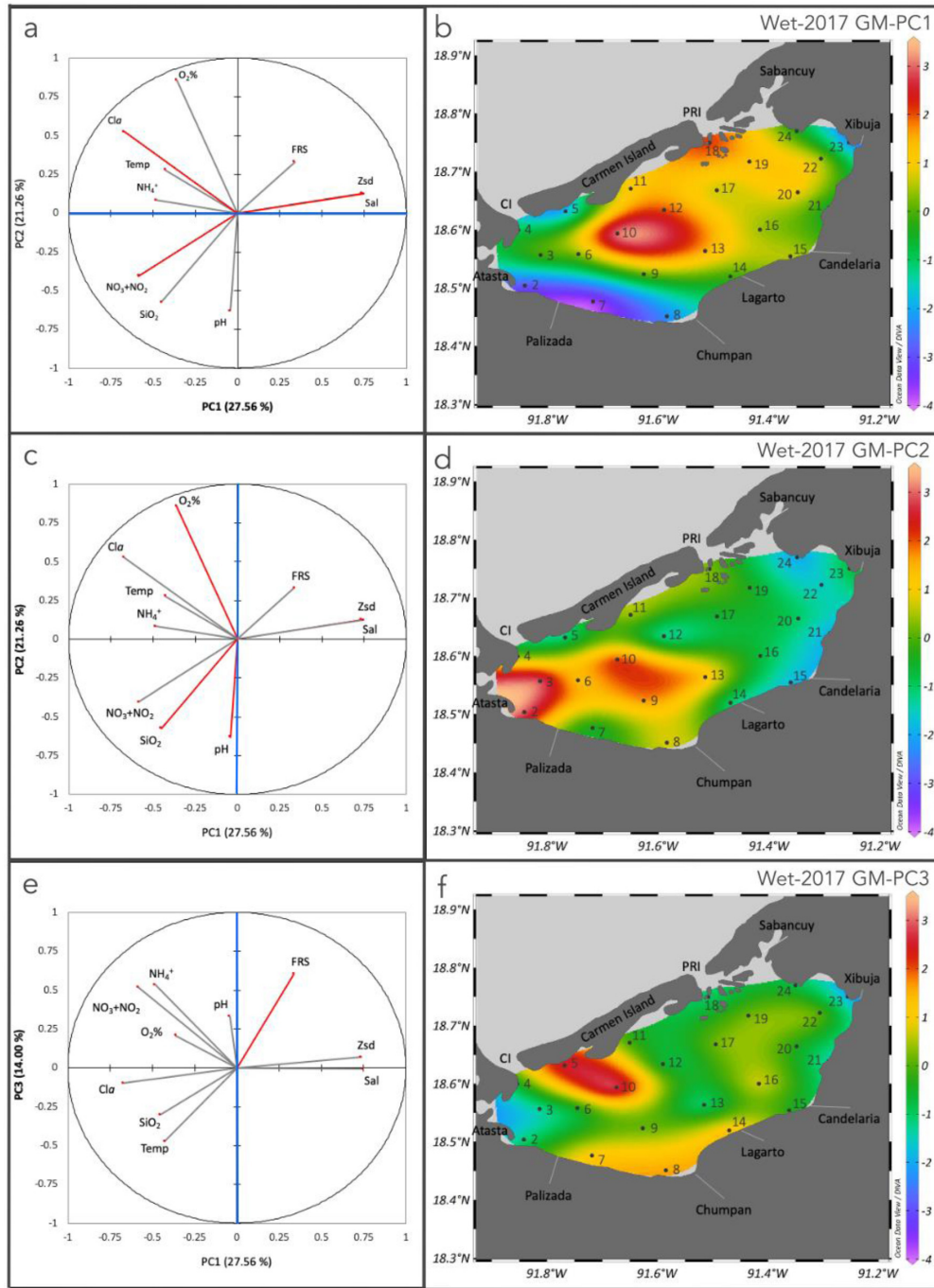


Fig. 4. PCA plot and multivariate gradients of the principal components of Wet-2017: (a, b) PC1; (c, d) PC2; (e, f) PC3. Blue axis: component analyzed; Red vectors: most important variables of the component. The color scale is dimensionless and represents the value of the scores, going from the lowest value (purple), zero (green), and the highest (red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

4.2.5. Nortes-2019 sampling

For this period most of the variance (53.59%) was explained by the first two components, and particularly comprised the greater number of variables in a single component, i.e., PC1 correlated

positively to salinity, transparency and SRP, and negatively to SiO₂, pH and temperature (Table 2; Fig. 7a). Interaction of the variables defined a multivariate gradient from the inner coast of the Isla del Carmen and East of the lagoon towards the SW

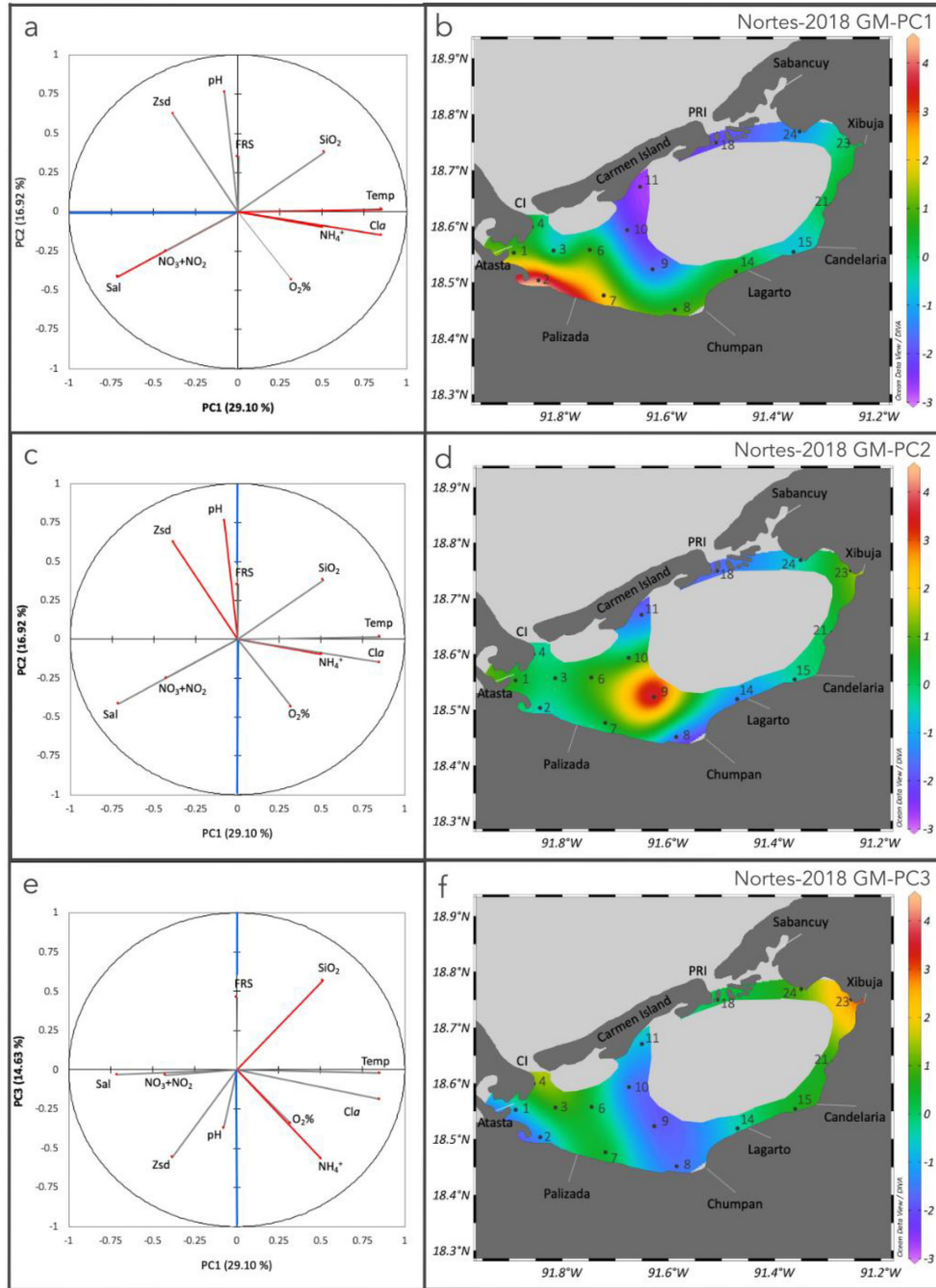


Fig. 5. PCA plot and multivariate gradients of the principal components of Nortes-2018: (a, b) PC1; (c, d) PC2; (e, f) PC3. Blue axis: component analyzed; Red vectors: most relevant variables of the component. The color scale is dimensionless and represents the value of the scores, going from the lowest value (purple), zero (green), and the highest (red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

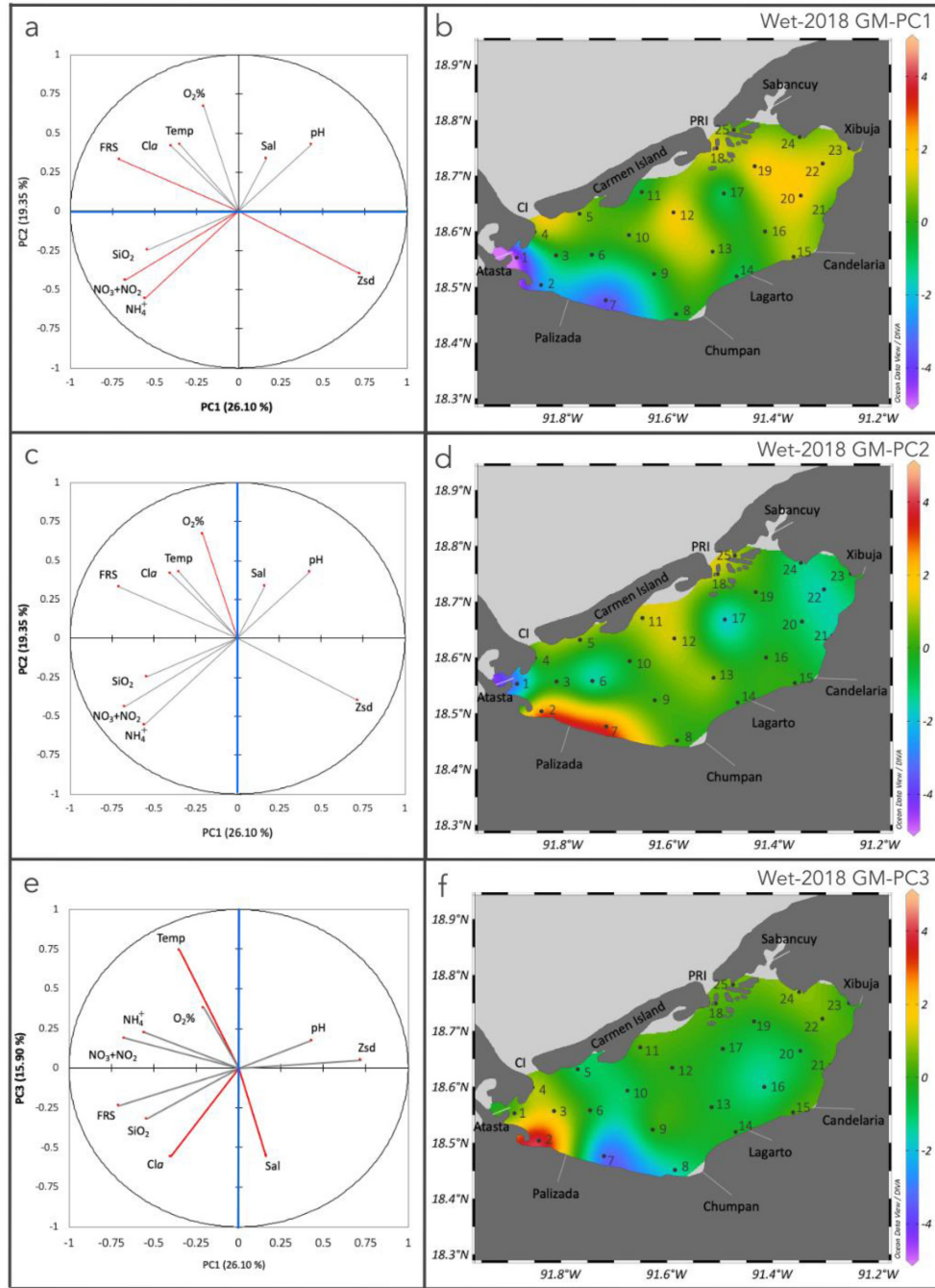


Fig. 6. PCA plot and multivariate gradients of the principal components of Wet-2018: (a, b) PC1; (c, d) PC2; (e, f) PC3. Blue axis: component analyzed; Red vectors: most relevant variables of the component. The color scale is dimensionless and represents the value of the scores, going from the lowest value (purple), zero (green), and the highest (red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

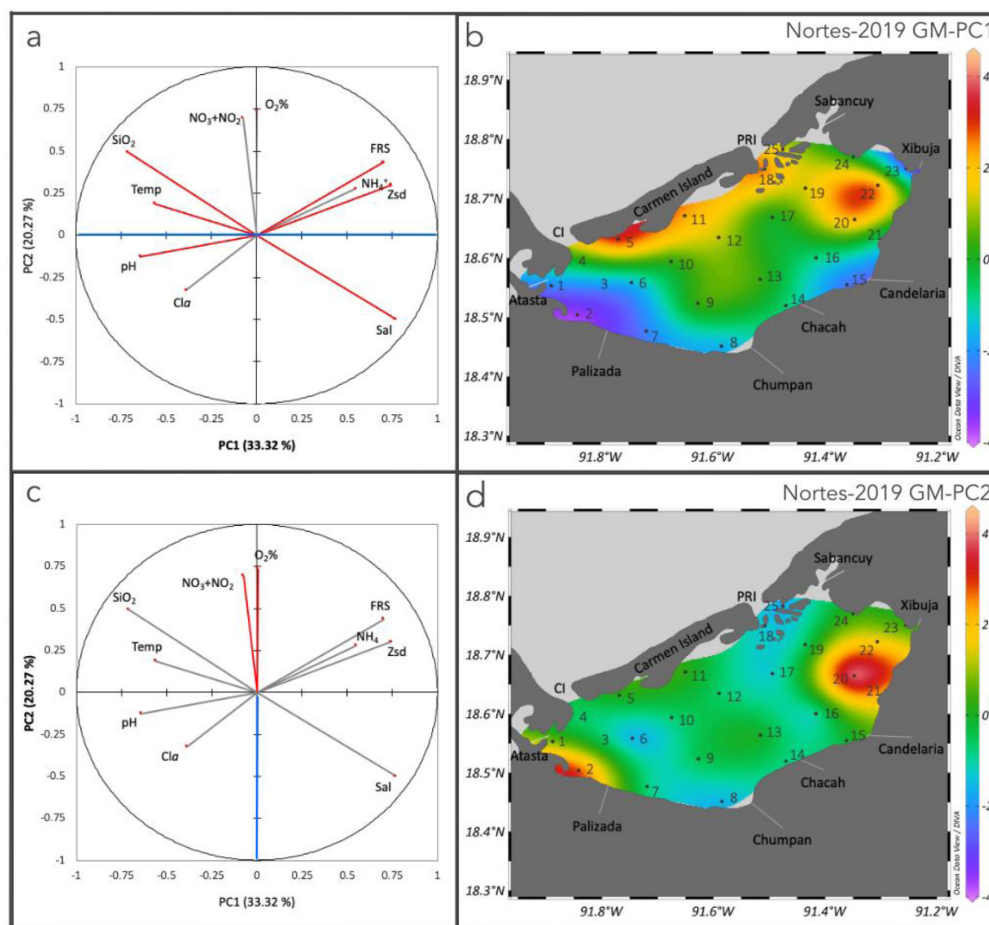


Fig. 7. PCA plot and multivariate gradients of the principal components of Nortes-2019: (a, b) PC1; (c, d) PC2. Blue axis: component analyzed; Red vectors: most relevant variables of the component. The color scale is dimensionless and represents the value of the scores, going from the lowest value (purple), zero (green), and the highest (red). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

where salinity and SRF concentrations decrease, while those of SiO_2 increase up to their maximum values close to the mouth of the rivers; in this zone, pH and temperature values higher than the median occurred. Also, in particular, SiO_2 recorded to the East of the lagoon surpassed the median values (Fig. 7b).

PC2 had positive correlations with oxygen saturation and NO_3+NO_2 (Table 2; Fig. 7c). The multivariate gradient generated with this component shows positive scores to the E and W ends of the lagoon, and from the western part of the Isla del Carmen to the middle, separating the inverse gradients going from the mouth of the Chumpán river to Carmen inlet, and from Puerto Real inlet to the Candelaria River (Fig. 7d).

4.3. Multivariate gradients temporal variation

The different gradients detected that start from the river mouths showed specific differences between them and between the samplings. During Wet-2017, conditions close to the Candelaria River discharge were inverse to those observed in the vicinity of the Palizada and Chumpán river mouths (in the first two components), showing high salinity and transparencies, low concentrations of NO_3+NO_2 , and Cla in PC1, and SiO_2 and pH values higher than the median, along with low oxygen saturation

in PC2. In the case of PC3, related to SRP, the shore close to the river mouth had scores close to zero, indicating a lack of correlation with this variable.

Low correlation between variables occurred also during Wet-2018, both in the river mouths of Candelaria and Chumpán. Only the influence of the Palizada river was evident, limited to the SW shore of the lagoon with high nutrient concentrations (SRP , SiO_2 , NO_3+NO_2 and NH_4^+), with low transparency values in PC1, and high values of oxygen saturation in PC2. PC3 revealed a separation in the environmental variables on both sides of the river discharge showing inverse correlations. Both conditions extended towards Isla del Carmen inlet and the western part of the bar, respectively. These gradients differed from the rest which normally are oriented towards Puerto Real inlet.

The inner coast of the bar showed (marine) gradients characteristically oriented towards the center of the lagoon, most were evident in the principal components, e.g., during Wet-2017, where PC1 and PC3 exhibited gradients correlated with high salinities and transparencies and high values of SRP, respectively. The latter remained above the median value during Nortes-2018, together with high transparency and salinity, correlated to PC1. In this period the PC2 gradient related to high values of oxygen saturation and NO_3+NO_2 . In Wet-2018, PC1 gradient correlated with high values of transparency and low nutrient concentrations,

including SRP which a year before appeared higher, together with high O₂%, as during Nortes-2018.

The western end of the lagoon shows conditions separating the gradients in TL from those in the adjacent Pom-Atasta lagoon system. In most components, the gradients of Atasta inlet differed from the others surrounding it, with a lack of correlation between variables standing out as the inverse correlation recorded in the nearby stations or the extreme score. Despite the considerable extension of the Pom-Atasta lagoon system, its influence over the lagoon is limited to the Atasta inlet.

A great part of the lagoon was characterized by a lack of correlation with the important variables for each component. This lack of correlation between variables may be considered as the transition in the gradients where interaction between variables does not follow a clear pattern. This affected the scores which had values close to zero. The extension of the gradient transitions varied strongly, during Wet-2017, in PC1, scores close to zero were located towards the shores of the lagoon, while in PC2 and PC3 almost a third of the lagoon exhibited these characteristics. In the case of PC3 in the Wet-2018 two-thirds of the lagoon presented no correlation between variables, and only the Palizada river influence over the system stands out.

5. Discussion

In this study, the combination of PCA and KW analysis, allowed us to confirm our hypothesis, this is, that there are spatio-temporal differences between samplings, generated by the high hydrological variability in Términos lagoon (David and Kjerfve, 1998; Carvalho et al., 2009; Medina-Gómez et al., 2015; Fichez et al., 2019). These differences are explained by the variation and interaction of different parameters in each sampling.

Multivariate gradients were formed, of which we identified four types, each one of them with some general characteristics: (1) epicontinental gradients adjacent to river discharges characterized by high nutrient concentrations, and low salinity and transparency; (2) marine gradients located close to the communicating inlets and along the inner coast of del Carmen island, characterized by high salinities and transparencies; (3) remineralization gradients located on the eastern and the center of the lagoon away from freshwater influences, characterized by high salinities, transparencies and nutrient concentrations; (4) transitions gradients, in which the interaction of variables was not evident, and may be considered coalescent gradients.

Transparency was the most relevant variable throughout the study, normally within the first two components in all the samplings. Greater transparencies occurred in the eastern part of LT, an area showing marine-like conditions with low nutrient concentrations, high salinity and transparency (Grenz et al., 2017). While lower transparencies were recorded at the south coast, related with river discharges carrying sediments and organic matter that limit light penetration in the water column (Varona-Cordero and Gutiérrez-Mendieta, 2003; Bach et al., 2005).

Transparency had a positive correlation with salinity during Wet-2017 and Nortes-2018 samplings (Figs. 3e, 6e). In both periods salinity was the most important variable in accordance with the current paradigm placing it as the most significant factor in the variability of estuarine systems (Elliott and Whitfield, 2011). However, during the Dry-2017 and Wet-2018 samplings (Figs. 3e, 6e) its relevance decreases to PC3. In these periods, the environment showed moderate and strong dry conditions, respectively (CONAGUA, 2020), with a concomitant lower input of freshwater to the system that may have favored more stability in salinity variation. This change in the relevance of salinity shows the dependency of this variable on continental and marine water inputs to the system, and the equilibrium shifts in both of them (Grenz et al., 2017).

In TL a negative correlation between salinity and silicate concentration in the water column has been observed (Grenz et al., 2017) and has been attributed to freshwater inputs that supply high nutrients to the system. We found that high silicate concentrations associated with low salinity only during Nortes-2019 (Fig. 7), in which they showed an inverse correlation in PC1, i.e., less salinity corresponds with greater SiO₂ concentration. During this period both variables had their higher variability and maximum recorded values (Table 1), in accordance with Medina-Gómez et al. (2015) who recorded a maximum silicate concentration during wet and nortes seasons around the mouths of Palizada and Candelaria rivers.

For the dry season Medina-Gómez et al. (2015) report a negative W-E gradient for silicates in the subsystems associated with LT, except for Sabancuy Estero, which agrees with our observations, for example, during the Wet-2017 sampling, we recorded higher concentrations of SiO₂ to the W following a negative gradient towards the center of the lagoon. However, this gradient was not so evident because of the maximum concentrations recorded at station 24 to the E of the lagoon (Fig. 3b), where also the higher concentrations of ammonia and SRP were recorded for this period, determining the system variation. These nutrient concentrations originate in the sediments through remineralization of nitrogen and phosphorus (Grenz et al., 2019) and the high content of SiO₂ characteristic of the karstic sediments in this area of the lagoon (Medina-Gómez et al., 2015).

Nutrient inputs by remineralization were also observed in the center of the system, far from epicontinental discharges where high concentrations of ammonia and phosphorus occurred. During Wet-2018 two discrete sites were identified (stations 10 and 17; Fig. 6d) towards the center of the lagoon that had high ammonia concentrations, separated by the gradient coming from Isla del Carmen showing high oxygen saturation.

High concentrations of NO₃+NO₂ have been attributed to the metabolism of bivalves and submerged aquatic vegetation (SAV) (Yáñez-Arancibia and Day, 1982). This may explain the high concentrations of these nutrients during Nortes-2019 along the inner coast of the bar and to the Eastern part of the lagoon, where SAV is abundant (van Dijk and van Tussenbroek, 2010; Conan et al., 2017). However, oyster beds are located mainly in the mouths of the Palizada river and Atasta inlet (Poot-Delgado et al., 2015), therefore, such elevated concentrations may otherwise be related to SAV metabolism.

Nitrogen and phosphorus are inversely related to salinity (Grenz et al., 2017), although in our study such relation was not clear or constant and was only recorded during Wet-2017 (Fig. 4a) when salinity and transparency had negative correlations with Cla and NO₃+NO₂, while during Nortes-2019 (Fig. 7a) interaction was positive between salinity, SRP and NH₄⁺, with null correlation with the rest of the samplings. The positive correlation between phosphorus and ammonia occurred also during Dry-2017 and Wet-2018 seasons, defining a negative W-E gradient. This is contrary to what (Conan et al., 2017) establish, who found that these nutrients come from different sources, and are not associated and also coincides with Medina-Gómez et al. (2015) who recorded the highest concentrations of phosphorus to the eastern part of the lagoon.

Oxygen saturation was the most important variable in PC2, except during Nortes-2018 (Fig. 5c). It had a positive correlation with Cla only in the Dry-2017, while in the rest of the sampling periods these variables did not show any association between them, thus making it feasible that oxygen saturation in the lagoon may well depend on physical processes, such as wind-driven water mixing, epicontinental discharges (Varona-Cordero and Gutiérrez-Mendieta, 2003), or on the supply from the abundant SAV in the lagoon.

In most of the sampled periods, Cla varied highly, and was inversely correlated with salinity and transparency, reaching higher concentrations near the river mouths on the south coast. This agrees with Medina-Gómez et al. (2015) who observed greater variability and concentration in the western subsystems of the lagoon, albeit the low concentrations we observed during Dry-2017 do not. The highest values of Cla correspond to both Nortes surveys, especially Nortes-2018 where these concentrations may be related to microphytobenthos resuspension by the strong wind characteristic of this season.

Although we did not sample in the nearby systems to the lagoon, the results showed that most of the identified gradients appeared to originate at the mouths of the various subsystems surrounding the lagoon, which in most cases had characteristically positive or negative FV. These gradients were not constant and differed between them, i.e., even though they originated in freshwater discharges, they did not have the same influence on the lagoon. This may be because of distinct water volume discharges, type of sediments, (Medina-Gómez et al., 2015), or different circulation patterns that vary from one season to another (David and Kjerfve, 1998; Contreras Ruiz Esparza et al., 2014). These differences were observed during Dry-2017 (Fig. 3f) in the Chumpán river and Chacah inlet, which presented inverse conditions to those observed near the mouths of the Palizada and Candelaria rivers. These gradients head towards the communication inlets, diminishing towards the center of the lagoon.

The Xibujá Estero, located at the eastern end of TL is a subsystem normally not taken into consideration in previous characterizations of the system. In this study, its effect was noted in most of the sampling periods promoting distinct environmental conditions to the eastern coast from nearby sites having greater depth.

Previous studies have underscored the importance of the subsystems surrounding the lagoon on its variability, by promoting the definition of zones in the system based on environmental conditions resulting from their interaction (David and Kjerfve, 1998; Robadue et al., 2004; Medina-Gómez et al., 2015). The salinity gradient generated by epicontinental discharges has permitted the E-W zonation of TL separating the portion with freshwater influence from that with marine influence (David and Kjerfve, 1998). However, such zonation based on a single variable gradient does not agree with what was observed in this study, because the influence of the subsystems was not constant, both in orientation and magnitude, since it seemed to remain close to the coast in most of the multivariate gradients.

One widely accepted paradigm on estuarine systems is their dependence on the environments or subsystems with which they interact, unable to function isolated from them (Elliott and Whitfield, 2011). Our approach allowed us to recognize the dependency of TL on the estuarine and freshwater systems surrounding it, as well from the marine environment which confers its main characteristics. These influences are not constant and thus the high variability of the lagoon, both in space and time in compliance with those characteristics attributed to the interaction of estuarine environments related to this paradigm.

Factors such as extension, form and dynamics of the subsystems adjacent to estuarine environments, and their influence over the system, promote the development of ecotones with distinctive environmental conditions (Elliott and Whitfield, 2011). The characterization of these ecotones, which can be defined here as gradient transitions in LT, is limited to the transition zone located in the center of the lagoon, separating the rest of the zones (Yáñez-Arancibia and Day, 1988; Robadue et al., 2004; Carvalho et al., 2009). However, the identification of these continuous gradients allowed us to recognize the transitions present in each

sampling period, which occurred in sites where scores were close to zero, and in which variables had values similar to the median value, causing a lack of correlation between the variables in the component.

6. Conclusions

The multivariate gradients here proposed enable us to recognize the gradients that reflect the great variability characterizing coastal environments, thus, they are an adequate approach for determining objectively the spatio-temporal variation of a given coastal system. In general, the identified gradients in Términos lagoon were generated along the shores close to river discharges, oriented towards the communication mouths and decreasing in importance to the center of the lagoon that, in most of the sampling periods, showed transitional conditions. Contrary to the division by zones looking to simplify the characterization of the systems and recognize general patterns, continuous gradients allow a better understanding of the dynamics and variation that govern coastal environments. The high interaction that Términos lagoon maintains with its surrounding subsystems confers its many sources of variation. This variation (and the process that generates them) can be overlooked if the lagoon is solely divided into two zones. Throughout this study different gradients were identified in each of the principal components computed for each sampling period, corroborating the great variability that characterizes LT. Identifying these gradients allowed us to better understand the system dynamics, and to recognize the influence adjacent subsystems have on a coastal lagoon, including those previously overlooked.

Glossary

- Multivariate gradient: environmental gradient conformed by the interaction of the most important variables in the principal component analysis, allowing the interpretation of the environmental variability of the system.
- Scores. Equivalent to the coordinates of the observations in the Principal Component Analysis. Represents the interaction of the variables for each observation.

CRedit authorship contribution statement

Daniela López-Mejía: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Visualization. **Francisco José Gutiérrez-Mendieta:** Validation, Investigation, Resources, Writing – review & editing, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition. **José A. Zavala-Hurtado:** Conceptualization, Writing – review & editing. **David A. Siqueiros-Beltrones:** Translating-English version, Draft, Writing – review & editing. **Francisco Varona-Cordero:** PCA analysis, Validation, Formal analysis, Investigation. **Ivanhoe R. Herrera-Moro Chao:** Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

This study was supported by the project “Caracterización ecológica de los ambientes costeros mexicanos” (Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta), Mexico. Daniela Lopez Mejia was recipient of a CONACyT doctoral scholarship in the “Programa de Doctorado de Ciencias Biológicas de la UAM”. David Siqueiros Beltrones is COFAA and EDI fellow at the Instituto Politécnico Nacional.

References

- Abou Zakhem, B., 2016. Using principal component analysis (PCA) in the investigation of aquifer storage and recovery (ASR) in Damascus Basin (Syria). *Environ. Earth Sci.* 75, <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5923-8>, Springer Berlin Heidelberg.
- Bach, L., Calderon, R., Cepeda, M.F., Oczkowski, A., Olsen, S., Robadue, D., 2005. *Level One Site Profile : Laguna de Términos and its Watershed, Mexico*. Narragansett, RI.
- Carayon, David, Eulin-Garrigue, Anne, Vigouroux, Régis, Delmas, François, et al., 2020. A new multimetric index for the evaluation of water ecological quality of French Guiana streams based on benthic diatoms. *Ecological Indicators* 113 (106248), 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106248>.
- Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Rendón, J., Mota de Oliveira, J., 2009. Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Terminos, a protected area of the coast of Campeche, Mexico. *Chemosphere* 74, 988–995. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.092>, Elsevier Ltd.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2020. <https://sih.conagua.gob.mx>.
- Conan, P., Agab, M., Calva Benítez, L.G., Chifflet, S., Douillet, P., Dussud, C., Fichez, R., Grenz, C., Gutiérrez Mendieta, F.J., Origel Moreno, M., Pujo Pay, M., Rodríguez Blanco, A., Sauret, C., Severin, T., Tedetti, M., Torres Alvarado, R., Ghiglione, J.-F., et al., 2017. Combining biogeochemical characterisation and microbial biomass and activities to assess pelagic cycling in a large and shallow tropical lagoon (Terminos Lagoon, México). *Biogeosciences* 14, 959–975. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.016>.
- CONANP, <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=118®=5>. (Accessed 14 march 2022).
- Contreras Ruiz Esparza, A., Douillet, P., Zavala-Hidalgo, J., 2014. Tidal dynamics of the Terminos Lagoon, Mexico: Observations and 3D numerical modelling. *Ocean Dyn.* 64, 1349–1371. <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-014-0752-3>.
- David, Laura T., Kjerfve, Björn, 1998. Tides and currents in a two-inlet coastal lagoon: Laguna de Términos, México. *Cont. Shelf Res.* 18, 1057–1079.
- Day, J.W., Crump, B.C., Kemp, W.M., Yáñez-Arancibia, A., 2013. *Estuarine ecology*. In: Day, J.W., Crump, B.C., Kemp, W.M., Yáñez-Arancibia, A. (Eds.), *Ecological Economics*. Wiley-Blackwell, Canada.
- van Dijk, J.K., van Tussenbroek, B.L., 2010. Clonal diversity and structure related to habitat of the marine angiosperm *Thalassia testudinum* along the Atlantic coast of Mexico. *Aquat. Bot.* 92, 63–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2009.10.005>.
- Domínguez, J.C., Sánchez, A.J., Florido, R., Barba, E., 2013. Distribución de macrocrustáceos en Laguna Mecoacán, al sur del Golfo de México. *Hidrobiológica* 12, 127–136.
- Elliott, M., Whitfield, A.K., 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 94, 306–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.016>.
- Escavavage, V., Ysebeart, T., Herrman, P., 2004. Description of the maximal and good ecological potentials (MEP/GEP) for the benthic macrofauna for the European Water Framework Directive (WFD), the Westerschelde.
- Fichez, R., Linares, C., Chifflet, S., Conan, P., Esparza, A.C.R., Denis, L., Douillet, P., Grenz, C., Ghiglione, J.F., Mendieta, F.G., Origel-Moreno, M., Caravaca, A.M., Pujo-Pay, M., Zavala-Hidalgo, J., 2019. Spatiotemporal variability in Terminos Lagoon (Mexico) waters during the 2009–2010 drought reveals upcoming trophic status shift in response to climate change. *Reg. Environ. Change* 19, 1787–1799. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-019-01519-2>.
- García-Pérez, A., 2001. *Métodos Avanzados de Estadística Aplicada*. UNED, Madrid.
- Gauch, H.G., 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press.
- Grenz, C., Fichez, R., Silva, C.A., Benítez, L.C., Conan, P., Esparza, A.C.R., Denis, L., Ruiz, S.D., Douillet, P., Martínez, M.E.G., Ghiglione, J.F., Mendieta, F.J.G., Origel-Moreno, M., García, A.Z.M., Caravaca, A.M., Pujo-Pay, M., Alvarado, R.T., Zavala-Hidalgo, J., 2017. Benthic ecology of tropical coastal lagoons: Environmental changes over the last decades in the Términos Lagoon, Mexico. *C. R. - Geosci.* 349, 319–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.016>.
- Grenz, C., Moreno, M.O., Soetaert, K., Denis, L., Douillet, P., Fichez, R., 2019. Spatio-temporal variability in benthic exchanges at the sediment-water interface of a shallow tropical coastal lagoon (south coast of Gulf of Mexico). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 218, 368–380. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.012>.
- Guerra-Santos, J.J., Kahl, J.D.W., 2018. Redefining the seasons in the Términos Lagoon Region of Southeastern México: May is a transition month, not a dry month. *J. Coast. Res.* 341, 193–201. <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-16-00114.1>.
- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S., et al., 2000. *Multivariate statistics for wildlife and Ecology Research*. Springer-Verlag, New York, Inc., pp. 1–283.
- Medina-Gómez, I., Villalobos-Zapata, G.J., Herrera-Silveira, J.A., 2015. Spatial and temporal hydrological variations in the inner estuaries of a Large Coastal Lagoon of the Southern Gulf of Mexico. *J. Coast. Res.* 316, 1429–1438. <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-13-00226.1>.
- Pilkaityte, Renata, Razinkovas, Arturas, 2006. Factors controlling phytoplankton blooms in a temperate estuary: nutrient limitation and physical forcing. *Hydrobiologia* 555, 41–48. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-005-1104-6>.
- Poot-Delgado, C.A., Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A., Osten, J.Rendón-von., 2015. Ciclo anual del fitoplancton con énfasis en las especies potencialmente nocivas en bancos ostrícolas de la laguna de Términos, sureste del Golfo de México. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 50, 465–477. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572015000400006>.
- Ramalle-Gómara, E., Andrés De Llano, J.M., 2003. Utilización de métodos robustos en la estadística inferencial. *Aten. Primaria* 32, 177–182. [http://dx.doi.org/10.1016/S0212-6567\(03\)79241-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0212-6567(03)79241-5).
- Ramos-Miranda, J., Villalobos-Zapata, G.J. (Eds.), 2015. *Aspectos Socioambientales de la Región de la Laguna de Términos, Campeche*. Universidad Autónoma de Campeche, p. 210.
- RAMSAR, <https://rsis Ramsar.org/ris/1356>. (Accessed 14 march 2022).
- Robadue, D.J., Oczkowski, A., Calderon, R., Bach, L., Cepeda, M.F., 2004. *Characterization of the Region of the Términos Lagoon, Campeche, Mexico: Draft for Discussion, Vol. 50*. The Nature Conservancy.
- Rovira, L., Trobajo, R., Ibáñez, C., et al., 2012. The use of diatom assemblages as ecological indicators in highly stratified estuaries and evaluation of existing diatom indices. *Marine Pollution Bulletin* 64, 500–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.01.005>.
- Schenone, Nahuel, Volpedo, Alejandra, Fernández Cirelli, Alicia, et al., 2008. Estado trófico y variación estacional de nutrientes en los ríos y canales del humedal mixo-halino de Bahía Samborombón (Argentina). *Limnética* 27 (1), 143–150.
- Snedden, G.A., Cable, J.E., Kjerfve, B., 2013. Estuarine geomorphology and coastal hydrology. In: Day, J.W., Crump, B.C., Kemp, W.M., Yáñez-Arancibia, A. (Eds.), *Estuarine Ecology*. New Jersey, pp. 19–38.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 767 (311).
- Tabachnick, B.G., Fidell, L.S., 2014. *Using Multivariate Statistics*. Pearson New International Edition, EE.UU.
- UNESCO, 1986. Progress on oceanographic tables standards 1983–1986: work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel. In: *UNESCO Technical Papers in Marine Science* 50. p. 59.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez-Mendieta, F.J., 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica* 13, 177–194.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez-Mendieta, F.J., Meave Del Castillo, M.E., 2010. Phytoplankton assemblages in two compartmentalized coastal tropical lagoons (Carretas-Pereyra and Chantuto-Panzacola, Mexico). *J. Plankton Res.* 32, 1283–1299. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbq043>.
- Vidussi, F., Claustre, H., Bistillos-Guzman, J., Cailliau, C., Marty, J., 1996. Determination of chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *J. Plankton Res.* 18, 2377–2382.
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W., 1982. Ecological characterization of Términos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico. *Oceanol. Acta Spec.* 5, 431–440.
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W., 1988. Ecological characterization of terminos lagoon, a tropical lagoon estuarine system in the southern Gulf of México. In: Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W. (Eds.), *Ecology of a Coastal Ecosystem in the Southern Gulf of Mexico: Términos Lagoon Region*. Editorial Universitaria, México, D.F. pp. 1–26.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE DISERTACIÓN PÚBLICA

No. 00134

Matrícula: 2171801266

Evaluación del estado ecológico de laguna de Términos con base en la estructura de asociaciones de diatomeas bentónicas.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 15:00 horas del día 15 del mes de diciembre del año 2022 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. FRANCISCO JOSE GUTIERREZ MENDIETA
DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO
DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA
DRA. ARMIDA LETICIA PACHECO MOTA
DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES



DANIELA LOPEZ MEJIA
ALUMNA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron a la presentación de la Disertación Pública cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DE: DANIELA LOPEZ MEJIA

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

Aprueba

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

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA SEBRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR. JOSE LUIS GOMEZ OLNARES

PRESIDENTE

DR. FRANCISCO JOSE GUTIERREZ MENDIETA

VOCAL

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

VOCAL

DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA

VOCAL

DRA. ARMIDA LETICIA PACHECO MOTA

SECRETARIO

DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES