



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
(BIOLOGÍA MARINA)

VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LOS PRINCIPALES GRUPOS  
FITOPLANCTÓNICOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE PIGMENTOS  
MARCADORES, EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:  
ERICK JOSE PONCE MANJARREZ

TUTOR PRINCIPAL: Dr. FRANCISCO JOSÉ GUTIÉRREZ MENDIETA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- UNIDAD IZTAPALAPA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

ROSALBA ALONSO RODRÍGUEZ  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, MAZATLAN  
LAURA SANVICENTE AÑORVE  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
MA. ESTHER ANGÉLICA MEAVE DEL CASTILLO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- UNIDAD IZTAPALAPA  
JOSÉ BUSTILLOS GUZMÁN  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE:  
PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN  
JOSÉ ANTOLÍN AKÉ CASTILLO  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA, INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y  
PESQUERIAS

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO DE 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**No podemos engañar al ADN.**

**No podemos esquivar la fotosíntesis.**

**No podemos decir que no vayamos a estar condenados al fitoplancton.**

**Todos estos pequeños mecanismos proporcionan las condiciones de nuestra  
vida planetaria.**

**Bárbara Ward**

## *Dedicada*

*A mi madre Matilde, quien ha demostrado una enorme fortaleza al apoyarme, cuidarme y tenerme paciencia, a quien le debo todo lo que soy y puedo llegar a ser.*

*A mis abuelos Arnulfo y Leonor, a quienes extraño y recuerdo con mucho cariño y quienes fueron, son y serán un ejemplo a seguir.*

*A mi adorada Viridiana, quien ha motivado e inspirado la búsqueda de ese algo maravilloso que represente un cambio significativo en nuestras vidas, por amarme tanto y sobre todo por soportarme en los momentos más difíciles, sin lugar a dudas te amo!*



## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta por la confianza y apoyo brindados, así como los comentarios aportados para mejorar este trabajo.

Al comité tutorial integrado por: la Dra. Rosalba Alonso Rodríguez, la Dra. Laura Sanvicente Añorve, la Dra. María Esther Angélica Meave del Castillo, el Dr. José Bustillos Guzmán y el Dr. José Antolín Aké Castillo, por los comentarios y sugerencias realizadas, para mejorar la calidad de este trabajo.

Al Dr. Pascal Douillet, por el apoyo brindado en la realización de los mapas de distribución y abundancia de fitoplancton.

Al Dr. José Sepúlveda por la ayuda en la revisión de las muestras de microscopía electrónica de barrido.

Al Dr. Francisco Hernández Sandoval por la asesoría brindada en el uso de HPLC durante la estancia académica en el CIBNOR.

Al Institut de Recherche pour le Développement (IRD), por los recursos otorgados para el desarrollo de este trabajo.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (PCMyL).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada.

A mis hermanos: Fred, Nancy y Efrén, quienes me han apoyado y soportado, jamás les estaré lo suficientemente agradecido.

A mi amigo German Vega, quien ha sido mi compañero de vivencias y supervivencias, las cuales hubiesen sido sumamente difíciles de afrontar sin su apoyo, .

A mi amigo Francisco Varona, por las llamadas de atención, sugerencias, discusiones, y oportunidades brindadas, las cuales han contribuido significativamente en mi desarrollo personal y profesional.

A mi amigo Ivanhoe Herrera, por el conocimiento y la experiencia compartida durante los muestreos y el trabajo de laboratorio.

A mis amigos Fidel, Mario, Frenando, Gisela, Gabriela, Yolohti y Daniela, quienes me han contribuido de diversas formas en muchas etapas de mi vida.

## RESUMEN

Con el fin de conocer la dinámica del fitoplancton de la laguna de Términos, se estudiaron los cambios espacio-temporales de las condiciones físico-químicas, la biomasa aportada al total de la clorofila *a* por las distintas fracciones de tamaño y su relación con la composición, abundancia y distribución de los grupos fitoplanctónicos durante las temporadas de secas, lluvias y nortes del año 2009.

Con base en el análisis de las variables físico-químicas de cada temporada, se pudo delimitar la presencia de distintas zonas al interior de la laguna, cuya ubicación y extensión depende de la magnitud de los aportes epicontinentales y la influencia de la zona costera adyacente en cada época. La relación N:P sugiere una posible limitación por nitrógeno hacia la comunidad fitoplanctónica y el índice TRIX indicó que la laguna no presenta signos de eutroficación, por lo cual el estado trófico es bajo. Se determinó que la fracción nano+pico es la que tiene un mayor aporte al total de la biomasa durante todo el año, lo cual puede relacionarse con el estado trófico y la aparente limitación por nitrógeno presente en la laguna.

El grupo más abundante en la fracción micro fue el de las cianofitas, que no se relacionaron con la concentración de zeaxantina; el segundo grupo en abundancia fueron las bacilariofitas (relacionadas significativamente con la fucoxantina) y en tercer lugar las clorofitas (relacionadas significativamente con la concentración de clorofila *b*).

En cuanto a la fracción nano+pico respecta, el grupo más abundante fue el de las cianofitas (relacionadas con la concentración de zeaxantina y la abundancia de *Synechococcus* sp.), seguido de las bacilariofitas (relacionadas significativamente con la concentración de fucoxantina), y finalmente las proclorofitas (relacionadas significativamente con la concentración de divinil clorofila *a* y con la abundancia de *Prochlorococcus* sp.).

En conclusión, los factores ambientales determinan la composición de la comunidad fitoplanctónica, ya que las condiciones físico-químicas en cada temporada, definen un escenario ambiental diferente favorable para el crecimiento y desarrollo óptimo de cada grupo fitoplanctónico y fracción de tamaño.

**Palabras clave:** Laguna de Términos, fitoplancton, fracciones de tamaño, variación espacio-temporal, pigmentos, parámetros físico-químicos, HPLC .

## ABSTRACT

In order to understand the dynamics of phytoplankton in Términos Lagoon, the spatio-temporal changes of the physico-chemical variables, the biomass contributed to total chlorophyll *a* by the various size fractions and their relationship with the composition, abundance and distribution of phytoplankton groups during the dry, wet and “nortes” seasons of 2009 were studied.

Based on the analysis of the physico-chemical variables during each season, we were able to establish the presence of different zones inside the lagoon, whose location and extension depends on the magnitude of the freshwater input and the influence of the adjacent coastal zone. The N:P ratio suggests a possible limitation by nitrogen to the phytoplankton community, and the TRIX index indicated that the lagoon does not present signs of eutrophication. We determined that the nano+pico fraction makes a greater contribution to the total biomass throughout the year, which can be related to the low trophic state and the apparent limitation by nitrogen present in the system.

The most abundant group in the micro fraction was the cyanophytes, that were not related to the zeaxanthin concentration; the second group in abundance was the bacillariophytes (related significantly to fucoxanthin) and thirdly the chlorophytes (related significantly to the chlorophyll *b* concentration).

In the nano+pico fraction, the most abundant group was the cyanophytes (related to the concentration of zeaxantin and the abundance of the *Synechococcus* sp.), followed of the bacillariophytes (related significantly to the fucoxantin concentration), and finally the prochlorophytes (related significant to the divinil chlorophyll *a* concentration and with the abundance of *Prochlorococcus* sp.).

In conclusion, the environmental factors largely determine the composition of the phytoplanktonic community, since the physico-chemical conditions in every season, define a different favorable environmental scene for the growth and optimal development of each phytoplanktonic group and size fraction.

**Key words:** Términos lagoon, phytoplankton, size fractions, spatio-temporal variation, pigments, physico-chemical parameters, HPLC.

## CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	4
3. ANTECEDENTES .....	13
4. HIPÓTESIS .....	17
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	18
6. OBJETIVOS .....	19
7. ÁREA DE ESTUDIO .....	20
8. MATERIAL Y MÉTODOS .....	25
8.1 Trabajo de Campo .....	25
8.1.1 Parámetros físico-químicos .....	25
8.1.2 Biomasa y nutrientes .....	25
8.1.3 Pigmentos por HPLC .....	26
8.1.4 Fitoplancton .....	26
8.2 Trabajo de Laboratorio .....	27
8.2.1 Nutrientes .....	27
8.2.1.1 Amonio .....	27
8.2.1.2 Nitratos + Nitritos .....	27
8.2.1.4 Silicatos .....	28
8.2.1.5 Fósforo Total Disuelto (FTD) .....	28
8.2.1.6 Nitrógeno Total Disuelto (NTD) .....	29
8.2.2 Biomasa fitoplanctónica .....	29
8.2.2.1 Biomasa (Clorofila <i>a</i> ) .....	29
8.2.2.2 Feopigmentos .....	30
8.2.3 Análisis de pigmentos por fracciones de tamaño mediante HPLC .....	32
8.2.4 Fitoplancton .....	37
8.2.4.1 Análisis Cualitativo .....	37
8.2.4.2 Análisis Cuantitativo .....	37
8.2.5 Citometría de Flujo (CMF) .....	39

<b>9. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>40</b>
9.1 Variables físico-químicas y pigmentos diagnósticos .....	40
9.1.1 Porcentaje de saturación de oxígeno .....	40
9.1.2 Relación N:P .....	41
9.1.3 Estado Trófico.....	41
9.1.4 Pigmentos diagnósticos.....	42
9.1.5 Grupos fitoplanctónicos con base en HPLC .....	43
9.2. Análisis estadísticos .....	43
9.2.1 Variación temporal.....	43
9.2.1.1 Parámetros físico-químicos .....	43
9.2.1.2 Feopigmentos .....	44
9.2.2 Variación espacial.....	44
9.2.2.1 Parámetros físico-químicos .....	44
9.2.2.2 Pigmentos fitoplanctónicos .....	45
9.2.3 Ambiente y grupos fitoplanctónicos .....	45
<b>10. RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
10.1 Pigmentos por HPLC .....	46
10.2 Citometría de Flujo ( <i>CMF</i> ) .....	48
10.3 Variación temporal.....	48
10.3.1 Parámetros físico-químicos .....	48
10.3.2 Estado Trófico y relación N:P .....	55
10.3.3 Clorofila <i>a</i> por fracciones de tamaño .....	57
10.3.4 Turbidez y Feopigmentos .....	59
10.3.5 Pigmentos diagnósticos.....	60
10.3.6 Grupos fitoplanctónicos por fracciones de tamaño.....	61
10.3.6.1 Temporada de secas .....	61
10.3.6.2 Temporada de Lluvias .....	61
10.3.6.3 Temporada de Nortes.....	62
10.4 Variación espacial.....	64
10.4.1 Parámetros físico-químicos .....	64
10.4.2. Clorofila <i>a</i> por fracciones de tamaño .....	82
10.4.3. Grupos fitoplanctónicos .....	87
10.4.3.1 Temporada de Secas .....	87
10.4.3.2 Temporada de Lluvias .....	92
10.4.3.3 Nortes .....	96
10.5 Fitoplancton .....	100
10.6 Pigmentos y fitoplancton.....	106
<b>11. DISCUSIÓN .....</b>	<b>116</b>
11.1 Variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos .....	116
11.2 Estado trófico y relación N:P .....	119
11.3 Clorofila <i>a</i> por fracciones de tamaño .....	120
11.4 Feopigmentos, turbidez y pigmentos diagnósticos.....	121
11.5 Grupos fitoplanctónicos por fracciones de tamaño.....	123



<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>13. REFERENCIAS.....</b>	<b>132</b>
<b>14. ANEXOS .....</b>	<b>144</b>
<b>14.1 Tablas .....</b>	<b>144</b>
<b>14.2 Figuras.....</b>	<b>150</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Interacciones entre el fitoplancton y los factores físico-químicos y biológicos en los ecosistemas costeros .....	4
<b>Figura 2.</b> Representación esquemática de las condiciones que conducen al desarrollo de los ecosistemas costeros y ecosistemas pelágicos oceánicos .....	8
<b>Figura 3.</b> Laguna de Términos, Campeche.....	23
<b>Figura 4.</b> Temperatura media y precipitación total, para el año 2009. ....	24
<b>Figura 5.</b> Espectros de absorción de clorofila c2, peridina, 19'BF, fucoxantina, 19'HF, prasinoxantina, alloxantina y zeaxantina.....	35
<b>Figura 6.</b> Espectros de absorción de cantaxantina, clorofila b, divinil clorofila a, clorofila a y $\beta$ -caroteno .....	36
<b>Figura 7.</b> Disposición de los transectos en la cámara de sedimentación .....	39
<b>Figura 8.</b> Cromatogramas.....	46
<b>Figura 9.</b> Cromatogramas.....	47
<b>Figura 10.</b> Citogramas .....	48
<b>Figura 11.</b> Temperatura, salinidad, turbidez y oxígeno disuelto, durante las tres temporadas del año 2009.....	52
<b>Figura 12.</b> Concentración de amonio, ortofosfatos, nitrógeno total disuelto y nitrógeno orgánico disuelto, durante las tres del año 2009.....	53
<b>Figura 13.</b> Concentración de silicatos, fósforo total disuelto y fósforo orgánico disuelto, durante las tres temporadas del año 2009. ....	54
<b>Figura 14.</b> Resultados del índice TRIX.....	55
<b>Figura 15.</b> Relación N:P .....	56
<b>Figura 16.</b> Concentración de clorofila a por fracciones de tamaño .....	58
<b>Figura 17.</b> Análisis de regresión lineal simple entre la turbidez y feopigmentos ...	59
<b>Figura 18.</b> Relación entre la clorofila a total y los pigmentos diagnósticos. ....	60
<b>Figura 19.</b> Equivalentes de clorofila a de la fracción micro y la fracción nano+pico estimados mediante HPLC.....	63
<b>Figura 20.</b> Resultados del análisis de componentes principales.....	65
<b>Figura 21.</b> Clúster de las estaciones para la temporada de secas.....	68
<b>Figura 22.</b> Valores de temperatura, salinidad, oxígeno y feopigmentos, en las distintas zonas de la laguna de Términos para la temporada de secas. ....	69
<b>Figura 23.</b> Valores de nitrógeno total disuelto, nitrógeno orgánico disuelto, fósforo total disuelto y fósforo orgánico disuelto, en las zonas de la laguna Términos para la temporada de secas. ....	70
<b>Figura 24.</b> Clúster de las estaciones para la temporada de lluvias.....	73
<b>Figura 25.</b> Valores de temperatura, salinidad, oxígeno y turbidez, en las zonas delimitadas para la temporada de lluvias. ....	74
<b>Figura 26.</b> Valores de la concentración de silicatos, ortofosfatos, clorofila a y feopigmentos en las tres zonas delimitadas para la temporada de lluvias. ....	75
<b>Figura 27.</b> Valores de la concentración de nitrógeno total disuelto, nitrógeno orgánico disuelto y fósforo total disuelto, para las zonas delimitadas para la temporada de lluvias. ....	76
<b>Figura 28.</b> Clúster de las estaciones para la temporada de nortes. ....	79

<b>Figura 29.</b> Valores de salinidad, turbidez, concentración de nitratos y concentración de nitrógeno orgánico disuelto, en las zonas delimitadas dentro de la laguna de Términos, para la temporada de nortes.....	<b>80</b>
<b>Figura 30.</b> Valores de la concentración de fósforo orgánico disuelto, fósforo total disuelto, clorofila a y feopigmentos, en las distintas zonas de la laguna de Términos, durante la época de nortes.....	<b>81</b>
<b>Figura 31.</b> Distribución de clorofila a por parte de la fracción micro y nano+pico para la temporada de secas.....	<b>84</b>
<b>Figura 32.</b> Distribución de clorofila a por parte de la fracción micro y nano+pico para la temporada de lluvias.....	<b>85</b>
<b>Figura 33.</b> Distribución de clorofila a por parte de la fracción micro y nano+pico para la temporada de nortes.....	<b>86</b>
<b>Figura 34.</b> Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+ pico.....	<b>89</b>
<b>Figura 35.</b> Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+pico.....	<b>90</b>
<b>Figura 36.</b> Distribución de las clorofitas y proclorofitas.....	<b>91</b>
<b>Figura 37.</b> Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+pico.....	<b>93</b>
<b>Figura 38.</b> Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+pico.....	<b>94</b>
<b>Figura 39.</b> Distribución de las clorofitas y proclorofitas.....	<b>95</b>
<b>Figura 40.</b> Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+pico.....	<b>97</b>
<b>Figura 41.</b> Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica y nano+pico.....	<b>98</b>
<b>Figura 42.</b> Distribución de las clorofitas y proclorofitas.....	<b>99</b>
<b>Figura 43.</b> Abundancia de los principales géneros de fitoplancton en secas.....	<b>103</b>
<b>Figura 44.</b> Abundancia de los principales géneros de fitoplancton en lluvias.....	<b>104</b>
<b>Figura 45.</b> Abundancia de los principales géneros de fitoplancton en nortes.....	<b>105</b>
<b>Figura 46.</b> Regresiones lineales entre la abundancia celular de los grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, para la temporada secas.....	<b>108</b>
<b>Figura 47.</b> Regresiones lineales entre la abundancia celular de los grupos fitoplanctónicos por citometría de flujo y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, para la temporada de secas.....	<b>109</b>
<b>Figura 48.</b> Regresiones lineales entre la abundancia celular de los grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, para la temporada lluvias.....	<b>110</b>
<b>Figura 49.</b> Regresiones lineales entre la abundancia celular de los grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, para la temporada nortes.....	<b>111</b>
<b>Figura 50.</b> Análisis de correspondencia canónica para la temporada de secas.....	<b>113</b>
<b>Figura 51.</b> Análisis de correspondencia canónica para la temporada de lluvias.....	<b>114</b>
<b>Figura 52.</b> Análisis de correspondencia canónica para la temporada de nortes.....	<b>115</b>

<b>Figura A. 1.</b> Análisis de residuos entre feopigmentos y turbidez .....	<b>150</b>
<b>Figura A. 2.</b> Análisis de residuos entre la clorofila a total y los pigmentos diagnósticos. ....	<b>151</b>
<b>Figura A. 3.</b> Análisis de residuos entre conteos y pigmentos, para secas. ....	<b>152</b>
<b>Figura A. 4.</b> Análisis de residuos entre conteos por CMF y pigmentos, para la temporada de secas.....	<b>153</b>
<b>Figura A. 5.</b> Análisis de residuos entre conteos y pigmentos, para lluvias. ....	<b>154</b>
<b>Figura A. 6.</b> Análisis de residuos entre conteos y pigmentos, para nortes. ....	<b>155</b>
<b>Figura A. 7.</b> Micrografías de fitoplancton.....	<b>157</b>
<b>Figura A. 8.</b> Micrografías de fitoplancton.....	<b>158</b>
<b>Figura A. 9.</b> Micrografías de fitoplancton.....	<b>159</b>
<b>Figura A. 10.</b> Micrografías de fitoplancton.....	¡Error! Marcador no definido.

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido pigmentario en cada uno de los grupos fitoplanctónicos.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2</b> Fuente y taxa característico de cada grupo fitoplanctónico.....	<b>10</b>
<b>Tabla 3.</b> Gradiente de solventes .....	<b>32</b>
<b>Tabla 4.</b> Estándares y tiempos de retención.....	<b>34</b>
<b>Tabla 5.</b> Transformación de pigmentos accesorios a Cl $\bar{a}$ .....	<b>43</b>
<b>Tabla 6.</b> Pigmentos y tiempo de retención en los cromatogramas .....	<b>47</b>
<b>Tabla 7.</b> Resumen estadístico de los parámetros físico-químicos.....	<b>50</b>
<b>Tabla 8.</b> Especies identificadas y estaciones en las que se encontraron.....	<b>102</b>
<b>Tabla A. 1.</b> Valores de constantes de equilibrio atmosférico.....	<b>144</b>
<b>Tabla A. 2.</b> Factores de corrección del porcentaje de saturación de oxígeno.....	<b>145</b>
<b>Tabla A. 3.</b> Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) por temporada .....	<b>145</b>
<b>Tabla A. 4.</b> Resultado de las pruebas del pos hoc de Tukey por temporada .....	<b>146</b>
<b>Tabla A. 5.</b> Resumen del análisis de componentes principales .....	<b>147</b>
<b>Tabla A. 6.</b> Eigenvalores y porcentaje de varianza explicada .....	<b>147</b>
<b>Tabla A. 7.</b> Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) por zonas.....	<b>148</b>
<b>Tabla A. 8.</b> Resultado de las pruebas del pos hoc de Tukey por zonas.....	<b>149</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros y en particular las lagunas costeras, son consideradas como uno de los ecosistemas más productivos de la biosfera, cubren cerca del 13% de la zona costera mundial y los ciclos biogeoquímicos que se llevan a cabo en estos ambientes generan un gran impacto a la calidad del agua y ecología del sistema (Gürel *et al.*, 2005).

En estos ambientes el fitoplancton se encarga de transformar sustancias inorgánicas (nitrógeno (N), fósforo (P) y sílice (Si) a formas orgánicas y modifican la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) entre otros (Cloern, 1996).

Para entender la importancia de la comunidad fitoplanctónica en las lagunas costeras, es esencial considerar que la comunidad sigue patrones de abundancia y distribución relacionados con los factores físicos y químicos que se presentan en el sistema (Santoyo-Reyes, 1993), por lo anterior, la dominancia de los diferentes grupos fitoplanctónicos a lo largo del año estará en función de cómo se modifiquen estos factores a través del tiempo (Gutiérrez-Mendieta *et al.*, 2006).

Por lo tanto es necesario conocer los procesos físicos y químicos que afectan la estructura de la comunidad fitoplanctónica (Vidussi *et al.*, 2001), ya que por ejemplo; la disponibilidad de nutrientes condiciona su producción de biomasa (Lohrenz *et al.*, 1993; Claustre *et al.*, 1994; Vidussi *et al.*, 2001; Lohrenz *et al.*, 2003) y muy probablemente la fracción de tamaño que domine (pico, nano o microfiroplancton; Goldman, 1993).

La cuantificación de clorofila *a* por espectrofotometría se ha considerado como el indicador por excelencia de la biomasa del fitoplancton y las condiciones ambientales presentes en el sistema (Jeffrey, 1972; Santoyo-Reyes, 1993; Vidussi *et al.*, 2001; Lionard *et al.*, 2008; Jeffrey *et al.*, 2011), ya que el contenido de clorofila *a* es un indicador confiable de la biomasa generada por las células fitoplanctónicas (Contreras-Espinosa, 2010a), sin embargo no proporciona información sobre los taxones que se encuentran presentes en la columna de agua (Lionard *et al.*, 2008). Es por esto que es necesario contar con información que nos permita identificar y cuantificar los pigmentos fotosintéticos presentes tales como la clorofila *a*, *b* y *c* (Jeffrey, 1972) y los pigmentos accesorios como xantofilas y carotenoides (Vidussi *et al.*, 2001), lo cual permitirá cuantificar la abundancia de los grupos fitoplanctónicos que se encuentran en la columna de agua (Mackey *et al.*, 1996; Millán-Nuñez *et al.*, 2004). Esta información es posible obtenerla mediante el empleo de la Cromatografía Líquida de Alto Desempeño (HPLC, por sus siglas en inglés) (Waksmundzka-Hajnos y Sherna, 2011),

La laguna de Términos es el segundo sistema lagunar más grande y productivo de México (Ramos-Miranda *et al.*, 2005), pero la información disponible sobre la comunidad fitoplanctónica es limitada, ya que solo se cuenta con los estudios de Suárez-Caabro y Gómez-Aguirre (1965) y Gómez-Aguirre (1974) efectuados en el periodo comprendido entre 1959 y 1965 y los trabajos publicados por: Poot-Delgado *et al* (2015) y Poot-delgado *et al* (2015b) durante los años 2012 y 2013, los cuales se efectuaron en la zona de Pom-Atasta y el muelle la puntilla; sin embargo, la mayoría de los estudios realizados en la laguna se han enfocado en el estudio del necton, por lo que surge la necesidad de caracterizar la dinámica de la comunidad fitoplanctónica en las condiciones actuales.

Por lo anterior, en el presente trabajo se empleó la cromatografía líquida de alto desempeño acoplada a la microscopía de luz para caracterizar la estructura de la comunidad fitoplanctónica y su relación con la variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos en la laguna de Términos durante las temporadas de secas, lluvias y nortes de 2009.



## 2. MARCO TEÓRICO

La comunidad planctónica es considerada uno de los componentes más importantes dentro de todos los ecosistemas acuáticos, la cual está representada por organismos adaptados a una forma de vida suspendida en la columna de agua (Reynolds, 2006) y que poseen una limitada capacidad para presentar resistencia a la deriva de una masa de agua (Gómez-Aguirre, 1974). De acuerdo a Reynolds (2006), el plancton se divide en dos grandes grupos, considerando su tipo de metabolismo: los de metabolismo heterotrófo (zooplancton) y los de metabolismo autotrófo (fitoplancton), en donde este último representa los cimientos de las redes tróficas en los ambientes acuáticos (Contreras-Espinosa, 2010a, Fig. 1).

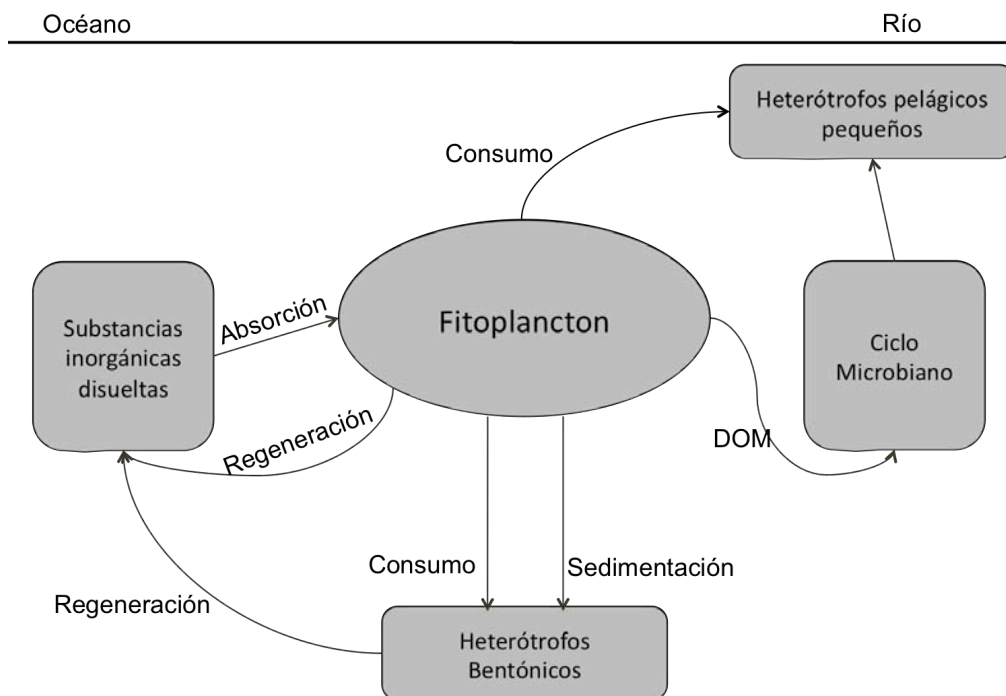


Figura 1. Interacciones entre el fitoplancton y los factores físico-químicos y biológicos en los ecosistemas costeros. Modificado de Cloern (1996)

Se ha estimado que existen entre 4000 y 5000 especies de fitoplancton marino (Sournia *et al.*, 1991) las cuales están divididas en diez Divisiones: Chlorophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Raphidophyta, Xanthophyta, Eustigmatophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Haptophyta y Dinophyta (Reynolds, 2006), de los cuales los primeros nueve son autótrofos, mientras que el último tiene dos formas de nutrición alternativas a la autotrofia esto es, la mixotrofia y heterotrofia (Burkholder *et al.*, 2006).

La mixotrofia es una combinación de la fototrofia y la heterotrofia, lo cual reduce la posibilidad de identificar el origen de los organelos fotosintéticos de algunas especies, como puede ser el caso de *Pfiesteria piscicida* y *Dinophysis caudata*, en condiciones de vida libre (Burkholder *et al.*, 2006) y de *Karlodinium micrum* en condiciones de cultivo (Stoecker, 1999).

La heterotrofia únicamente se lleva a cabo mediante la fagotrofia (Burkholder *et al.*, 2006), los dinoflagelados que llevan a cabo esta forma de nutrición son depredadores potenciales en las tramas tróficas costeras (Lessard y Swift, 1997), como *Protooperidinium* spp. y algunas especies de *Pfiesteria* spp. por mencionar algunos (Burkholder *et al.*, 2006).

El fitoplancton es responsable de más del 50% de la producción primaria neta global (Field *et al.*, 1998), representa también la base de las redes tróficas acuáticas y la magnitud de producción primaria neta llevada a cabo por el fitoplancton puede depender de la distribución de tamaños entre las células, las cuales se dividen en: microplancton ( $> 20 \mu\text{m}$ ), nanoplancton ( $< 20 \mu\text{m}$ ) y picoplancton ( $< 2 \mu\text{m}$ ) (Seiburth y Lenz, 1970) lo anterior condiciona el desarrollo de estrategias adaptativas ante las distintas presiones ambientales de carácter físico (corrientes, mareas, advección, mezcla turbulenta y limitación por luz), químico (pulsos de nutrientes) y biológico (pastoreo, migración, infecciones, etc.) (Brunet y Lizon, 2003).

De aquí que las distintas fracciones de tamaño fitoplanctónicas (micro, nano y pico) adquieran gran importancia, ya que cada fracción responde de manera distinta a los cambios de las condiciones físico-químicas del medio (Lohrenz *et al.*, 1993; Lohrenz *et al.*, 2003; Seoane *et al.*, 2006).

Se sabe que en ambientes marinos las aguas tienden a la oligotrofia, por lo que la limitación por nutrientes propiciara la dominancia de las fracciones nanofitoplanctónicas y picofitoplanctónicas (Legendre *et al.*, 1999; Fig. 2), las cuales utilizan el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) como principal fuente nutritiva (Vidussi *et al.*, 2001) y aportan entre un 60% y 98% al total de la biomasa fitoplanctónica (Gin *et al.*, 2000).

Por el contrario en las zonas costeras, estuarios y lagunas costeras, en donde el aporte de nutrientes y materia orgánica es considerable, la limitación estará dada principalmente por la intensidad y calidad de la luz, por lo que la fracción microfitoplanctónica será la dominante en estos ambientes (Legendre *et al.*, 1999; Fig. 2), esta fracción generalmente utiliza el amonio ( $\text{NH}_4$ ) y la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) como nutrientes principales (Vidussi *et al.*, 2001) aportando entre el 60 % y 90 % de la biomasa fitoplanctónica en los ambientes costeros (Gin *et al.*, 2000). Los grupos fitoplanctónicos pertenecientes a las fracciones nanofitoplanctónicas y picofitoplanctónicas, tienen pigmentos específicos que son distintos a la fracción microfitoplanctónica, por lo que se puede determinar la presencia y abundancia de los grupos presentes en cada fracción de tamaño (Jeffrey, 1997; Ansotegui *et al.*, 2003; Brunet y Lizon, 2003).

Sin embargo existen pigmentos exclusivos de ciertos grupos fitoplanctónicos (Tabla 1). Por ejemplo la prasinoxantina es un pigmento exclusivo de prasinofitas, la peridinina se encuentra en las dinofitas, la clorofila *b* está presente en clorofitas y euglenofitas, la alloxantina en criptofitas, la divinil clorofila *a* y *b* en proclorofitas, por mencionar algunos (Van den Hoek *et al.*, 1995; Jeffrey, 1997; Rodríguez *et al.*, 2003; Jeffrey *et al.*, 2011).

En las lagunas costeras la producción primaria es llevada a cabo principalmente por el fitoplancton, sin embargo existen otras comunidades que contribuyen a la producción primaria del sistema, como el microfitorobentos, los pastos marinos, las macroalgas y el manglar (Medina-Gómez y Herrera-Silveira, 2006), las cuales pueden exportar feopigmentos a la columna de agua (Louda, 2007).

Debido a que las lagunas costeras son ambientes someros (Contreras-Espinosa, 2010), el efecto del viento y las corrientes de marea, provocan que los sedimentos y el detritus, se incorporen a la columna de agua, por lo tanto la turbidez generada a partir de esta resuspensión tendrá una concentración considerable de feopigmentos (Louda, 2007).

Es por esto que la cuantificación de feopigmentos para discriminar el aporte por parte de las comunidades distintas a la fitoplanctónica (Louda, 2007), y el uso de microscopía de luz para cuantificar las células de los grupos presentes son métodos complementarios, que proporcionan información confiable sobre las características cualitativas y cuantitativas de la comunidad fitoplanctónica (Seoane *et al.*, 2006; Lionard *et al.*, 2008; Sá *et al.*, 2013;).

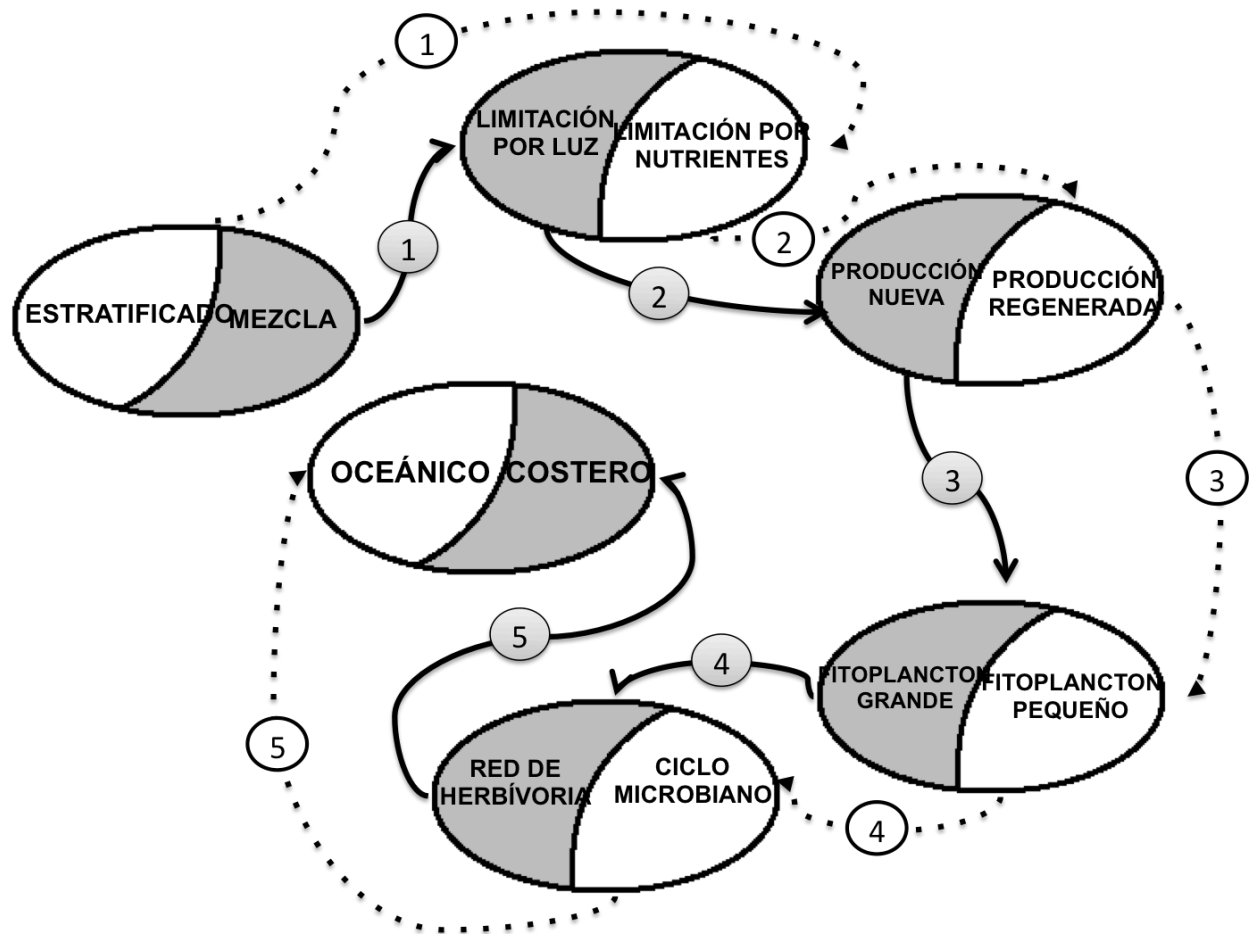


Figura 2. Representación esquemática de las condiciones que conducen al desarrollo de los ecosistemas costeros y ecosistemas pelágicos oceánicos. Tomado de Legendre y Rassoulzadegan (1995).

Tabla 1. Contenido pigmentario en cada uno de los grupos fitoplanctónicos (Jeffrey *et al.*, 2011).

Pigmento	Grupos Fitoplanctónicos Característicos																											
	Baci-1	Baci-2	Baci-3	Dino-1	Dino-2	Dino-3	Dino-4	Cyano-1	Cyano-2	Cyano-3	Cyano-4	Chloro-1	Chloro-2	Hapto-1	Hapto-2	Hapto-3	Hapto-4	Hapto-5	Hapto-6	Hapto-7	Hapto-8	Prasi-1	Prasi-2A	Prasi-2B	Prtasi-3A	Prasi-3B		
Clorofila a	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Clorofila b										+	⊕	+	+										+	+	+			
Clorofila C2	+	+	+	+	+	+	+								+	+	+	+	+	+	+	+						
Divinil Clorofila a											+																	
Alloxantina												t																
Cantaxantina									•																			
Fucoxantina	+	+	+												⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕						
Peridina				+	⊕	⊕	⊕																			+	+	
Prasinoxantina																								⊕	⊕	⊕	⊕	
Zeaxantina	h	h	h					+	+	+	+	•	•															
19'BF			d																		+	+	+					
19'HF																					+	+	+	+	+	+	+	
β-Caroteno	⊕	⊕	⊕	•	•	•	•	+	+	+		+	+	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕						

+ = Pigmento dominante

⊕ = Pigmento variable y en menor proporción

• = Pigmento significativo pero no siempre presente

h = Presencia en algunas diatomeas cuando están expuestas a una alta intensidad de luz

d = Detectada en *Thalassiothrix heteromorpha*

t = Concentración traza

Tabla 2 Fuente y taxa característico de cada grupo fitoplanctónico (Jeffrey *et al.*, 2011)

Grupo	Taxa Característico	Fuente Original
Baci-1	<i>Chaetoceros didymus</i>	Stauber y Jeffrey (1988)
Baci-2	<i>Rhizoselenia setigera</i>	Stauber y Jeffrey (1988)
Baci-3	<i>Nitzschia bilobata</i>	Stauber y Jeffrey (1988)
Dino-1	<i>Amphidinium carterae</i>	Jeffrey y Wright (1997)
Dino-2	<i>Karenia brevis</i>	Carreto <i>et al.</i> (2003)
Dino-3	<i>Kryptoperidinium foliaceum</i>	Jeffrey y Vesk, 1976; Kempton <i>et al.</i> , (2002)
Dino-4	<i>Dinophysis norvegica</i>	Vesk <i>et al.</i> , (1996)
Cyano-1	Formas coloniales de agua epicontinental, <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Oscillatoria</i> spp. y <i>Trichodesmium</i> spp.	Carpenter <i>et al.</i> , (1993); Hertzberg y Liaaen-Jensen, S. Siegelman, (1971)
Cyano-2	Especies marinas de cocoides planctonicos, <i>Synechococcus</i> sp. y <i>Synechocystis</i> sp.	Jeffrey y Wright, 1997; Six <i>et al.</i> , (2004)
Cyano-3	<i>Prochloron didemni</i> (simbionte marino), cepas de <i>Prochlorothrix</i> (forma de vida libre epicontinental)	Burger-Wiersma <i>et al.</i> , 1986; Foss <i>et al.</i> (1987)
Cyano-4	<i>Prochlorococcus marinus</i> (Forma de vida libre marina)	Goericke y Repeta (1992)

Tabla 2. (Continuación)

Grupo	Taxa Característico	Fuente Original
Chloro-1	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Fawley, (1989); Jeffrey, 1972; Lewin <i>et al.</i> (2000)
Chloro-2	<i>Chlamydomonas parkae</i>	Sasa <i>et al.</i> (1992)
Hapto-1	<i>Pavlova lutheri</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-2	<i>Pavlova gyrans</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-3	<i>Dicrateria inornata</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-4	<i>Prymnesium parvum</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-5	<i>Ochrosphaera verrucosa</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-6	<i>Hemiliana huxleyi</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-7	<i>Chrysochromulina hirta</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)
Hapto-8	<i>Phaeocystis pouchetii</i>	Zapata <i>et al.</i> (2004)



Tabla 2. (Continuación)

Grupo	Taxa Característico	Fuente Original
Prasi-1	<i>Nephroselmis olivacae</i> , <i>Tetraselmis</i> sp.	Egeland <i>et al.</i> (1997); Latasa <i>et al.</i> (2004)
Prasi-2A	<i>Pyramimonas parkae</i> , <i>Tetraselmis</i> sp.	Garrido <i>et al.</i> (2009); Sasa <i>et al.</i> (1992)
Prasi-2B	<i>Nephroselmis pyriforme</i> , <i>Pyramimonas amylifera</i>	(Egeland <i>et al.</i> (1997); Latasa <i>et al.</i> (2004)
Prasi-3A	<i>Pycnococcus provasolii</i>	Egeland <i>et al.</i> (1997)
Prasi-3B	<i>Micromonas pusilla</i>	Egeland <i>et al.</i> (1997)

### 3. ANTECEDENTES

La determinación del contenido de pigmentos vegetales es considerada como el indicador de la biomasa fitoplanctónica tanto en aguas epicontinentales, costeras y oceánicas (Santoyo-Reyes, 1993; Jeffrey, 1997; Barreiro Güemes y Signoret-Poillon, 1999; Jeffrey *et al.*, 2011), por lo que en los últimos 40 años se han utilizado diversas técnicas para evaluación de clorofilas *a* y *b* utilizando técnicas espectrofotométricas, como las propuestas por Strickland y Parsons, (1972).

Aunque la clorofila *a* es el único pigmento fotosintético realmente activo y responsable de transformar la energía luminosa en química; a la clorofila *a* se suman los pigmentos accesorios; carotenoides, xantofilas y ficobilinas, cuya presencia y concentración dependerá de la proporción de los grupos fitoplanctónicos presentes (Barreiro Güemes y Signoret-Poillon, 1999), por lo que las técnicas propuestas por Strickland y Parsons, (1972) presentan limitaciones en cuanto a la determinación de los pigmentos accesorios; es por ésto que la utilización de técnicas cromatográficas en columnas de celulosa, han permitido estimar ciertos pigmentos accesorios como las clorofilas *c1* y *c2* y carotenoides (Jeffrey, 1972).

La cromatografía es una parte muy importante de la química analítica y es ampliamente utilizada para determinar gran variedad de compuestos orgánicos al facilitar la separación de los compuestos de una muestra (Hernandez-Sandoval e Ibarra-Martínez, 2007), no obstante la cromatografía de capa fina o en columna se ve limitada para cuantificar la concentración de los pigmentos.

Por ello, el empleo de HPLC en el análisis de pigmentos se utiliza cada vez más frecuentemente debido a la alta resolución y precisión del método (Mackey *et al.*, 1996; Jeffrey, 1997; Zapata *et al.*, 2004; Hernandez-Sandoval e Ibarra-Martínez, 2007; Lionard *et al.*, 2008; Jeffrey *et al.*, 2011), el cual es muy útil para comprender mejor la distribución y composición de los grupos fitoplanctónicos, al estimar los pigmentos pertenecientes a los distintos taxones (Millán-Nuñez *et al.*, 2004).

Los primeros estudios sobre los pigmentos accesorios analizados mediante HPLC en México, estuvieron restringidos a la península de Baja California, en donde Bustillos-Guzmán *et al.* (2000) determinaron el aporte de biomasa por parte de las cianofitas, bacilariofitas y dinofitas al total de clorofila *a* así como la contribución de bacterioclorofilas por parte de bacterias fototróficas en zonas anóxicas de Bahía Concepción.

Millán-Nuñez *et al.* (2004), describieron la dinámica de los principales grupos fitoplanctónicos presentes en la Bahía de San Quintín y cómo se modificó la proporción de los grupos ante las distintas condiciones ambientales. Incorporaron también la utilización del programa <sup>®</sup>CHEMTAX, el cuál es un software estadístico que permite estimar la biomasa de los grupos y la relación que existe entre el pigmento marcador con el total de la biomasa, expresada como clorofila *a* total (TChla) (Mackey *et al.*, 1996; Riegman y Kraay, 2001; Madhu *et al.*, 2014).

Palomares-García *et al.* (2006) Relacionaron los pigmentos fitoplanctónicos con el pastoreo por parte del microzooplancton, donde determinaron que el microzooplancton presenta una selectividad sobre distintos grupos fitoplanctónicos, los cuales juegan un papel importante en la transferencia de energía hacia los niveles tróficos superiores.

Noriega-Cañar y Palomares-García, (2008) utilizaron la caracterización pigmentaria para entender la trofodinámica del fitoplancton en el sistema pelágico de Bahía Concepción, estimando la presión por pastoreo del microzooplancton sobre el fitoplancton, a partir de la tasa de cambio en la proporción de los pigmentos accesorios y el aporte de biomasa acoplados a las técnicas de dilución propuestas por Gifford, (1988) y Landry y Hassett, (1982).

En lo que a lagunas costeras se refiere, Ayala-Rodríguez, (2008), utilizó la cuantificación de pigmentos fotosintéticos y accesorios por HPLC para estimar los grupos fitoplanctónicos funcionales y el estado trófico del sistemas lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María, sin embargo el número de estudios pigmentarios realizados en lagunas costeras es limitado.

Los primeros estudios sobre fitoplancton en la laguna de Términos se llevaron a cabo por Suárez-Caabro y Gómez-Aguirre, (1965), en donde se determinó la composición cualitativa y cuantitativa del fitoplancton primaveral de 1959 y 1964 y su relación con los parametros ambientales, para las zonas correspondientes a: Boca del Carmen, Puerto Real, la región central de la laguna y la región litoral sur de la laguna, en donde se reportan abundancias de especies de: *Chaetoceros* spp., *Biddulphia* spp., *Rhizosolenia* spp., *Bacteriastrum* spp. *Nitzschia* spp, *Thalassiothrix* spp., *Coscinodiscus* spp. y *Tripes* spp.

Loyo-Rebolledo, (1965), dió a conocer unas notas de la flora diatomológica, sistemática y distribución de las diatomeas pertenecientes a la laguna de Términos. Gómez-Aguirre, (1974) cuantificó el porcentaje de los principales grupos fitoplanctónicos durante abril y septiembre de 1964 y febrero de 1965, donde las diatomeas constituyeron dos terceras partes del total de la abundancia, siguiéndole en importancia los dinoflagelados, las cianofitas, escasos silicoflagelados y clorofitas en las estaciones cercanas a la desembocadura del río Palizada.

Un estudio reciente sobre la comunidad fitoplanctónica fue publicado por Muciño-Márquez *et al.* (2014), quienes describen la composición de los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada, en donde se registraron 348 taxa, principalmente bacilariofitas. *Cylindrotheca closterium* fue la especie más abundante en los dos sistemas, presentando su mayor abundancia ( $52,5 \times 10^3$  céls l<sup>-1</sup>) en Pom-Atasta, formando incipientes florecimientos algales no tóxicos.

Otros estudios en la Laguna de Términos abarcan el comportamiento distribución y ecología de las comunidades nectónicas, así como el posible impacto de factores ambientales sobre estas comunidades en función de cómo se modifican estos factores en espacio y tiempo (Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005).

#### 4. . HIPÓTESIS

1. Si la laguna de Términos esta sujeta a cambios estacionales característicos del Golfo de México, entonces la dinámica espacio-temporal de las condiciones físico-químicas en el interior de la laguna se verán modificada por estos cambios.
2. Si los ecosistemas costeros son ambientes que se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de nutrientes y biomasa fitoplanctónica, entonces la laguna de Términos deberá de presentar evidencias de eutroficación; es decir, un estado trófico alto.
3. Si en los ambientes costeros la fracción microfitoplanctónica es la que genera la mayor biomasa, entonces será esta fracción de tamaño la que domine durante las tres temporadas de muestreo.
4. Si la laguna de Términos está sujeta a cambios estacionales característicos del Golfo de México, entonces la dinámica espacio-temporal y la abundancia de los principales grupos que conforman el fitoplancton estará determinada por estos cambios.

## **5 .PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Los cambios espacio-temporales en los factores físico-químicos permiten caracterizar la dinámica estacional de la Laguna de Términos?

¿Cuál es el estado trófico de la Laguna de Términos?

¿Cuál es la contribución de cada una de las fracciones de tamaño al total de la biomasa fitoplanctónica?

¿Cuál es la dinámica espacio-temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica y de que manera se relaciona con los cambios en las condiciones físico-químicas?

## **6. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar si los cambios espacio-temporales de las condiciones físico-químicas presentes en la Laguna de Términos afectan la composición, abundancia y distribución de los grupos fitoplanctónicos y la biomasa aportada al total de clorofila *a* (TChla) por parte de las fracciones micro y nano+picofitoplanctónica.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Establecer los cambios espacio-temporales de las condiciones físico-químicas en la Laguna de Términos.
- Determinar el estado trófico de la Laguna de Términos.
- Determinar la contribución de cada una de las fracciones de tamaño al total de la biomasa fitoplanctónica.
- Determinar de qué manera se relaciona la composición de los diferentes grupos fitoplanctónicos con los cambios en las condiciones físico-químicas.



## 7. ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Términos (Fig. 3) es el segundo sistema lagunar costero más grande de México, con una extensión aproximada de 2000 Km<sup>2</sup> (Kjerfve, 1989; Ramos-Miranda *et al.*, 2005; Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), se encuentra localizada en el estado de Campeche al sureste del Golfo de México y al suroeste de la península de Yucatán (Rivera-Monroy *et al.*, 1995), entre las coordenadas 91° 15' y 92 00' de longitud Oeste y los paralelos 18° 25' y 19° 00' de latitud Norte (Ramos-Miranda *et al.*, 2005).

Se pueden diferenciar tres temporadas anuales características en la zona, la primera corresponde a la temporada de secas que va de marzo a junio, la temporada de lluvias de junio a octubre y la temporada de tormentas invernales o nortes, de octubre a febrero (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Rivera-Monroy *et al.*, 1995; Ayala-Pérez *et al.*, 2003).

Según la clasificación de Lankford, (1977), la laguna de Términos tiene un origen de tipo IIA, esto es una laguna con sistemas deltaicos fluviales, generados por sedimentación irregular o subsidencias de superficie, producidas por la compactación de los sedimentos, lo cual hace que las barras arenosas se formen con facilidad. Presenta típicas barreras arenosas; el escurrimiento es directo por lo que ocurren modificaciones de su forma y batimetría muy rápidamente y la energía suele ser baja.

La laguna tiene una profundidad media de 3.5 m (Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005; Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), está separada del Golfo de México por dos islas: la Isla del Carmen con una superficie de 95 Km<sup>2</sup> y la Isla Aguada con 36 Km<sup>2</sup> de superficie (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), está formada por una serie de bermas de tormenta, constituida en su totalidad por materiales calcáreos marinos, que han sido acumulados por el océano y muy bien estabilizados por la vegetación (Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). Tiene comunicación permanente con el sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, el cual es una zona de almacenamiento y transporte de sedimentos, materia orgánica y detritos, además contribuye al aporte de agua epicontinental a la laguna (Muciño-Márquez *et al.*, 2014).

Los tres principales tributarios son: el río Palizada al suroeste, el cual se origina a partir del sistema Grijalva-Usumacinta (Hudson *et al.*, 2005) con una descarga anual de  $6 \times 10^9 \text{ m}^3$ , por lo cual es considerado como el principal tributario de aguas epicontinentales a la laguna (Gold-Bouchot *et al.*, 1993). Los dos tributarios restantes son el río Chumpán, que se localiza al sur de la laguna y el río Candelaria en el sureste de la misma (Ramos-Miranda *et al.*, 2005). La descarga pluvial anual de los tres tributarios suman un total de  $11.76 \times 10^9 \text{ m}^3$  (Contreras-Espinosa, 2010 b).

La laguna está permanentemente conectada con el Golfo de México mediante dos bocas de comunicación: la primera es la boca de Puerto Real, la cual tiene 3.4 km de ancho, una profundidad máxima de 19 m y una profundidad promedio de 4.5 m (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), está influenciada por aguas marinas, transparentes en donde se forma un delta interior con bajos y canales (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988).

La segunda, es la Boca del Carmen, que tiene una anchura de 3.2 km, una profundidad máxima de 12 m y una profundidad media de 3.5 m (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014); está influenciada principalmente por aguas del río Palizada, con abundantes terrígenos finos en suspensión que generan una alta turbidez y tienden a formar un delta al exterior de la boca (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988).

La laguna presenta un patrón de circulación en donde el agua del Golfo de México entra a la laguna por la boca de Puerto Real y sale por la boca del Carmen; esta circulación está regulada por los vientos dominantes que provienen del este, la corriente litoral y la descarga de los ríos (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Contreras-Espinosa, 2010 b; Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), con un flujo neto de  $1350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Contreras-Espinosa, 2010 b).

Durante la temporada de tormentas invernales o temporada nortes, los vientos provenientes del noroeste, provocan que masas de agua marina sean empujadas al interior de la laguna a través de la Boca del Carmen, por lo tanto hay un aporte de agua con condiciones marinas ingresando a la laguna por las dos bocas de comunicación, lo cual genera una dominancia de masas de agua marina al interior de la laguna (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988).

Durante el año 2009 la menor precipitación se registró durante la temporada de secas (marzo), estas se incrementaron en lluvias (septiembre), pero fue durante la temporada de nortes (octubre-noviembre) en donde se registraron las mayores precipitaciones (Fig. 4).

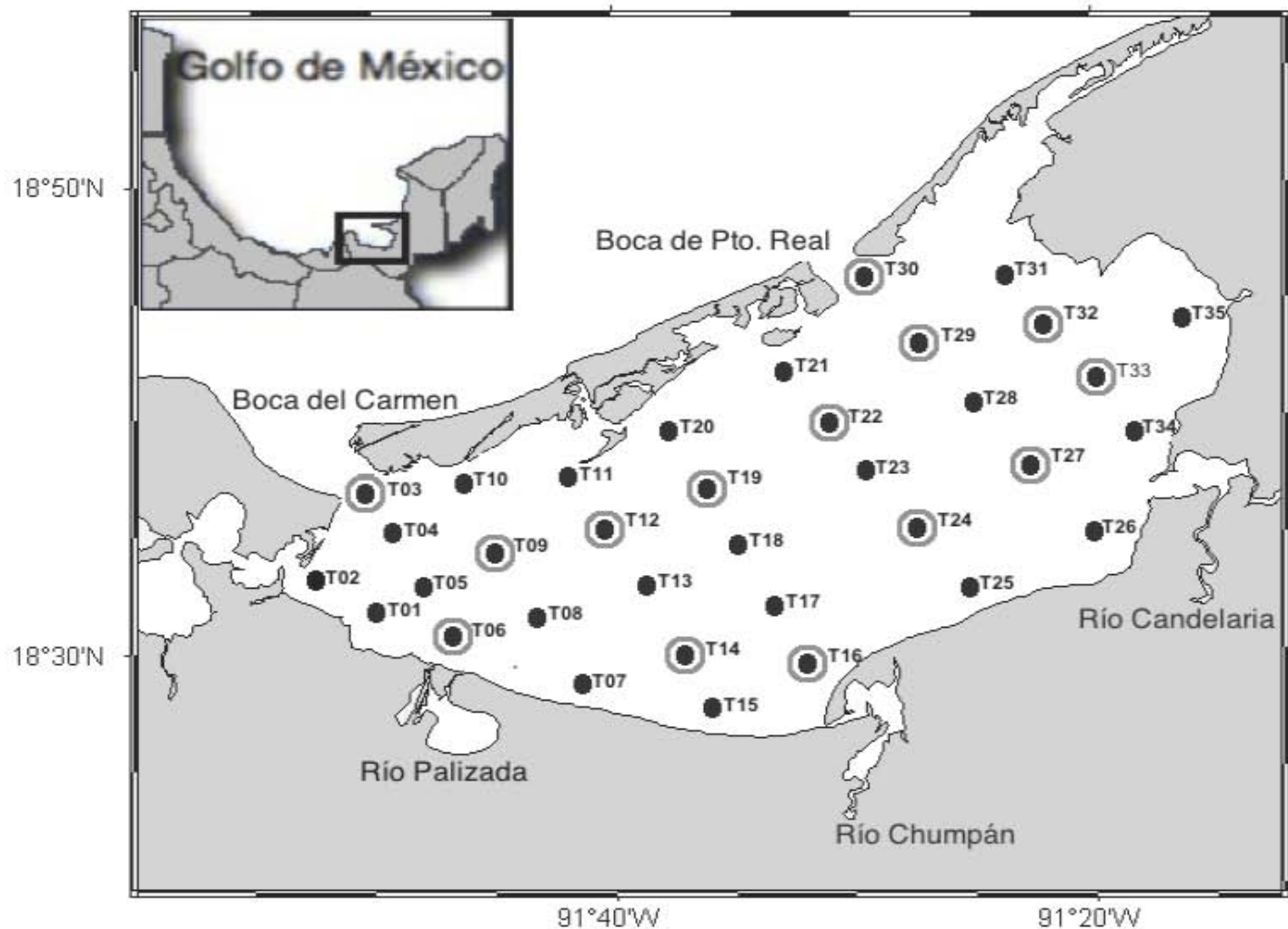


Figura 3. Laguna de Términos, Campeche. • Estaciones de muestreo. ○ Estaciones en las que se tomaron muestras de fitoplancton.

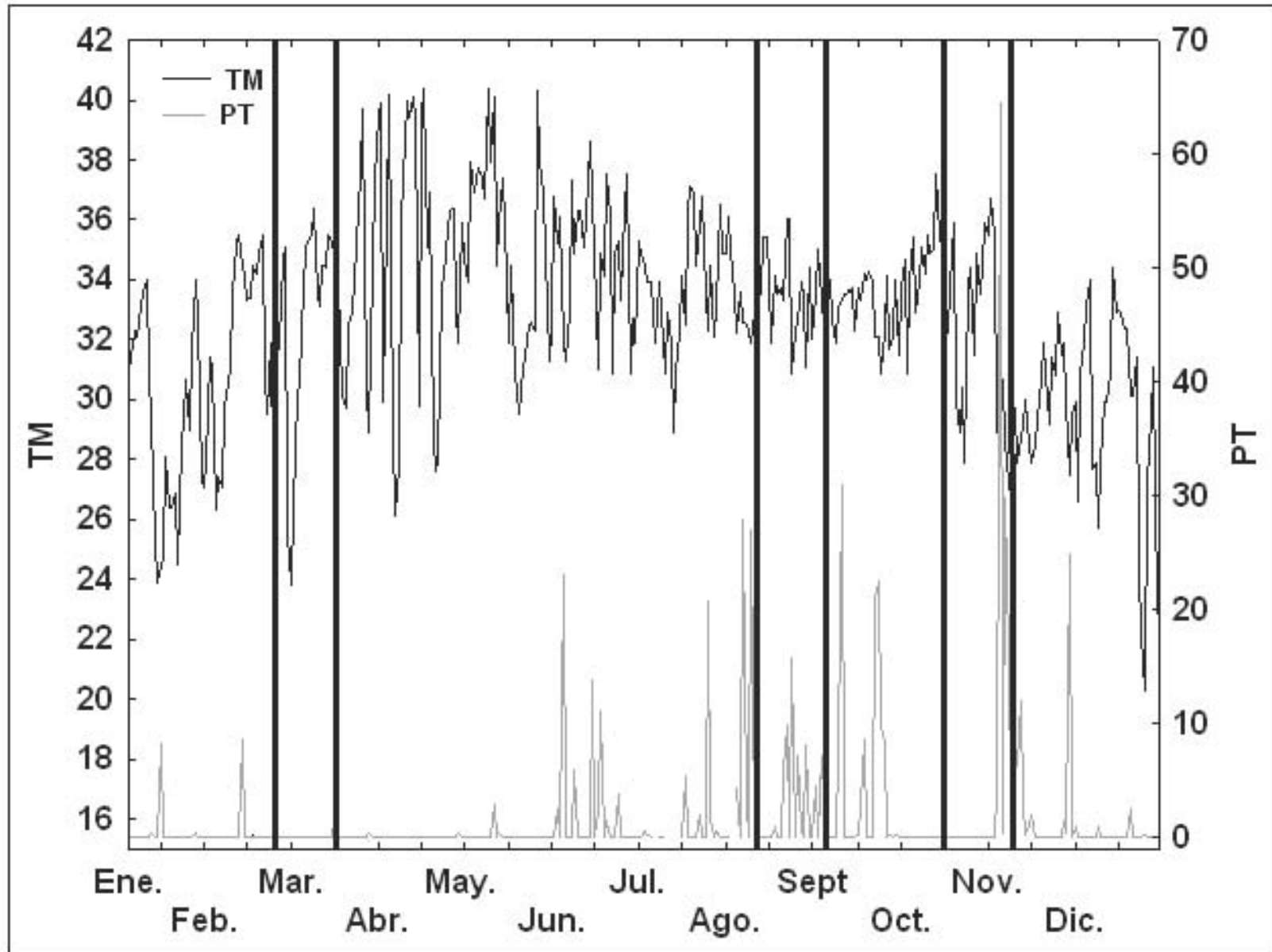


Figura 4. Temperatura media en °C (TM) y precipitación total en mm (PT), para el año 2009 (SMN-CNA, 2009). Entre las líneas verticales se señalan los meses en los que se llevó a cabo el muestreo del presente estudio.

## 8. MATERIAL Y MÉTODOS

### 8.1 Trabajo de Campo

Se realizaron tres muestreos que están incluidos en el proyecto JEST (Joint Environmental Study of Términos Lagoon) auspiciado por PNEC-EC2CO (Écosphère Continentale et Côtière, CNRS, Francia), que correspondieron a las temporadas de secas (marzo), lluvias (septiembre) y nortes (octubre-noviembre) del año 2009. Se muestreó una red de 35 estaciones ubicadas en toda el área de la laguna de Términos, con el fin de cubrir las zonas representativas de la misma, esto es, las zonas de influencia epicontinental, estuarina y marina (Fig. 3).

#### 8.1.1 Parámetros físico-químicos

En cada estación se midieron la profundidad, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez y fluorescencia empleando un CTD Seabird SBE-19.

#### 8.1.2 Biomasa y nutrientes

Se colectaron muestras de 1 l de agua a una profundidad de 0.5 m, mediante una botella tipo Niskin con capacidad de 7 l, de donde se tomó una alícuota para determinar la biomasa fitoplanctónica (Clorofila *a*) por espectrofotometría y otras dos alícuotas se emplearon para determinar los pigmentos fotosintéticos y pigmentos accesorios por HPLC.

Biomasa: Se filtraron de 200 a 500 ml de agua en un equipo Millipore<sup>®</sup> utilizando filtros<sup>®</sup> Whatman GF/F de 45 mm de diámetro y 0.7 µm de abertura de poro. Los filtros se envolvieron en papel aluminio y se etiquetaron debidamente, manteniéndose a 4 °C y en la obscuridad para su transporte al laboratorio, una vez en el laboratorio se mantuvieron a -20°C para su posterior análisis.

Nutrientes: El agua filtrada se almacenó en botellas de polietileno debidamente etiquetadas y se mantuvieron a 4 °C para su transporte al laboratorio, una vez ahí se mantuvieron a 0 °C hasta el análisis de nutrientes.

### 8.1.3 Pigmentos por HPLC

Se filtraron de 200 a 500 ml de agua en un equipo Millipore<sup>®</sup> con filtros<sup>®</sup> Whatman GF/F de 25 mm de diámetro y una abertura de poro de 0.7 µm.

Adicionalmente, se tamizó parte de la muestra con una malla de nylon de 20 µm de abertura de malla, para separar la fracción nano+picofitoplanctónica de la microfitoplanctónica; el agua recuperada fue filtrada en un equipo Millipore<sup>®</sup> mediante filtros Whatman<sup>®</sup> GF/F de 25 mm de diámetro y una abertura de poro de 0.7 µm. Finalmente los filtros fueron colocados en tubos Eppendorf<sup>®</sup> debidamente etiquetados y se mantuvieron a una temperatura de -80 °C hasta su análisis en el laboratorio.

### 8.1.4 Fitoplancton

Para el análisis cuantitativo y cualitativo de fitoplancton se tomaron muestras en 14 estaciones dispuestas sobre la misma red de 35 estaciones (Fig. 3).

Las muestras para el análisis cuantitativo se tomaron con una botella Van Dorn con capacidad de 2 L a una profundidad de 0.5 m; se fijaron con una solución de lugol-acetato (Wetzel y Likens, 1991) y se colocaron en botellas ámbar de vidrio de 250 ml para su transporte y posterior análisis en el laboratorio.

Las muestras para el análisis cualitativo se tomaron a partir de arrastres horizontales utilizando una red cónica de fitoplancton con abertura de malla de 60  $\mu\text{m}$  y un diámetro de 30 cm en la boca. Las muestras fueron preservadas utilizando una solución de formaldehído al 4% concentración final y neutralizada con 2% de una solución saturada de borato de sodio.

## 8.2 Trabajo de Laboratorio

### 8.2.1 Nutrientes

Para el análisis de los nutrientes se determinaron las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4$ ); nitratos más nitritos ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ); ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ) y silicatos ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ); siguiendo las técnicas propuestas por Strickland y Parsons (1972).

#### 8.2.1.1 Amonio:

En un tubo de ensaye se colocaron 5 ml de muestra a la cual se le adicionaron 0.2 ml de fenol, posteriormente se agregaron 0.2 ml de nitroprusiato de sodio y 0.5 ml de solución oxidante fresca (hipoclorito de sodio más reactivo alcalino), los tubos se colocaron en la obscuridad por 6 horas y se tomó la lectura a 630 nm.



#### 8.2.1.2. Nitratos + Nitritos:

Se hicieron pasar 20 ml de muestra a través de una columna de cadmio a la cual se le agregaron 0.8 ml de cloruro de amonio concentrado; una vez que la muestra pasó por la columna se le adicionó 0.4 ml de sulfanilamida, después de 8 minutos se le agregaron 0.4 ml de N-naftil-etilen-diamina y después de 10 minutos se tomó la lectura a 543 nm.

#### 8.2.1.3 Ortofosfatos

En un tubo de ensaye se colocaron 10 ml de muestra a los cuales se les agregó una gota de hidróxido de sodio y posteriormente una gota de fenolftaleína hasta que apareció un color rosa, después se le agregó ácido sulfúrico a una concentración 1N, gota a gota, hasta hacer desaparecer el color rosado. Una vez hecho esto, se agregaron 2 ml de una mezcla de reactivos (ácido sulfúrico a una concentración 5N, tartrato de amonio, molibdato de amonio y ácido ascórbico) y después de 10 minutos se tomó la lectura a 885 nm.

#### 8.2.1.4. Silicatos

Se utilizaron tubos de polipropileno para evitar la contaminación por el sílice, a los cuales se les adicionaron 0.4 ml de molibdato de amonio, después se colocaron 10 ml de muestra y 0.2 ml de ácido clorhídrico 1:1, pasados 10 minutos se agregaron 0.4 ml de ácido oxálico y se dejaron reposar por 30 minutos y se tomó la lectura a 410 nm.

#### 8.2.1.5. Fósforo Total Disuelto (FTD)

Se tomaron 40 ml de muestra y se le agregaron 40 ml de ácido perclórico al 30%, para oxidar la materia orgánica y transformar el fósforo orgánico a fosfato inorgánico, finalmente las muestras se analizaron como ortofosfatos.

#### 8.2.1.6 Nitrógeno Total Disuelto (NTD)

Para la determinación de nitrógeno total, se siguió el mismo procedimiento para la oxidación de la materia orgánica que en FTD y posteriormente se procesaron como nitratos+nitritos.

#### 8.2.1.7 Nitrógeno y Fósforo Orgánico Disuelto (NOD y FOD)

Para obtener la concentración de nitrógeno y fósforo orgánico disuelto se le restó la concentración de nitrógeno inorgánico y fosforo inorgánico a la concentración de nitrógeno y fósforo total.

Las lecturas se llevaron a cabo con un espectrofotómetro SHIMADZU®-UV-1700 PharmaSpec.

### 8.2.2 Biomasa fitoplanctónica

#### 8.2.2.1 Biomasa (Clorofila *a*)

Los filtros <sup>®</sup>Whatman GF/F de 45 mm de diámetro se maceraron con acetona al 90% en tubos de centrifuga manteniéndolos a 4°C por 24 horas. Posteriormente los tubos se centrifugaron a 3000 r.p.m. durante 25 minutos, se recuperó el sobrenadante, las lecturas se tomaron a 700 nm, 665 nm, 645 nm y 630 nm utilizando un espectrofotómetro SHIMADZU®-UV-1700 PharmaSpec. (Strickland y Parsons, 1972).

La concentración de clorofila *a* se calculó utilizando la ecuación propuesta por SCOR-UNESCO (1980).

$$\text{Clor } a = 11.64_{E665} - 2.16_{E645} + 0.1_{E630}$$

Donde:

$E_{665}$  = Absorbancia medida a 665 nm.

$E_{645}$  = Absorbancia medida a 645 nm.

$E_{630}$  = Absorbancia medida a 630 nm.

Para determinar la concentración de clorofila *a* en  $\text{mg m}^{-3}$ , se utilizó la siguiente ecuación:

$$Chla = \frac{\text{Clor } a * Ve}{V}$$

Donde:

**Chla** = Es la concentración de clorofila *a* expresada en  $\text{mg m}^{-3}$

**Clor a** = Es el valor de clorofila *a* obtenido a través de las absorbancias

**Ve** = Volumen de extracción (ml)

**V** = Volumen de muestra filtrada (l).

### 8.2.2.2 Feopigmentos

Para el análisis de feopigmentos se utilizó el resto del sobrenadante de donde se midió la clorofila *a*, al cual se le agregaron dos gotas de ácido clorhídrico al 33% y se tomaron las lecturas a 710 nm 665 nm en un espectrofotómetro SHIMADZU®-UV-1700 PharmaSpec. Para estimar la concentración de feopigmentos se utilizó la siguiente ecuación (Strickland y Parsons, 1972):

$$Feo\ a = \frac{(AK * R665a - 665o) * Ve}{V}$$

Donde:

***Feo a*** = Es la concentración de feopigmentos en mg m<sup>-3</sup>

***A*** = Inverso del coeficiente de extinción de la acetona al 90% para clorofila *a* ( $X*1000$ );  $(1/91.1L\ g^{-1}\ cm^{-1})*1000$ ;  $A = 11.0\ \mu g\ cm\ ml^{-1}$

***R*** = Máxima absorbancia de la relación entre  $665_a/665_o$  en la absorbancia de feopigmentos;  $R = 1.7$

***K*** =  $R / (R - 1.0)$ ;  $K = 2.43$

**$665_a$**  = Absorbancia a 665 nm antes de la acidificación

**$665_o$**  = Absorbancia a 665 nm después de la acidificación

***Ve*** = Volumen de extracción (ml)

***V*** = Volumen de filtración (l)

### 8.2.3 Análisis de pigmentos por fracciones de tamaño mediante HPLC

Para el análisis de pigmentos por cromatografía líquida de alto desempeño, los filtros se maceraron con una solución de metanol y acetato de amonio al 0.5 N (97/3; v/v); el macerado se llevó a cabo en el interior de un tubo Eppendorf®, y se mantuvieron en la obscuridad a una temperatura de 4°C durante 24 horas. Se extrajeron los pigmentos utilizando un ultrasonificador durante tres minutos y posteriormente se centrifugaron a 7000 r.p.m. durante 15 minutos. El sobrenadante se colectó y se colocó en viales de 2.0 ml, para ser analizados por HPLC siguiendo el método propuesto por Vidussi *et al.* (1996). La tabla 3 muestra el gradiente utilizado en el método.

Tabla 3. Gradiente de solventes (Vidussi et al., 1996)

<b>Minutos</b>	<b>Solvente A</b>	<b>Solvente B</b>
0	75%	25%
1	50%	50%
15	0%	100%
18	0%	100%
18.5	75%	25%

Solvente A = Metanol grado HPLC : Acetato de amonio 0.5N, 70:30 v:v.

Solvente B = Metanol grado HPLC al 100

Las condiciones en las que se corrieron las muestras fueron:

Tiempo de corrida = 23 minutos

Flujo = 1ml min<sup>-1</sup>

Longitud de onda = 440 nm – 667 nm

Presión máxima de la bomba = 400 bar

Volumen de inyección = 100 µl

La identificación de los pigmentos se realizó siguiendo los criterios propuestos por [Wright y Mantoura, \(1997\)](#), esto es, se compararon los tiempos de retención del estándar con los de la muestra ([Tabla 4](#)) y los espectros de absorción de la muestra con los del estándar ([Figs. 5 y 6](#)).

Todas las muestras fueron analizadas en un cromatógrafo Hewlett Packard® 1100, equipado con detector de arreglo de diodos (DAD), el cual consta de una lámpara de deuterio con un rango de detección que va de los 190 a los 900 nm y una lámpara de UV; además de un detector de fluorescencia (FLD) y software OpenLAB Versión A.01.02 con Chem Station Rev 0.01.02 (14).

La concentración de cada pigmento se estimó mediante la siguiente ecuación ([Hernandez-Sandoval e Ibarra-Martínez, 2007](#)):

$$\mathbf{Pigmento} = \frac{(Am * FR) * \left(\frac{Ve}{Vi}\right)}{V}$$

Donde:

**Pigmento** = Clorofilas y/o carotenos en mg m<sup>-3</sup>

*Am* = Área bajo la curva de cada pico de las muestras (mAU\*S)

*FR* = Factor respuesta; Concentración del estándar (ng)/área del estándar (mAU\*S)

*Ve* = Volumen de extracción en µl

*Vi* = Volumen de inyección de la muestra µl

*V* = Volumen de muestra filtrada en ml

Tabla 4. Estándares y tiempos de retención

<b>Pigmento/Estándar</b>	<b>Tiempo de retención (min)</b>
Clorofila <i>c2</i>	4.08
Peridinina	4.82
19'Butanohiloxy-Fucoxantina	5.34
Fucoxantina	5.60
Prasinoxantina	6.11
19'Hexanohiloxy-Fucoxantina	6.20
Alloxantina	8.09
Zeaxantina	8.94
Cantaxantina	10.36
Clorofila <i>b</i>	13.37
Divinil Clorofila <i>a</i>	15.33
Clorofila <i>a</i>	15.53
$\beta$ -Caroteno	19.14

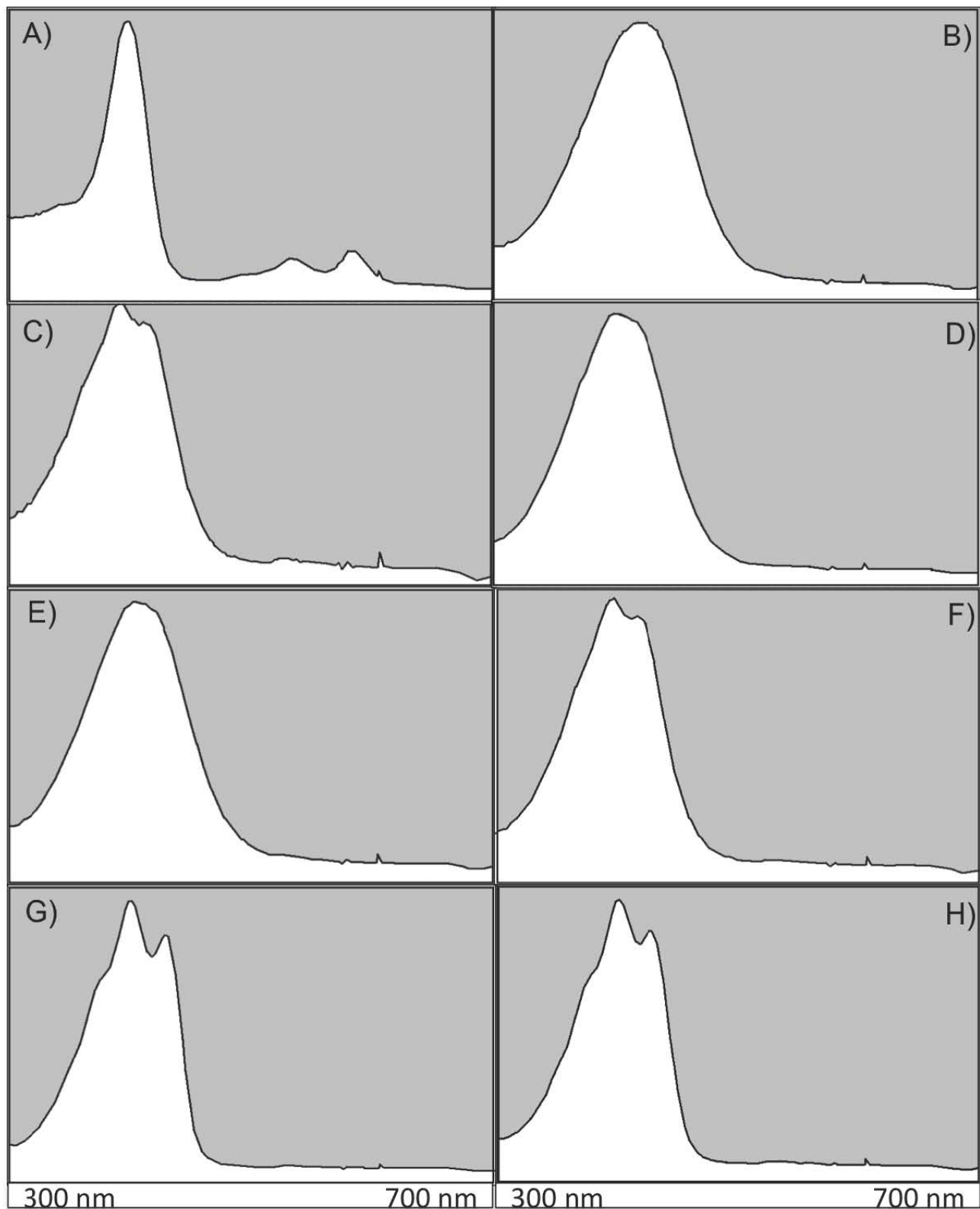


Figura 5. Espectros de absorción de clorofila c2 (A), peridinina (B), 19'BF (C), fucoxantina (D), 19'HF (E), prasincoxantina (F), alloxantina (G) y zeaxantina (H).



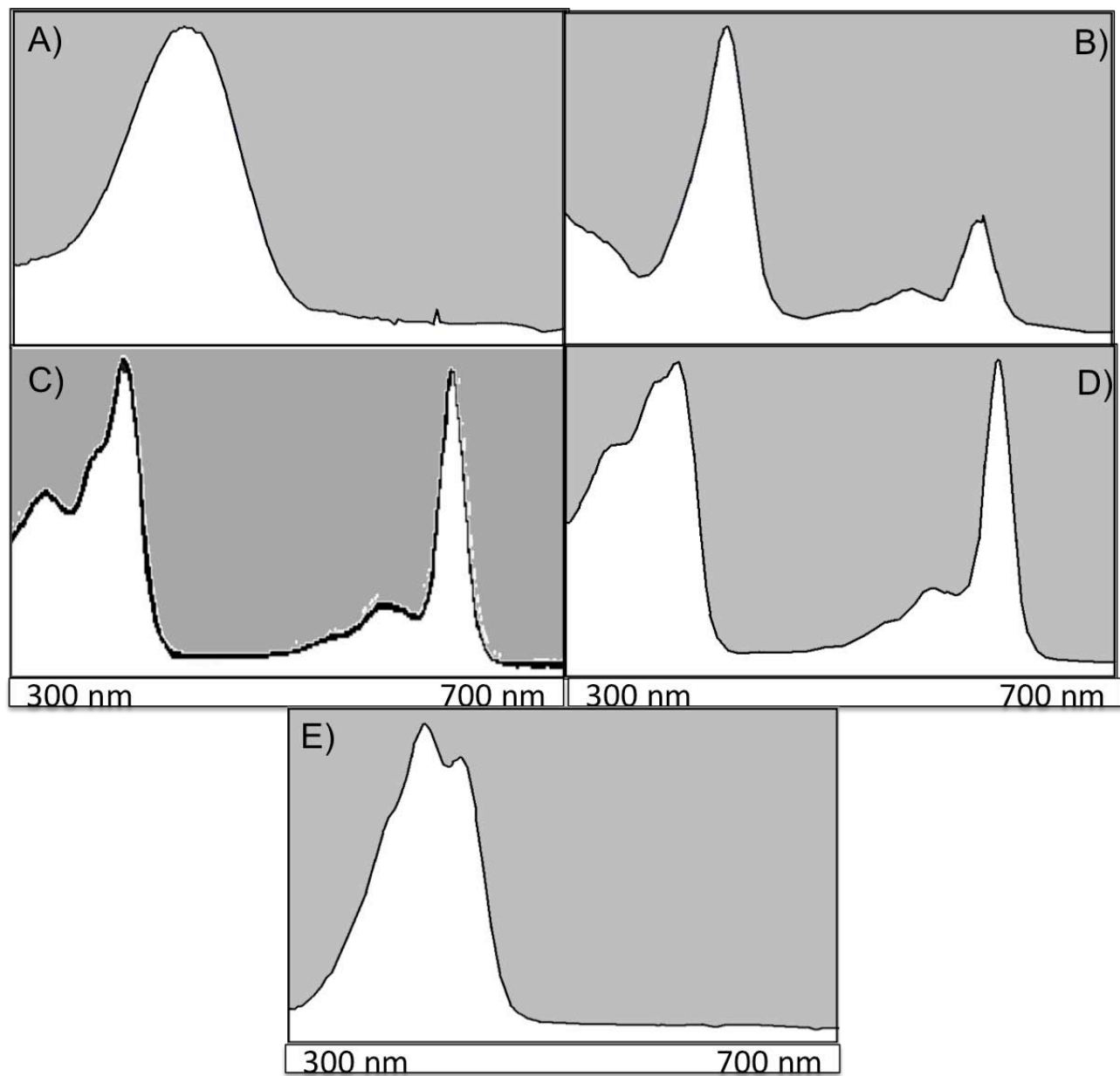


Figura 6. Espectros de absorción de cantaxantina (A), clorofila *b* (B), divinil clorofila *a* (C), clorofila *a* (D) y β-caroteno (E).

## 8.2.4 Fitoplancton

### 8.2.4.1 Análisis Cualitativo

De las muestras de las estaciones seleccionadas previamente (Fig. 3) se realizaron preparaciones permanentes de diatomeas con resina permanente Hycel, en xilol al 60% (Simonsen, 1974); el resto de los organismos fueron identificados en preparaciones frescas utilizando un microscopio óptico marca Zeiss® Axioscop.

### 8.2.4.2 Análisis Cuantitativo

Para determinar la abundancia de los grupos fitoplanctónicos, las muestras se homogeneizaron manualmente y se colocaron en cámaras de sedimentación de 25 ml siguiendo el método de (Utermöhl, 1958), a un aumento de 40X, en un microscopio invertido Zeiss® Axiovert-25 con contraste de fases. El análisis de la cámara se llevó a cabo por medio de un barrido de la cámara (Fig.7) hasta contabilizar un total de 400 células para asegurar un límite de confianza de  $\pm 10\%$  (Edlder y Elbrächter, 2010) y en caso de no alcanzar esta densidad celular, se revisó toda la cámara. La densidad celular se calculó utilizando la siguiente fórmula (Edlder y Elbrächter, 2010):

$$Céls L^{-1} = N * \frac{At}{Ac} * \frac{1000}{V}$$

Donde:

$N$  = Número de unidades (células) de grupos contabilizados

$At$  = Área total de la cámara en  $mm^2$

$Ac$  = Área de la cámara contabilizada  $mm^2$  (área de cada campo multiplicado por el número de campos)

$V$  = Volumen de la cámara en ml (25ml)

La identificación de los organismos, tanto de las muestras cualitativas como cuantitativas, se llevó a cabo empleando literatura especializada en función de cada grupo fitoplanctónico: Ortega, 1984; Streble y Krauter, 1987; Round *et al.*, 1990; Licea *et al.*, 1996, 1995; Thomas *et al.*, 1997; Hernández-Becerril, 2000a, 2000b; Hernandez-Becerril y Bravo-Sierra, 2001; Wehr y Sheath, 2003; Hernández-Becerril y Alonso-Rodríguez, 2004;.Assmy *et al.*, 2008; Gómez *et al.*, 2010; Seckbach y Kocielek, 2011; Gómez, 2013.

Se tomaron micrografías de microscopía de luz utilizando una cámara digital AxioCam ICc1, acoplada al microscopio óptico marca Zeiss® Axioscop. El tratamiento de las imágenes se llevó a cabo utilizando el Software AxioVision Release 4.8.2 SP2 (06-2012).

Adicional a las micrografías de microscopía de luz, algunas fracciones de muestras se colocaron en tachuelas porta muestras y se cubrieron con una capa delgada de oro para su análisis por Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), en el Laboratorio Divisional de Microscopía de la UAM-Iztapalapa.

Los análisis de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Ecosistemas Costeros, del Departamento de Hidrobiología de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I).

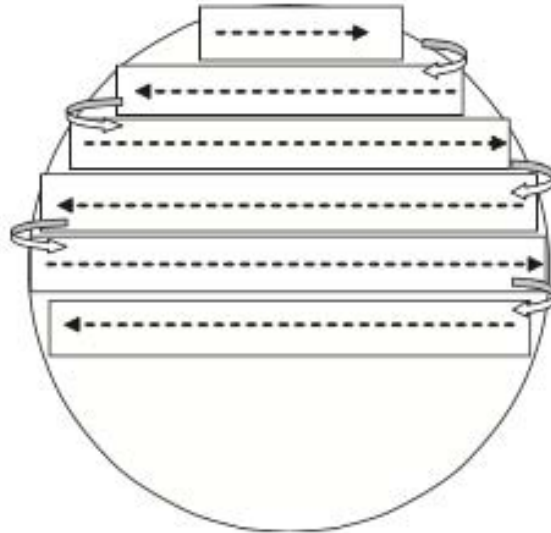


Figura 7. Disposición de los transectos en la cámara de sedimentación (Edlder y Elbrächter, 2010).

#### 8.2.5 Citometría de Flujo (CMF)

El análisis de *CMF* se llevó a cabo únicamente para la temporada de secas 2009, ya que no fue posible obtener muestra para las dos temporadas restantes. Los datos fueron tomados de Varona-Cordero *et al.*, (en revisión). Las muestras se colectaron en un tubo Eppendorf® y se fijaron con paraformaldehído al 10% adicionado con 10% de una solución salina de fosfato (PBS) neutralizado con 0.1 M de hidróxido de sodio (Marie *et al.*, 1997). Las muestras fueron almacenadas en nitrógeno líquido (-80° C) hasta su análisis en el laboratorio.

La tinción del ácido nucleico se llevó a cabo en dos alícuotas de 1 ml las cuales se incubaron con 0.5 µl de SYBR Green I durante 15 minutos a temperatura ambiente y en la obscuridad (Lebaron *et al.*, 1988). Las muestras se analizaron con una solución envolvente de PBS utilizando un citómetro de flujo FACSCalibur (Becton Dickson) con un láser de argón del Laboratorio de Citometría de Flujo del Departamento de Ciencias de la Salud de la DCBS, UAM-Iztapalapa.

Las poblaciones de picoplancton se discriminaron y contaron tomando en cuenta la dispersión de luz relacionada con el tamaño celular (SSC) y la fluorescencia verde (FL1). La normalización de los valores de dispersión de luz y emisión de fluorescencia se llevó a cabo por medio de perlas Polysciences de 1.002  $\mu\text{m}$  de diámetro. La identificación de las poblaciones se realizó con el software WinMDI 2.9 ([acs.scripps.edu/software.html](http://acs.scripps.edu/software.html)).

## 9. ANÁLISIS DE DATOS

### 9.1 Variables físico-químicas y pigmentos diagnósticos

#### 9.1.1 Porcentaje de saturación de oxígeno

Para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno (%SAT) se utilizó la siguiente ecuación (Libes, 2009) :

$$\%SAT = \frac{[O_2 \text{ in situ}]}{NAEC} * 100$$

Donde:

$[O_2 \text{ in situ}]$  = Oxígeno en  $\text{mg L}^{-1}$  medido con el CTD

$NAEC$  = Constante normal de equilibrio atmosférico en  $\text{mg l}^{-1}$ , la cual se obtuvo mediante las tablas propuestas por Benson y Krause (1984), dependiendo de la salinidad y temperatura (Anexos; Tabla 1) y ajustadas a la presión atmosférica (Anexos; Tabla 2).

### 9.1.2 Relación N:P

Para determinar si la comunidad fitoplanctónica se encontraba limitada por nutrientes se calculó el índice *N:P* (Redfield, 1958), mediante la determinación del cociente entre el NTD y FTD.

$$N:P = \frac{NTD}{FTD}$$

### 9.1.3 Estado Trófico

Se determinó el estado trófico de la laguna, utilizando el índice multivariado del estado trófico *TRIX* propuesto por Vollenweider *et al.* (1998).

$$TRIX = \frac{\text{Log}(Chl * aD\%O * NTD * PTD) - (-1.5)}{1.2}$$

Donde:

*Chl* = Concentración de clorofila *a* en mg m<sup>-3</sup>

*aD%O* = Valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, |100 - %*SAT* |

*NTD* = Nitrógeno Total Disuelto en mg m<sup>-3</sup>

*PTD* = Fósforo Total Disuelto en mg m<sup>-3</sup>

-1.5 y 1.2 son valores de escala para ajustar el valor más bajo del índice y la extensión de la escala trófica, que va de 0 a 10 unidades *TRIX*.

#### 9.1.4. Pigmentos diagnósticos

Para determinar si los pigmentos cuantificados por HPLC eran buenos estimadores de la biomasa aportada por los grupos fitoplanctónicos al sistema, se determinó la relación entre la concentración de clorofila *a* total (TChla) y los pigmentos diagnósticos (PD) de cada muestra, utilizando una regresión lineal simple (Vidussi *et al.*, 2001).

$$TChla = Chla + Dichla$$

$$PD = Chlc2 + Peri + 19'BF + Fuco + 19'HF + Prasi + Allox + Cantax + Chlb + \beta Carot$$

Donde:

*Chla* = Clorofila *a* mg m<sup>-3</sup>

*DivChla* = Divinil Clorofila *a* mg m<sup>-3</sup>

*Chlc2* = Clorofila *c2* mg m<sup>-3</sup>

*Peri* = Peridinina mg m<sup>-3</sup>

19'*BF* = 19'Butanohiloxy-Fucoxantina mg m<sup>-3</sup>

*Fuco* = Fucoxantina mg m<sup>-3</sup>

19'*HF* = 19'Hexanohiloxy-fucoxantina mg m<sup>-3</sup>

*Prasi* = Prasincoxantina mg m<sup>-3</sup>

*Allox* = Alloxantina mg m<sup>-3</sup>

*Cantax* = Cantaxantina mg m<sup>-3</sup>

*Chlb* = Clorofila *b* mg m<sup>-3</sup>

$\beta$ *Carot* =  $\beta$ -Caroteno mg m<sup>-3</sup>

### 9.1.5 Grupos fitoplanctónicos con base en HPLC

Para determinar los grupos fitoplanctónicos presentes en la laguna de Términos, se transformaron las concentraciones de los diferentes pigmentos a equivalentes de clorofila *a* (Cl  $\bar{a}$ ). Es importante considerar que existen grupos que comparten un mismo pigmento (Tabla 5). Por lo que se utilizaron las ecuaciones propuestas por Gaul y Antia (2001).

Tabla 5. Transformación de pigmentos accesorios a Cl  $\bar{a}$

<b>Taxa</b>	<b>Taxa-especifico equivalentes de clorofila <i>a</i></b>
Bacilariofitas	Cl $\bar{a}$ Baci = 1.8 ([Fuco] - 0.80 [19'BF] - 0.65 [19'HF])
Haptofitas	Cl $\bar{a}$ Hapto = 1.1 [19'HF]
Crisofitas	Cl $\bar{a}$ Criso = 2.4 ([19'BF] - 0.45 [19'HF])
Dinofitas	Cl $\bar{a}$ Dino = 2.3 [Peri]
Clorofitas	Cl $\bar{a}$ Cloro = 1.1 [Chl <i>b</i> ]
Cianofitas	Cl $\bar{a}$ Ciano = 2.5([Zeax] - 0.23 [Chl <i>b</i> ])
Proclorofitas	Cl $\bar{a}$ Procloro = 1.1[Div Chl <i>a</i> ]

## 9.2. Análisis estadísticos

### 9.2.1 Variación temporal

#### 9.2.1.1 Parámetros físico-químicos

Se realizó un análisis exploratorio de datos utilizando como medida de tendencia central a la mediana, ya que presenta una gran resistencia a los casos extraordinarios (Salgado-Ugarte, 1992) y se utilizó la distancia intercuartil como medida de dispersión.

Para decidir qué prueba estadística aplicar (paramétrica o no paramétrica), se llevaron a cabo las pruebas para determinar si los datos cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad.



Para determinar si existían diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las distintas temporadas anuales se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) o prueba de Kruskal-Wallis (no paramétrica), así como pruebas de comparaciones múltiples (Tukey-Kramer), para establecer las diferencias específicas.

#### 9.2.1.2 Feopigmentos

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal simple para determinar la relación existente entre los feopigmentos y la turbidez; este análisis permitió descartar que los pigmentos detectados hubiesen sido incorporados a la columna de agua por parte de otros productores primarios, como: pastos, marinos, macroalgas, manglares, etc.

### 9.2.2 Variación espacial

#### 9.2.2.1 Parámetros físico-químicos

Para dar un mejor panorama referente al comportamiento espacial de la laguna de Términos, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP), para determinar qué variables explican el mayor porcentaje de varianza de los datos y evitar la multicolinealidad de variables.

Con las variables que explicaron mayor porcentaje de varianza según el ACP, se construyó un dendograma para determinar la similitud entre estaciones, utilizando el método de Ward con ligamiento simple y la distancia euclidiana; el análisis fue validado mediante un nivel de corte al 75% y un análisis de discriminantes.

Finalmente, se elaboraron mapas en los cuales se agruparon las diferentes zonas de la laguna, establecidas mediante el análisis de clúster.

Los análisis se llevaron a cabo utilizando los paquetes estadísticos Statistica® 10.0 32-bit, NCSS PASS 2000, XLSTAT 2009 3.02.

#### 9.2.2.2 Pigmentos fitoplanctónicos

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal simple para determinar la relación entre los grupos fitoplanctónicos observados al microscopio y el CMF contra la concentración de los pigmentos, esto permitió establecer la relación entre la abundancia celular y los pigmentos marcadores.

Para modelar la distribución espacial de los grupos fitoplanctónicos como equivalentes de clorofila *a* se utilizó el Software Map. Camelia 3.0.

#### 9.2.3 Ambiente y grupos fitoplanctónicos

Para determinar la influencia de la matriz ambiental sobre los grupos fitoplanctónicos, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), con las variables extraídas del ACP, utilizando el software XLSTAT 2009 3.02.

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Pigmentos por HPLC

A partir del método utilizado en el análisis de las muestras por HPLC (Vidussi *et al.*, 1996), se pudo lograr la separación, identificación y cuantificación de diez pigmentos marcadores los cuales fueron: clorofila *c*2, peridina, 19'butanohiloxy-fucoxantina, fucoxantina, 19'hexanohiloxy-fucoxantina, zeaxantina, clorofila *b*, divinil clorofila *a*, clorofila *a* y  $\beta$ -caroteno. En las figuras 8 y 9 se muestran algunos cromatogramas de las muestras analizadas por HPLC y en la tabla 6 se reportan los tiempos de retención de cada pigmento y el área bajo la curva del mismo.

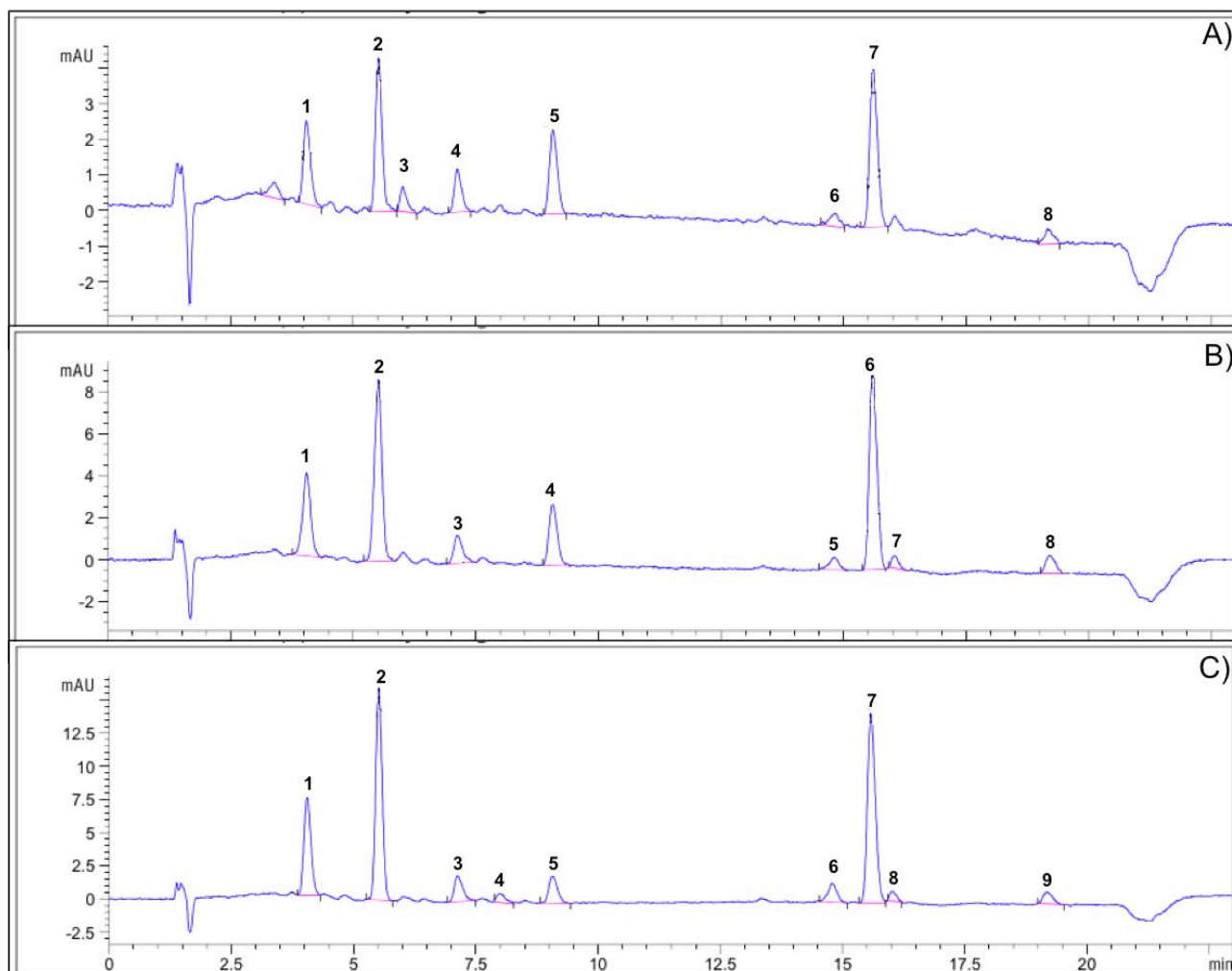


Figura 8. Cromatogramas correspondientes a las estaciones: T17 T Nov09 (A), T35 T Nov09 (B) y T04 T Nov 09 (C).

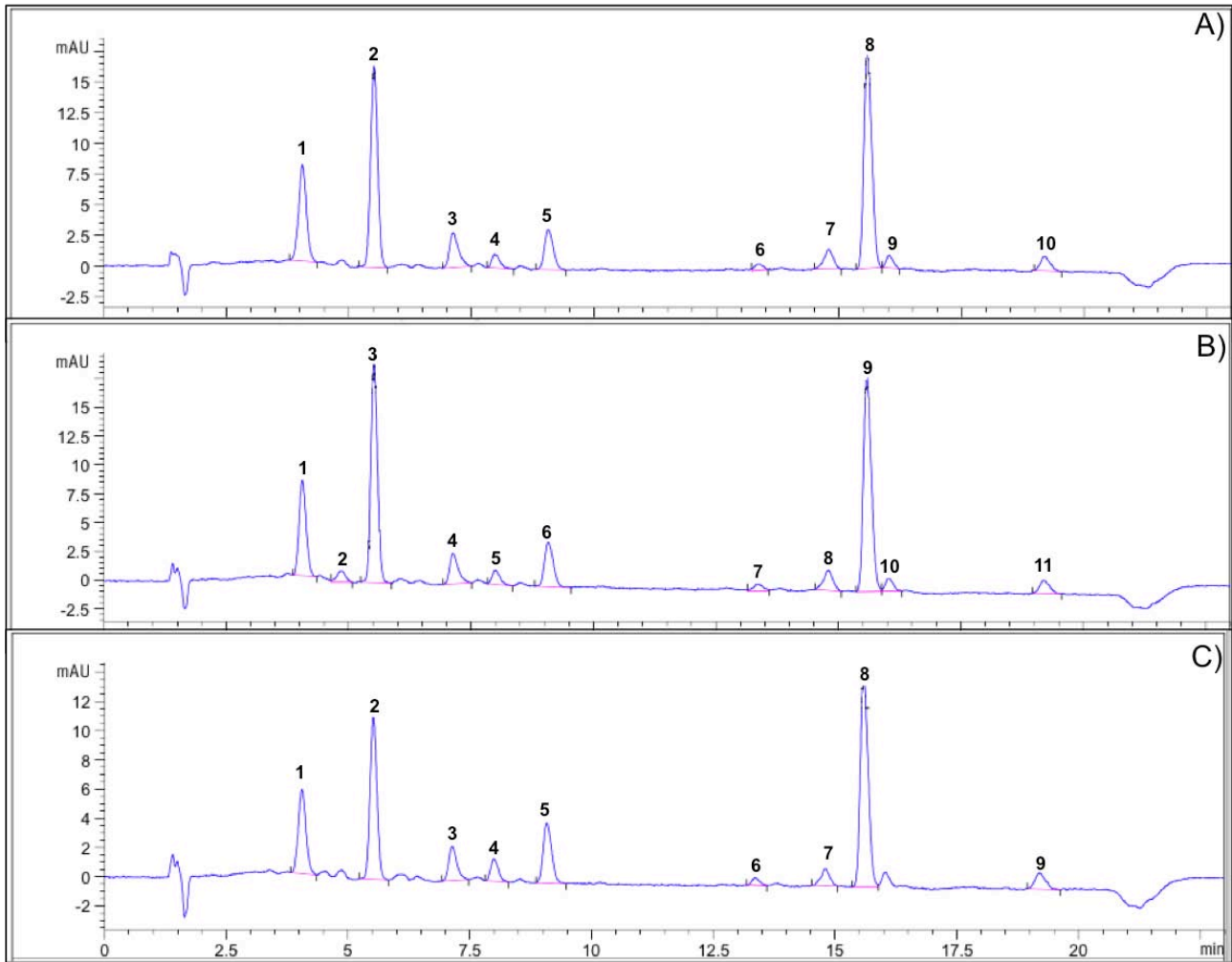


Figura 9. Cromatogramas correspondientes a las estaciones: T06 T Nov09 (A), T07 T Nov09 (B) y T05 T Nov 09 (C).

Tabla 6. Pigmentos y tiempo de retención en los cromatogramas. **N/I**= Pigmento no identificado.

T17 T Nov 09 (Fig.8A)			T35 T Nov 09 (Fig.8A)			T04 T Nov 09 (Fig.8.C)			T06 T Nov 09 (Fig.9A)			T07 T Nov 09 (Fig.9B)			T05 T Nov 09 (Fig.9C)		
Pico	Tiempo de Retención	Pigmento	Pico	Tiempo de Retención	Pigmento	Pico	Tiempo de Retención	Pigmento	Pico	Tiempo de Retención	Pigmento	Pico	Tiempo de Retención	Pigmento	Pico	Tiempo de Retención	Pigmento
1	4.046	Chl C2	1	4.051	Chl C2	1	4.053	Chl C2	1	4.054	Chl C2	1	4.056	Chl C2	1	5.055	Chl C2
2	5.515	Fuco	2	5.513	Fuco	2	5.546	Fuco	2	5.516	Fuco	2	4.853	Peri	2	5.520	Fuco
3	6.01	N/I	3	7.124	19-HF'	3	7.123	19-HF'	3	7.128	19-HF'	3	5.570	Fuco	3	7.138	19-HF'
4	7.124	N/I	4	9.067	Zeax	4	8.013	N/I	4	7.971	N/I	4	7.129	19-HF'	4	7.995	N/I
5	9.070	Zeax	5	14.796	Div Chl a	5	9.023	Zeax	5	9.066	Zeax	5	7.997	N/I	5	9.083	Zeax
6	14.827	Div Chl a	6	15.589	Chl a	6	14.786	Div Chl a	6	13.337	Chl b	6	9.077	Zeax	6	13.367	Chl b
7	15.559	Chl a	7	16.047	N/I	7	15.580	Chl a	7	14.780	Div Chl a	7	13.360	Chl b	7	14.799	Div Chl a
8	19.159	$\beta$ -Carot	8	19.200	$\beta$ -Carot	8	16.027	N/I	8	15.572	Chl a	8	14.790	Div Chl a	8	15.586	Chl a
-	-	-	-	-	-	9	19.187	$\beta$ -Carot	9	16.017	N/I	9	15.579	Chl a	9	19.202	$\beta$ -Carot
-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	19.197	$\beta$ -Carot	10	16.022	N/I	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	19.190	$\beta$ -Carot	-	-	-

## 10.2 Citometría de Flujo (CMF)

El análisis de *CMF* para la temporada de secas determinó la presencia de tres poblaciones (Fig. 10), a través de la comparación del tamaño (SSC) y las fluorescencias roja (FL3) y naranja (FL2). Las tres poblaciones que se determinaron por *CMF* fueron: *Synechococcus* sp., *Prochlorochoccus* sp. y una población de pico eucariontes.

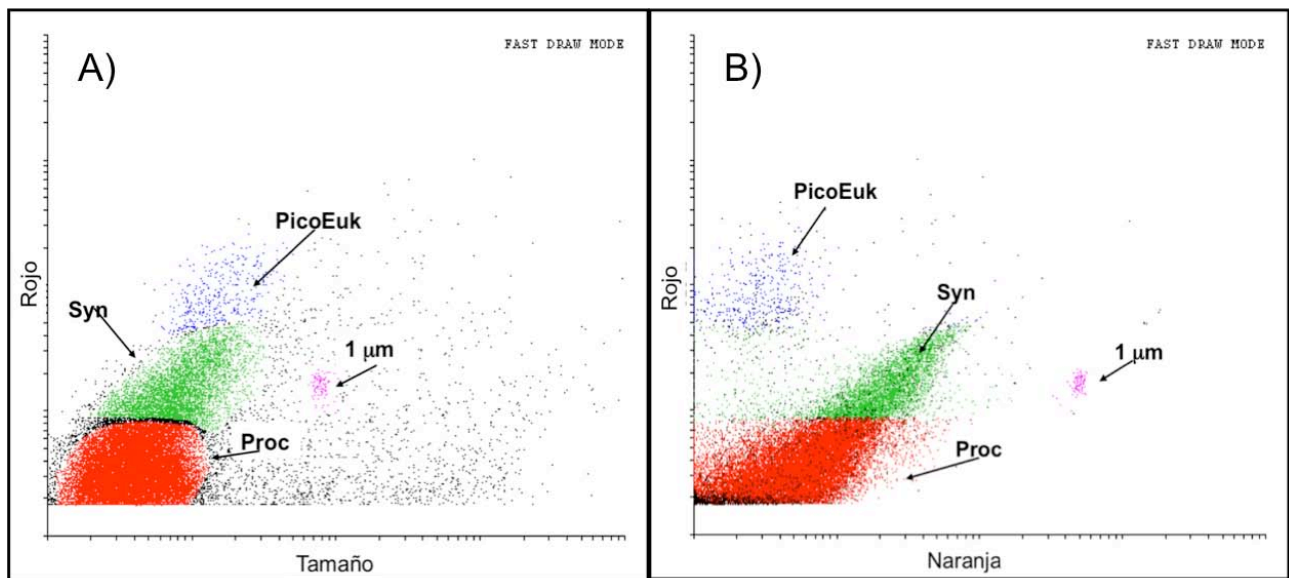


Figura 10. Citogramas de la estación 22, FL3 contra SSC (A) y FL3 contra FL2 (B).

## 10.3 Variación temporal

### 10.3.1 Parámetros físico-químicos

Durante la temporada de lluvias se registró la temperatura media más alta (30.33 °C) seguida de la temporada de nortes (26.32 °C) y posteriormente la temporada de secas (26.29 °C). La salinidad presentó valores promedio de 31.33, 34.58 y 28.83 UPS para secas, lluvias y nortes respectivamente, evidenciando la predominancia de condiciones marinas durante todas las temporadas de muestreo. Las menores salinidades de todo el estudio (8.12 y 8.63 UPS), se presentaron en las zonas de influencia epicontinental.

El oxígeno disuelto registró su concentración media más alta durante la temporada de nortes (6.66 mg l<sup>-1</sup>), seguida de la temporada de secas (6.08 mg l<sup>-1</sup>) y la temporada de lluvias (5.78 mg l<sup>-1</sup>). Por su parte, los valores medios más altos de turbidez se presentaron durante la temporada de secas (13.06 UNT), seguida por las temporadas de nortes y lluvias (8.12 y 7.57 UNT) ([Tabla 7](#)).

En el caso de los nutrientes el amonio presentó su mayor concentración en la temporada de lluvias (0.56 µM), seguida de la temporada de nortes y secas (0.23 µM y 0.11 µM respectivamente). En el caso de los nitratos la concentración promedio más baja fue de 0.17 µM durante la temporada de lluvias, seguida de la temporada de secas (0.31 µM) y nortes (0.35 µM). Los ortofosfatos y los silicatos registraron su mayor concentración promedio durante la temporada de lluvias (0.13 y 80.54 µM respectivamente); en la temporada de secas las concentraciones medias de ortofosfatos fueron 0.11 µM y 80.24 de silicatos: Finalmente en nortes las concentraciones medias de ortofosfatos y silicatos fueron 0.07 µM y 53.6 µM, respectivamente ([Tabla 7](#)).

El nitrógeno total disuelto y el nitrógeno orgánico disuelto tuvieron concentraciones medias similares durante la temporada de secas (11.40 y 10.98 µM), la temporada de lluvias (15.98 y 15.43 µM) y la temporada de nortes (14.68 y 14.10 µM). Al igual que el NTD y NOD, las concentraciones de FTD y FOD presentaron concentraciones medias similares entre sí con las mayores en lluvias (1.02 y 0.89 µM) y las menores en secas (0.57 y 0.45 µM) ([Tabla 7](#)).

Tabla 7. Resumen estadístico de cada uno de los parámetros físico-químicos medidos durante las temporadas de muestreo.

Parámetro	Secas					Lluvias					Nortes				
	N	Media	Min	Max	DE	N	Media	Min	Max	DE	N	Media	Min	Max	DE
Temperatura	36	26.29	25.41	28.28	0.61	17	30.33	28.86	31.00	0.47	34	26.320	25.368	27.598	0.525
Oxígeno	36	6.08	5.62	6.74	0.24	17	5.78	4.72	6.70	0.53	34	6.655	5.916	8.086	0.464
Turbidez	36	13.06	4.34	24.09	6.65	17	7.57	3.09	16.92	4.15	34	8.118	1.604	24.069	6.473
Salinidad	36	31.33	8.73	38.51	5.96	17	34.58	31.51	37.19	1.59	34	28.836	13.250	35.022	4.184
NH <sub>4</sub>	36	0.11	0.01	1.20	0.23	9	0.56	0.06	3.74	1.22	34	0.229	0.062	1.352	0.256
NO <sub>3</sub>	36	0.31	0.00	8.77	1.46	17	0.17	0.00	1.35	0.37	34	0.349	0.002	3.706	0.875
PO <sub>4</sub>	36	0.11	0.04	0.22	0.05	17	0.13	0.04	0.21	0.04	34	0.066	0.031	0.152	0.027
SiO <sub>2</sub>	36	80.24	3.35	148.74	184.48	17	80.54	11.96	149.33	35.28	34	53.358	4.428	119.499	19.050
NTD	36	11.40	7.64	16.18	1.82	17	15.89	7.81	22.05	3.94	34	14.676	9.307	25.786	3.000
NOD	36	10.98	3.67	16.16	2.25	17	15.43	5.43	21.96	4.68	34	14.098	8.464	20.729	2.738
FTD	36	0.57	0.13	0.79	0.14	17	1.02	0.77	1.20	0.12	34	0.620	0.412	1.093	0.127
FOD	36	0.45	0.00	0.63	0.14	17	0.89	0.61	1.06	0.11	34	0.555	0.360	1.022	0.122

N= Tamaño de muestra, DE= Desviación estándar.

De los doce parámetros físico-químicos evaluados, once de ellos presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), con excepción de los nitratos (ANDEVA  $F_{2, 77} = 182.33$   $p = 0.98$ ).

De acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples Tukey-Kramer, la época de lluvias resultó ser distinta del resto de las temporadas por la temperatura, concentración de silicatos y fósforo total disuelto. La temperatura (ANDEVA  $F_{2, 77} = 182.33$   $p < 0.05$ ) más alta ( $30.47^{\circ}\text{C}$ ) se registró durante la temporada de lluvias y la más baja ( $26.25^{\circ}\text{C}$ ) durante la época de nortes (Fig. 11A).

La concentración de silicatos (ANDEVA  $F_{2, 77} = 8.64$   $p = 0.0003$ ) fue significativamente más alta ( $85.86 \mu\text{M}$ ) durante la temporada de lluvias y el resto de las temporadas no presentaron diferencias significativas entre sí ( $47.29$  en secas y  $52.61 \mu\text{M}$  para nortes; Fig. 13A). Al igual que la temperatura y la concentración de silicatos, el PTD presentó su mayor concentración ( $1.04 \mu\text{M}$ ) durante la época de lluvias (ANDEVA  $F_{2, 77} = 39.77$   $p < 0.05$ ) y las temporadas de secas y nortes no presentaron diferencias significativas entre ellas ( $0.58$  y  $0.58 \mu\text{M}$  respectivamente; Fig. 13B).

La concentración de oxígeno disuelto, la salinidad y la concentración de FOD, presentaron diferencias significativas entre las tres temporadas (Tukey-Kramer), ya

que el oxígeno disuelto (ANDEVA  $F_{2, 77} = 22.78$   $p < 0.05$ ) tuvo la concentración más baja durante las lluvias ( $5.76 \text{ mg l}^{-1}$ ) y la mayor en nortes ( $6.63 \text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que en la temporada de secas fue de  $6.03 \text{ mg l}^{-1}$  (Fig. 11D). La mayor salinidad (ANDEVA  $F_{2, 77} = 5.97$   $p = 0.0038$ ) se presentó en la época de lluvias ( $34.62 \text{ UPS}$ ) y significativamente más baja, en la temporada de nortes ( $29.78 \text{ UPS}$ ), para la temporada de secas la salinidad fue de  $32.72 \text{ UPS}$  (Fig. 11B). Al igual que la salinidad, la concentración de FOD (ANDEVA  $F_{2, 77} = 38.88$   $p < 0.05$ ) fue significativamente mayor en lluvias con una concentración de  $0.09 \text{ }\mu\text{M}$  y con  $0.49$  y  $0.05 \text{ }\mu\text{M}$  durante secas y nortes respectivamente en (Fig. 13C).

En el caso de la turbidez, el NTD y el NOD, la temporada de secas es la que presenta diferencias significativas con respecto a las dos épocas restantes (Tukey-Kramer). La turbidez en lluvias (ANDEVA  $F_{2, 77} = 5.50$   $p = 0.005$ ) fue significativamente mayor ( $11.15 \text{ NTU}$ ) en comparación con secas y nortes (Fig. 11C). El NTD (ANDEVA  $F_{2, 77} = 13.25$   $p < 0.05$ ) y el NOD (ANDEVA  $F_{2, 77} = 9.97$   $p = 0.001$ ) presentaron tendencias similares, con concentraciones de  $16.26$  y  $16.20 \text{ }\mu\text{M}$  respectivamente, las cuales fueron las más altas durante al época de secas; las temporadas de nortes y lluvias tuvieron concentraciones significativamente más bajas que en la época de secas (Fig. 12C y D).

La concentración de amonio sólo presentó diferencias entre las temporadas de secas ( $0.035 \text{ }\mu\text{M}$ ) y lluvias ( $0.077 \text{ }\mu\text{M}$ ), (ANDEVA  $F_{2, 77} = 3.59$   $p = 0.032$ ), siendo esta última temporada en la que se registró la mayor concentración (Fig. 12A). Para el caso de los ortofosfatos, la época de nortes es distinta del resto de las temporadas (ANDEVA  $F_{2, 77} = 14.65$   $p < 0.05$ ) con una concentración de ortofosfatos de  $0.061 \text{ }\mu\text{M}$ , la cual es la menor concentración registrada durante el periodo de estudio (Fig. 12B).



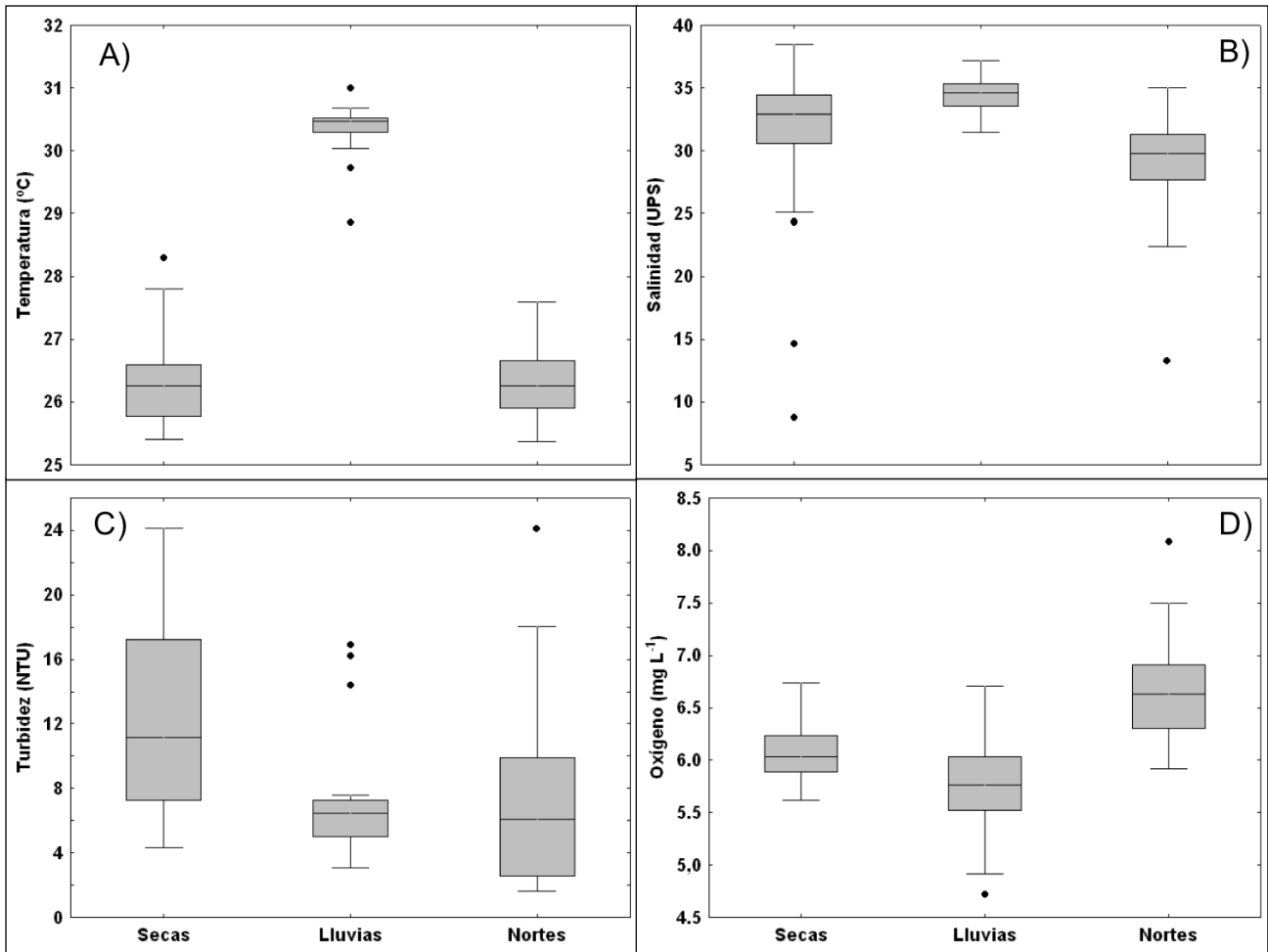


Figura 11. Temperatura (A), salinidad (B), turbidez (C) y oxígeno disuelto (D), en la laguna de Términos durante las tres temporadas del año 2009. La caja representa la mediana y la dispersión de los datos, los bigotes son el límite de las cotas internas, los casos extraordinarios están representados con un punto y los casos extremos con un triángulo.

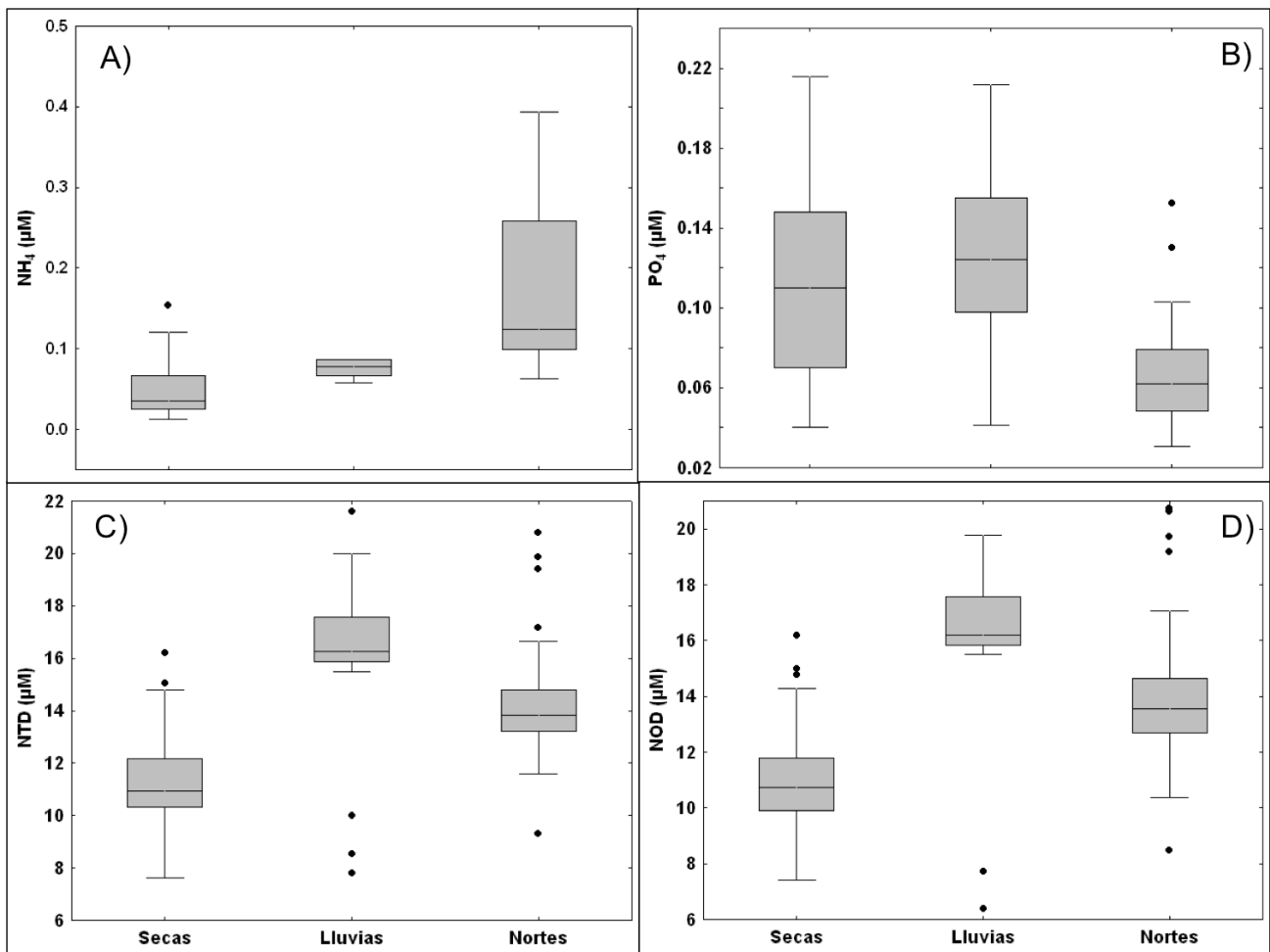


Figura 12. Concentración de amonio (A), ortofosfatos (B), nitrógeno total disuelto (C) y nitrógeno orgánico disuelto (D), en la laguna de Términos durante las tres del año 2009.

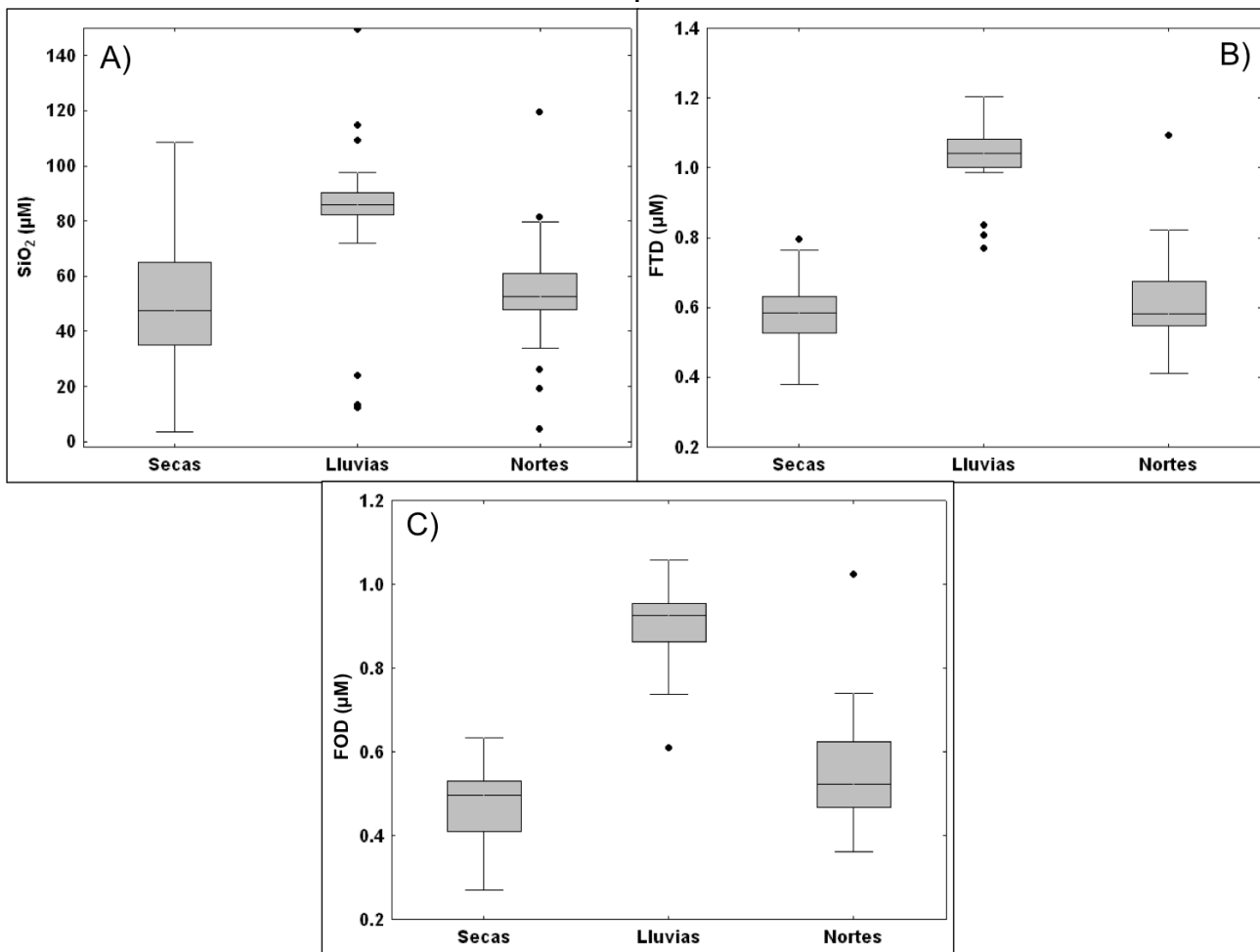


Figura 13. Concentración de silicatos (A), fósforo total disuelto (B) y fósforo orgánico disuelto (C), en la laguna de Términos durante las tres temporadas del año 2009.

### 10.3.2 Estado Tráfico y relación N:P

Los valores del índice tráfico multivariado (TRIX), de la laguna de Términos fueron menores a cuatro unidades TRIX (Fig. 14), lo cual indica que tiene un estado tráfico bajo, es decir, que las aguas tienden a ser transparentes y con una baja productividad durante todo el periodo de muestreo.

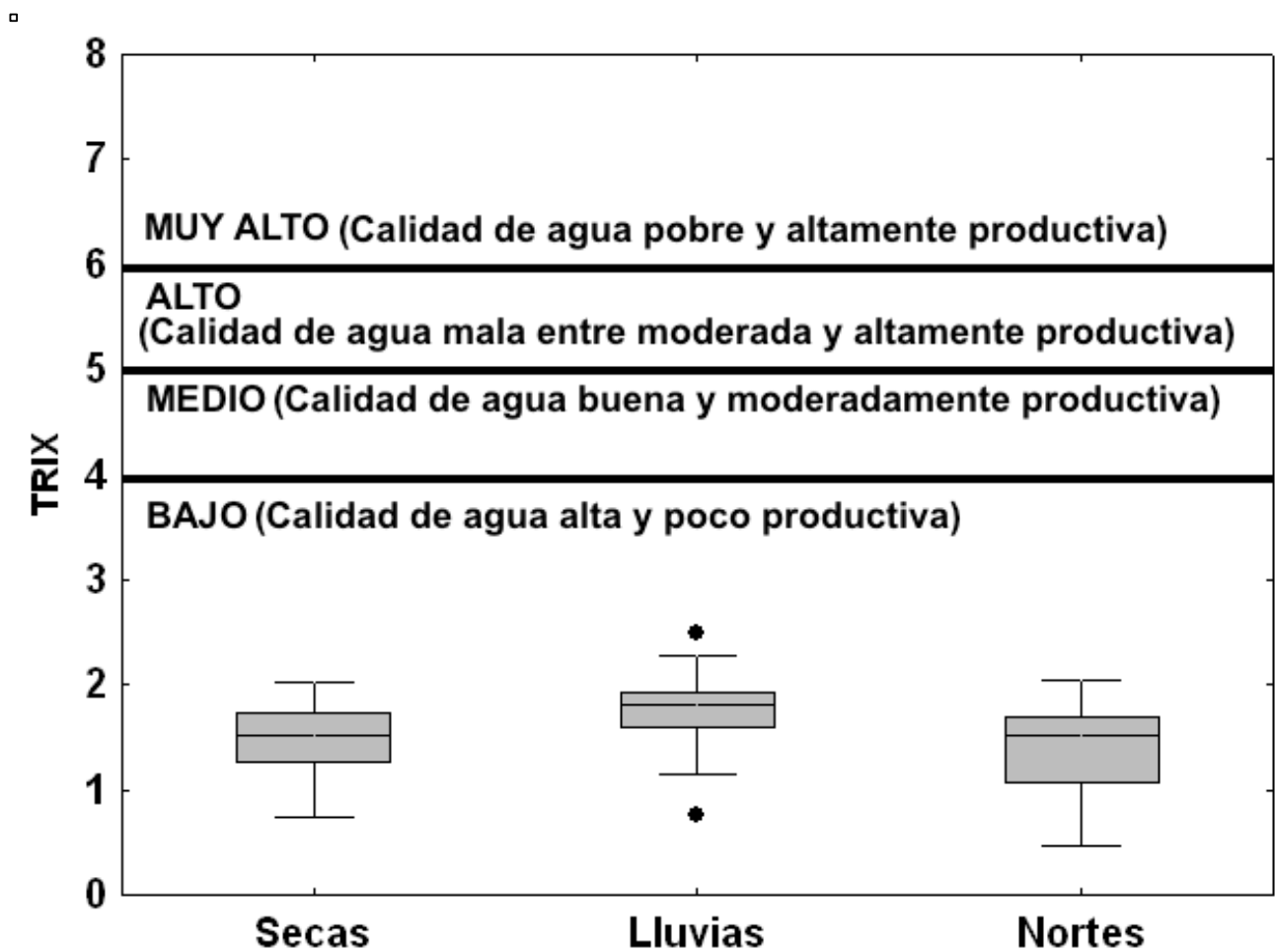


Figura 14. Resultados del índice TRIX para las distintas temporadas anuales en la laguna de Términos.

Se llevó a cabo el cálculo de la proporción de N:P 16:1 (Redfield, 1958), para determinar si el sistema se encontraba limitado por alguna forma nutritiva (N o P). Los resultados indicaron que la comunidad fitoplanctónica de la laguna de Términos se encontró aparentemente limitada nitrógeno (N:P <16:1) durante las tres temporadas analizadas, sin embargo existen estaciones que se encontraron limitadas por fósforo, correspondientes a las ubicadas cerca de las desembocaduras de los ríos (Fig.15).

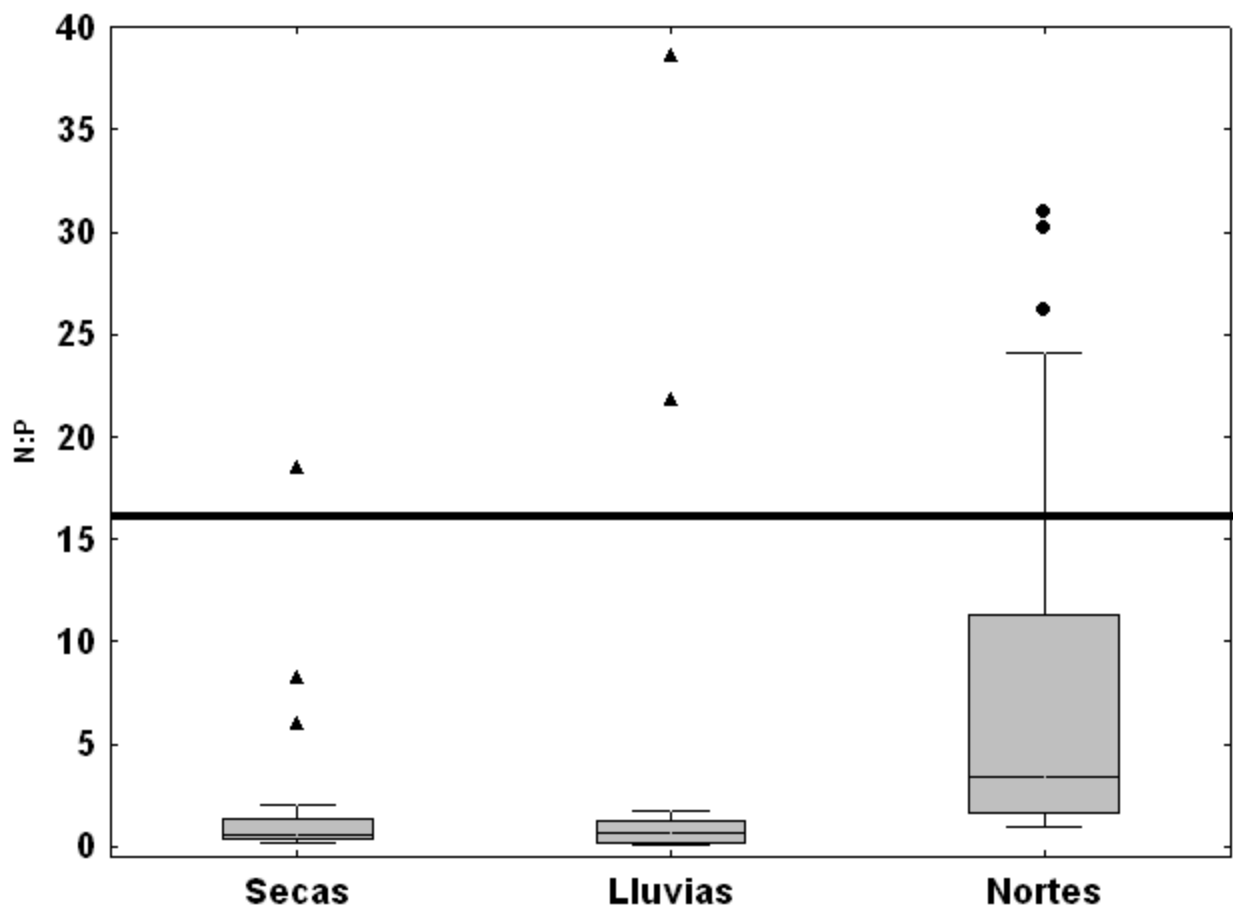


Figura 15. Relación N:P durante las distintas épocas anuales en la laguna de Términos.

### 10.3.3 Clorofila a por fracciones de tamaño

En la laguna de Términos concentración de clorofila *a* (ANDEVA  $F_{2, 77} = 3.70$   $p=0.029$ ) presentó diferencias significativas entre la temporada de secas y la de nortes. Así mismo, la concentración de clorofila *a* aportada por el microfitoplancton, fue distinta en las tres temporadas (Fig. 16), durante la temporada de secas contribuyó con un 20.7 % ( $0.44 \text{ mg m}^{-3}$ ), 31.1 % en la temporada de lluvias ( $0.68 \text{ mg m}^{-3}$ ) y durante los nortes fue de 34.5 % ( $1.26 \text{ mg m}^{-3}$ ).

La fracción nano+picofitoplanctónica tuvo un mayor aporte al total de la biomasa en relación a la fracción microfitoplanctónica (Fig.16), con un valor de 79.27 % ( $2.03 \text{ mg m}^{-3}$ ) en secas, 67.87 % ( $1.88 \text{ mg m}^{-3}$ ) en lluvias y 65.45 % ( $1.82 \text{ mg m}^{-3}$ ).en nortes.

En promedio, a lo largo del ciclo anual las fracciones fitoplanctónicas de tamaño nano y pico, aportaron el 70.45 % de biomasa al sistema, en comparación la fracción microfitoplanctónica, la cual sólo aportó un 29.54 %.

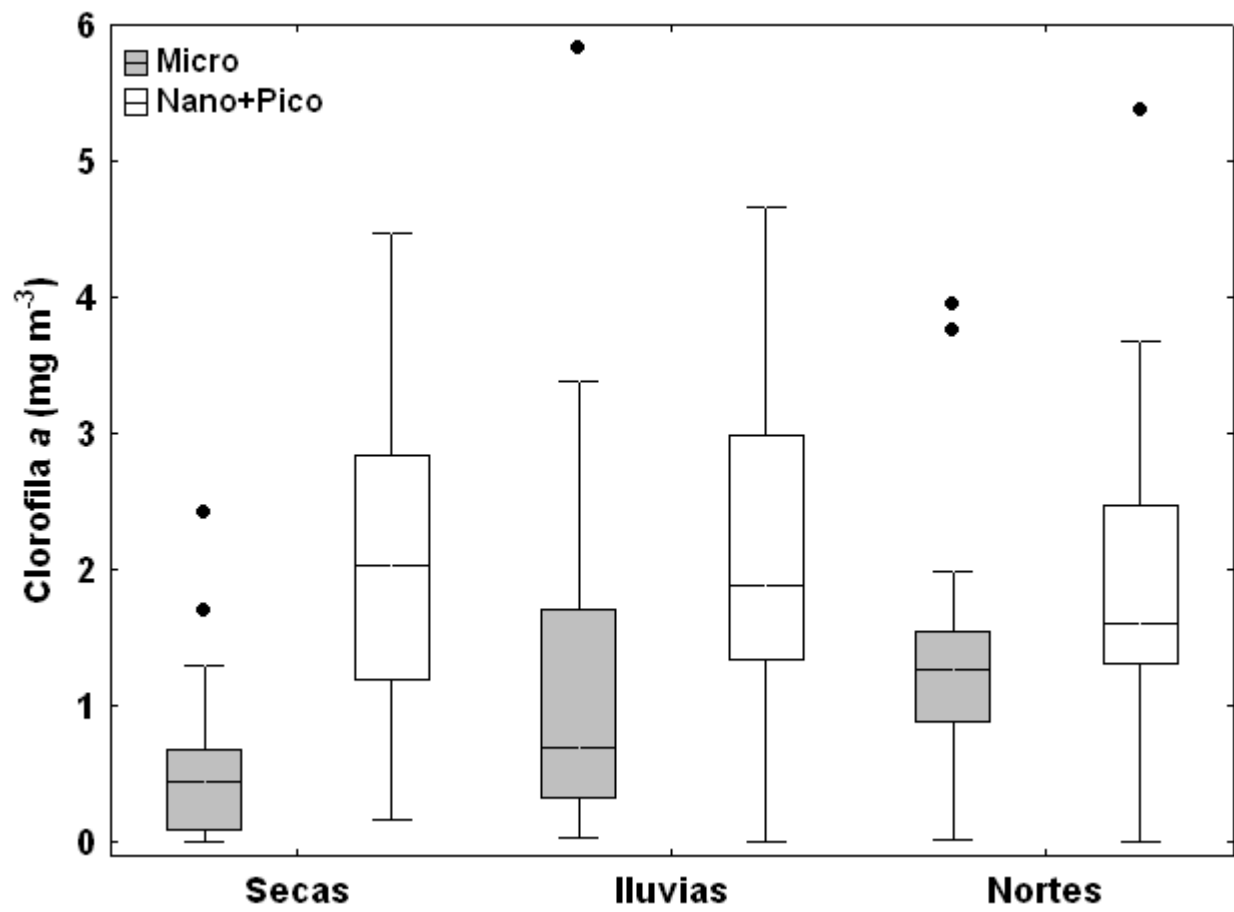


Figura 16. Concentración de clorofila a por fracciones de tamaño, en cada temporada de muestreo.

### 10.3.4 Turbidez y Feopigmentos

El análisis de regresión lineal simple entre la turbidez y los feopigmentos, determinó que no existió una relación entre estas dos variables, ya que los valores de  $R^2$  resultaron bajos, las regresiones no fueron significativas ( $p > 0.05$ ) y que se siguió el modelo adecuado (Anexos Fig. 1) en las tres temporadas (Fig. 17A, B y C).

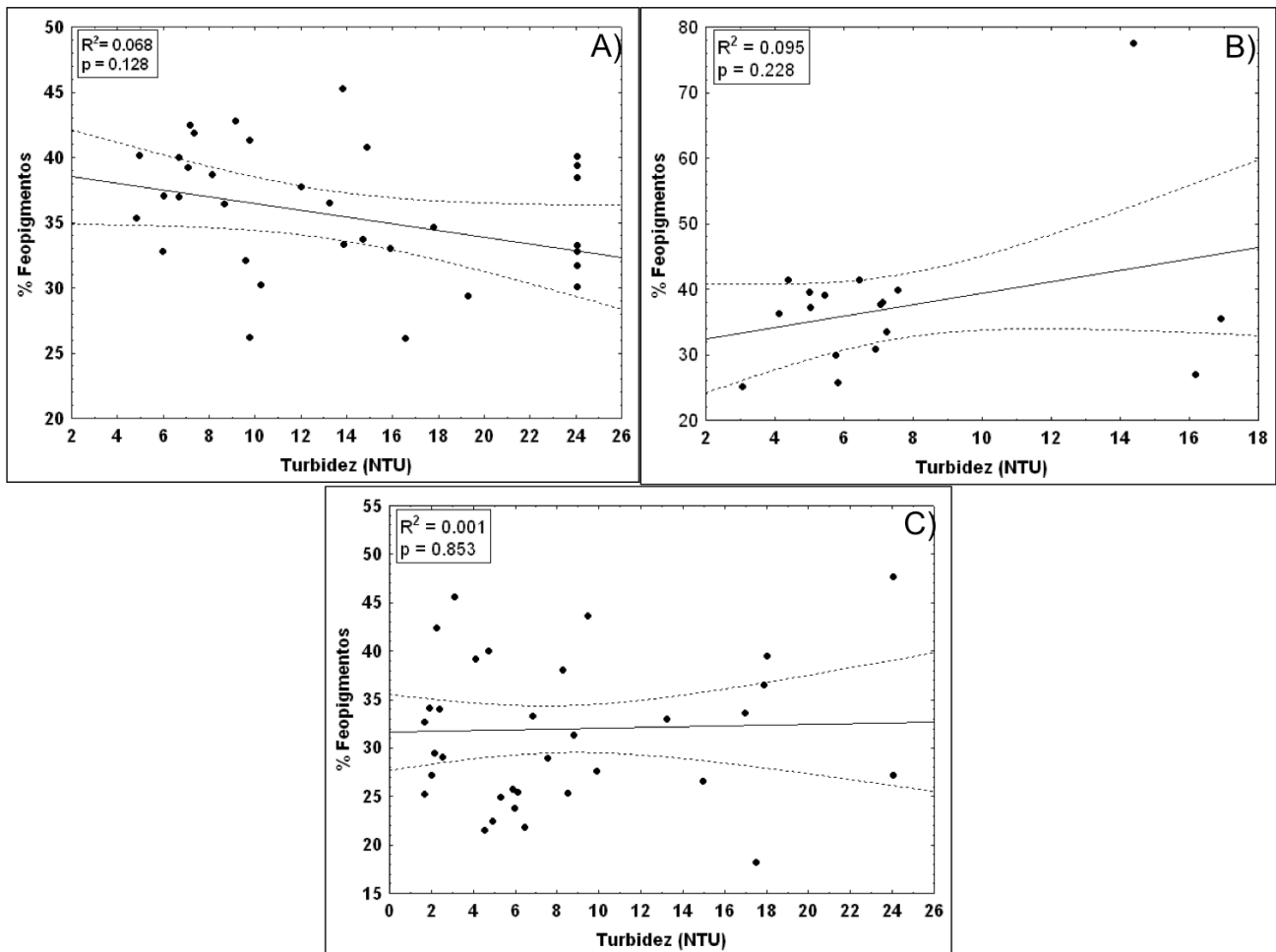


Figura 17. Análisis de regresión lineal simple entre la turbidez y los feopigmentos, durante la temporada de secas (A), lluvias (B) y nortes (C).



### 10.3.5 Pigmentos diagnósticos

De acuerdo con el modelo de regresión lineal simple (Fig. 2; Anexos), la relación entre el total de clorofila *a* y los pigmentos diagnósticos, sugiere que los pigmentos accesorios evaluados durante el periodo de muestreo, se relacionan estrechamente con el total de clorofila *a*, es decir, los pigmentos accesorios determinados por HPLC resultaron buenos estimadores de la biomasa aportada por los distintos grupos fitoplanctónicos al total de la biomasa en la laguna de Términos (Fig. 18).

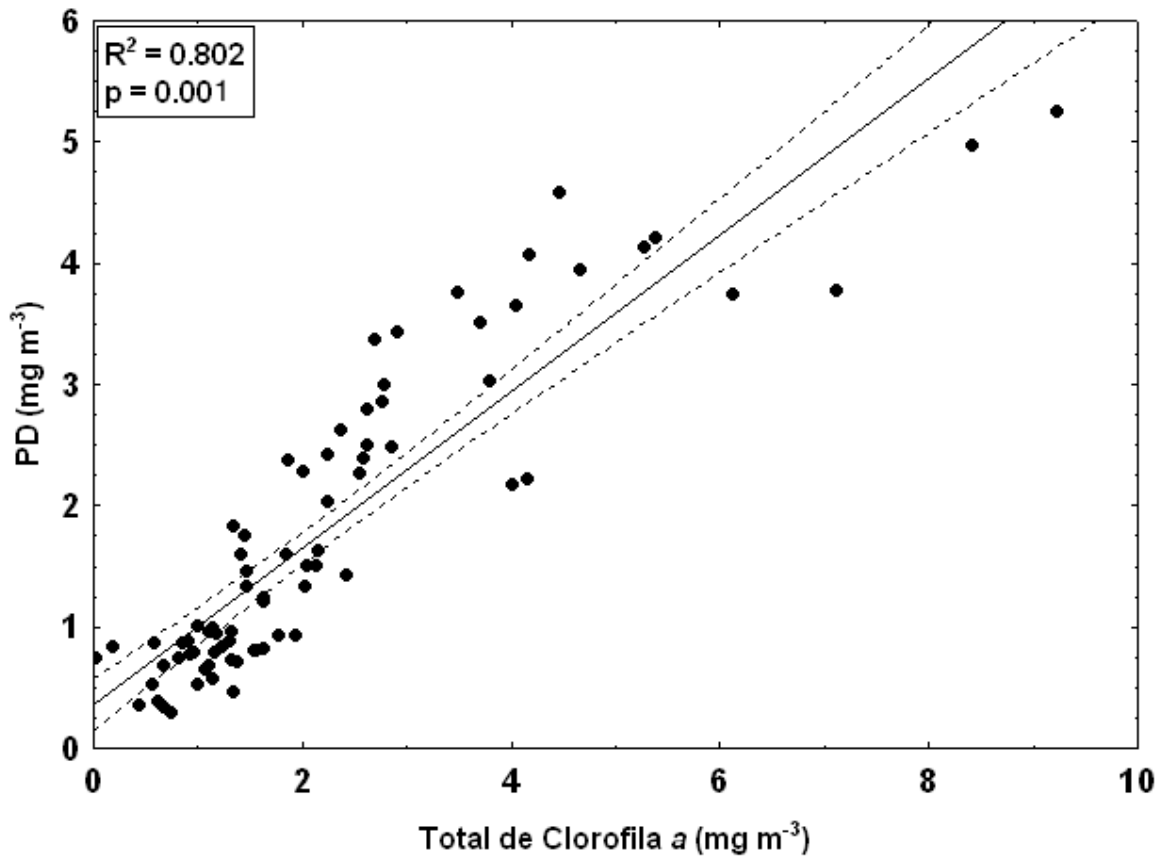


Figura 18. Relación entre la clorofila *a* total y los pigmentos diagnósticos.

### 10.3.6 Grupos fitoplanctónicos por fracciones de tamaño

A partir del análisis de HPLC y la aplicación de las ecuaciones propuestas por **Gaul y Antia (2001)**, se determinó la presencia de cuatro grupos fitoplanctónicos: bacilariofitas, clorofitas, cianofitas y proclorofitas, los cuales presentaron variaciones en cuanto a biomasa y presencia a lo largo del año dependiendo de la clase de tamaño (microfitoplancton o nano+picofitoplancton). En el caso de las dinofitas, sólo se detectó la presencia del pigmento marcador de este grupo fitoplanctónico (peridinina) en una estación, por lo tanto no se pudo realizar el cálculo del aporte de los equivalentes de clorofila *a* (Cl  $\bar{a}$ ) para este grupo.

#### 10.3.6.1 Temporada de secas

Para el caso de la fracción microfitoplanctónica, las cianofitas son el grupo dominante con un aporte promedio de 0.48 Cl  $\bar{a}$ , seguidas de las bacilariofitas (0.17 Cl  $\bar{a}$ ) y finalmente las clorofitas (0.15 Cl  $\bar{a}$ ; **Fig. 19A**).

En la fracción nano+picofitoplanctónica, se apreció una tendencia similar a la de la fracción micro, con una dominancia por parte del grupo de las cianofitas (3.90 Cl  $\bar{a}$ ), seguidas por las bacilariofitas (0.60 Cl  $\bar{a}$ ) y las proclorofitas con un promedio de 0.34 Cl  $\bar{a}$  (**Fig. 19B**). En esta fracción de tamaño no se detectó la presencia de clorofitas.

### 10.3.6.2 Temporada de Lluvias

Durante la época de lluvias en la fracción microfitoplanctónica se presentó un patrón similar al de secas, en donde las cianofitas fueron el grupo dominante con 1.06 Cl  $\bar{a}$ , seguidas del grupo de las bacilariofitas (0.17 Cl  $\bar{a}$ ) y finalmente las clorofitas (0.30 Cl  $\bar{a}$ ), fueron el grupo menos representativo en esta fracción (Fig. 19C).

La fracción nano+picofitoplanctónica siguió un patrón similar al descrito durante la época de secas, con el grupo de cianofitas como dominante (3.29 Cl  $\bar{a}$ ), posteriormente las bacilariofitas (0.38 Cl  $\bar{a}$ ) y al igual que en secas, las clorofitas no se encuentran representadas en esta fracción, en cambio las proclorofitas adquieren importancia, con 0.22 Cl  $\bar{a}$  (Fig. 19D).

### 10.3.6.3 Temporada de Nortes

Para el caso de la temporada de nortes la dinámica de los grupos fitoplanctónicos fue distinta al las otras dos temporadas, ya que en la fracción microfitoplanctónica las bacilariofitas tomaron el lugar de las cianofitas como el grupo dominante con 0.70 Cl  $\bar{a}$ ; las cianofitas ocuparon el segundo lugar (0.37 Cl  $\bar{a}$ ) y de nueva cuenta las clorofitas fueron el grupo menos representado en esta fracción de tamaño con 0.34 Cl  $\bar{a}$  (Fig. 19E).

En la clase de tamaño nano+picofitoplanctónica, las cianofitas volvieron a ocupar el primer lugar (1.29 Cl  $\bar{a}$ ), seguidas por las bacilariofitas (0.88 Cl  $\bar{a}$ ), teniendo un aporte mayor durante nortes, en comparación con secas y lluvias; finalmente las proclorofitas estuvieron presentes (0.28 Cl  $\bar{a}$ ) y al igual que las bacilariofitas, tuvieron un mayor aporte en esta temporada (Fig. 19F).

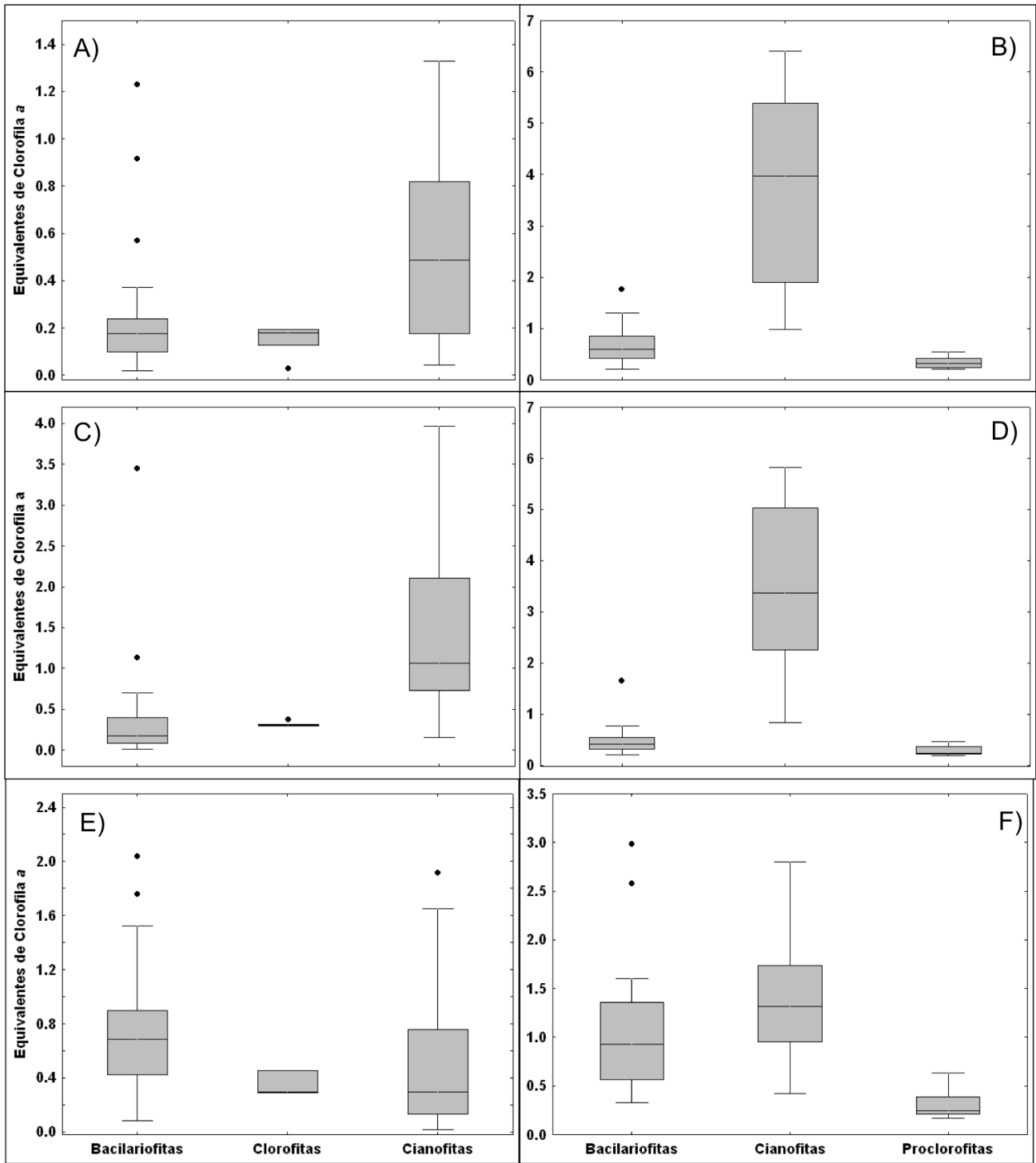


Figura 19. Equivalentes de clorofila a aportados a la fracción micro, en secas (A), lluvias (C) y nortes (E) y equivalentes de clorofila a aportados a la fracción nano+pico en secas (B), lluvias (D) y nortes (F), estimados mediante HPLC.

## 10.4 Variación espacial

### 10.4.1 Parámetros físico-químicos

A partir del análisis de componentes principales, se determinó que para la temporada de secas, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, el nitrógeno total disuelto, el nitrógeno orgánico disuelto, el fósforo total disuelto y fosforo orgánico disuelto fueron los parámetros más importantes, los cuales explicaron un 55.88 % del total de la varianza de los datos dentro de los dos primeros factores (Fig. 20A).

Durante la temporada de lluvias, la temperatura, el oxígeno disuelto, la turbidez, la salinidad, los ortofosfatos, los silicatos, el nitrógeno total disuelto, el nitrógeno orgánico disuelto, el fósforo total disuelto, la concentración de clorofila *a* y los feopigmentos fueron las variables principales, las cuales explicaron un 82.39% en los primeros dos factores (Fig. 20B).

Finalmente en la época de nortes las variables más importantes y que explicaron un 51.49% del total de la varianza dentro de los primeros dos factores, fueron: la turbidez, la salinidad, los nitratos, el nitrógeno orgánico disuelto, el fósforo total disuelto, el fósforo orgánico disuelto, la clorofila *a* y los feopigmentos (Fig. 20C).

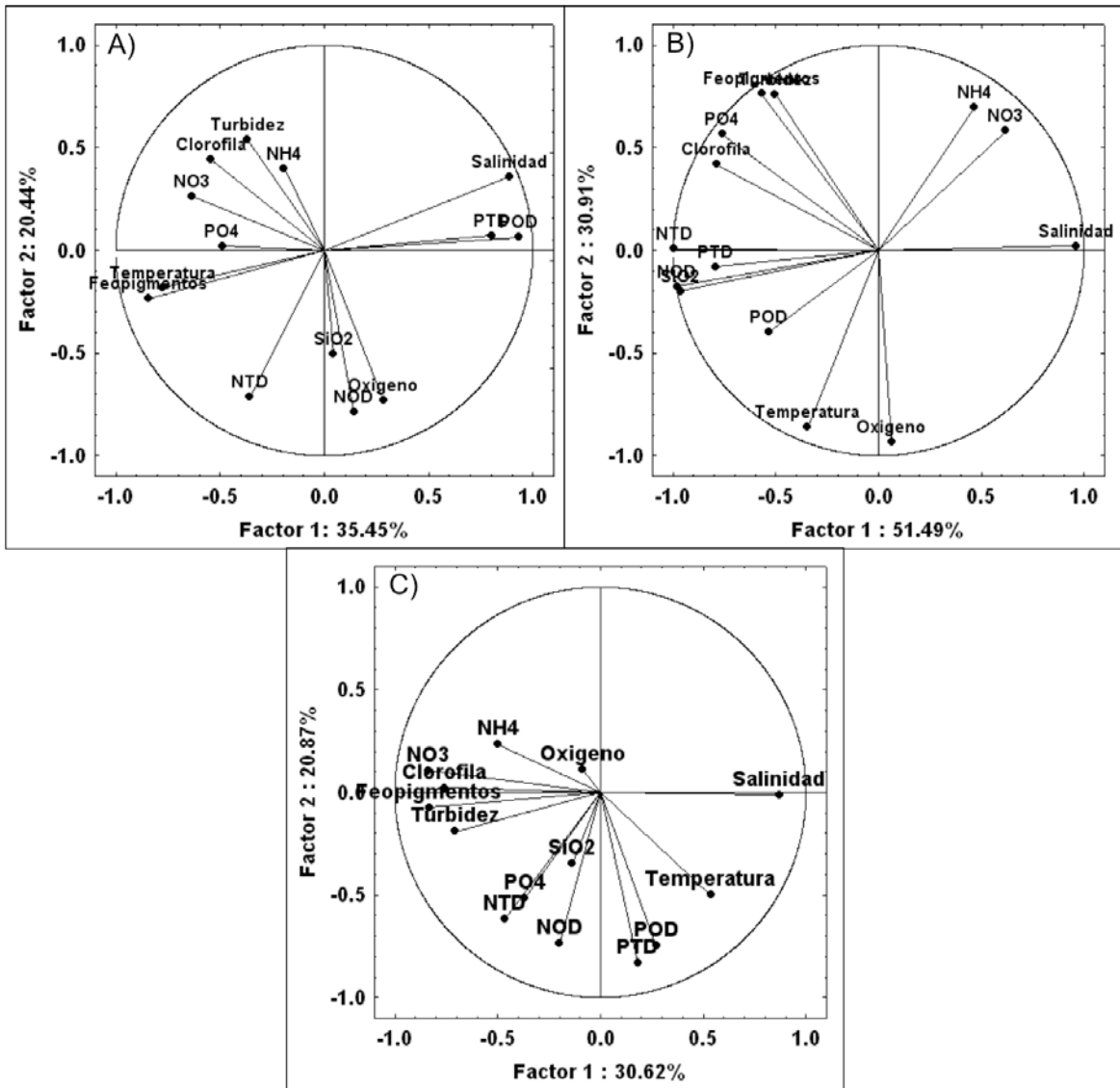


Figura 20. Resultados del análisis de componentes principales durante secas (A), lluvias(B), y nortes (C).

Con las variables extraídas del análisis de componentes principales se construyó un dendrograma y se estableció la presencia de cuatro zonas características (Figs. 21A y B), para la temporada de secas; la primera agrupó a las estaciones cercanas a la boca de Puerto Real y la zona sureste de la Isla del Carmen, la segunda estuvo delimitada al área cercana a la boca del Carmen, la zona noreste de la Isla del Carmen y se extendió hacia la parte sur de la laguna, pasando por la desembocadura del río Chumpán hasta la frontera con la tercera zona, la cual estuvo influenciada por el río Candelaria y se extendió hacia Sabancuy. La cuarta y última zona se restringió a las estaciones cercanas a la desembocadura del río Palizada, hacia el sistema lagunar Pom-Atasta (Fig. 21C).

Todas las variables extraídas del ACP presentaron diferencias significativas, con excepción del oxígeno (ANDEVA  $F_{3, 31} = 0.87$   $p = 0.466$  Fig. 22C). La temperatura (ANDEVA  $F_{3, 31} = 3.52$   $p = 0.0263$ ) fue distinta en las cuatro zonas delimitadas, donde la zona cuatro fue la que tuvo la temperatura más alta con un promedio de 27 °C; la región tres fue la más homogénea de las cuatro, seguramente por estar influenciada por la desembocadura del río Candelaria y la parte cercana a Sabancuy (26.23°C); las zonas uno y dos fueron muy similares entre sí, con 26.16 °C y 26.10 °C respectivamente (Fig. 22A).

La salinidad (ANDEVA  $F_{3, 31} = 32.57$   $p < 0.05$ ) presentó diferencias entre las cuatro zonas, presentándose un gradiente de baja a alta salinidad, donde la zona cuatro fue la de menor salinidad (20.61 UPS), seguida de las zonas tres, dos y uno con 29.80, 32.91 y 36.54 UPS respectivamente, lo cual evidenció la influencia de la zona costera adyacente a través de las bocas de comunicación, sobre la salinidad del sistema (Fig. 22B).

El NTD (ANDEVA  $F_{3,31}=15.118$   $p<0.05$ ) y el NOD (ANDEVA  $F_{3,31}=14.88$   $p<0.05$ ), siguieron patrones muy similares entre sí, lo cual indicó una posible multicolinealidad, ya que la concentración de estos fue baja hacia la parte de influencia marina (zona uno; con  $9.85 \mu\text{M}$  y  $9.53 \mu\text{M}$  respectivamente) y se incrementó hacia las áreas de mayor influencia por parte de los ríos (zona cuatro), (con  $12.10 \mu\text{M}$  de NTD y  $11.72 \mu\text{M}$  de NOD; [fig. 23A y B](#)).

Al igual que el nitrógeno, el FTD (ANDEVA  $F_{3,31}=5.11$   $p=0.05$ ) y el FOD (ANDEVA  $F_{3,31}=9.69$   $p=0.0001$ ), presentaron diferencias significativas, siendo la zona cuatro distinta al resto con  $0.40 \mu\text{M}$  para FTD y  $0.24 \mu\text{M}$  para FOD; el resto de las zonas presentaron valores entre  $0.57 \mu\text{M}$  y  $0.65 \mu\text{M}$  para FTD y para FOD de  $0.47 \mu\text{M}$  y  $0.52 \mu\text{M}$  ([Fig. 23C y D](#)).

Finalmente los feopigmentos (ANDEVA  $F_{3,31}=9.77$   $p=0.0001$ ), sólo presentaron diferencias en la zona cuatro, con una concentración de  $2.10 \text{ mg m}^{-3}$ , la cual fue la más alta en comparación con la zona uno ( $0.52 \text{ mg m}^{-3}$ ), dos ( $0.87 \text{ mg m}^{-3}$ ) y tres ( $0.83 \text{ mg m}^{-3}$ ), ya que estas no presentaron diferencias entre si ([Fig. 22D](#)).



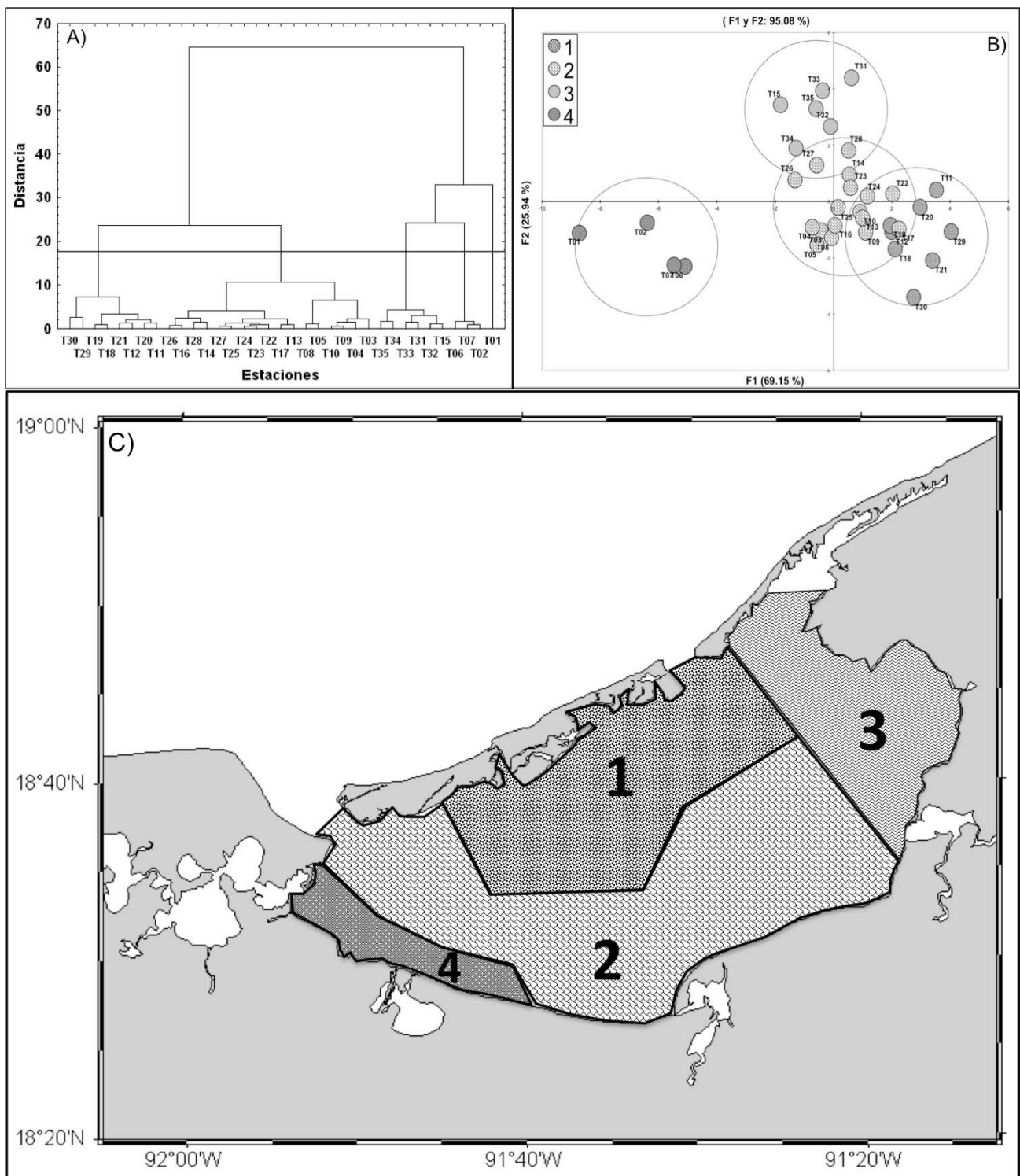


Figura 21. Clúster de las estaciones (A) validado con el análisis de discriminantes (B) y mapa de zonación con respecto a las variables físico-químicas (C) para la temporada de secas.

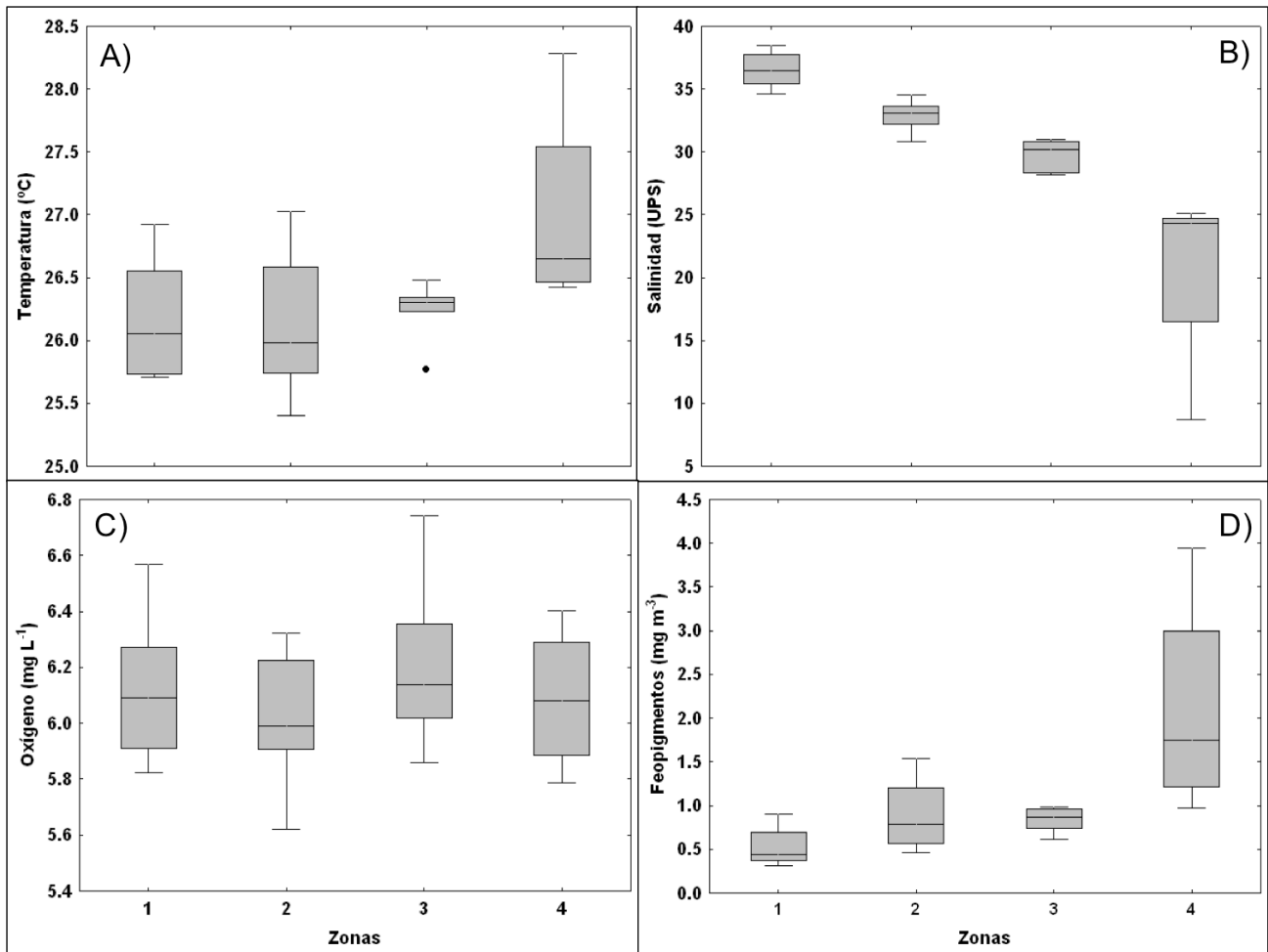


Figura 22. Valores de temperatura (A), salinidad (B), oxígeno (C) y feopigmentos (D), en las distintas zonas de la laguna de Términos para la temporada de secas.

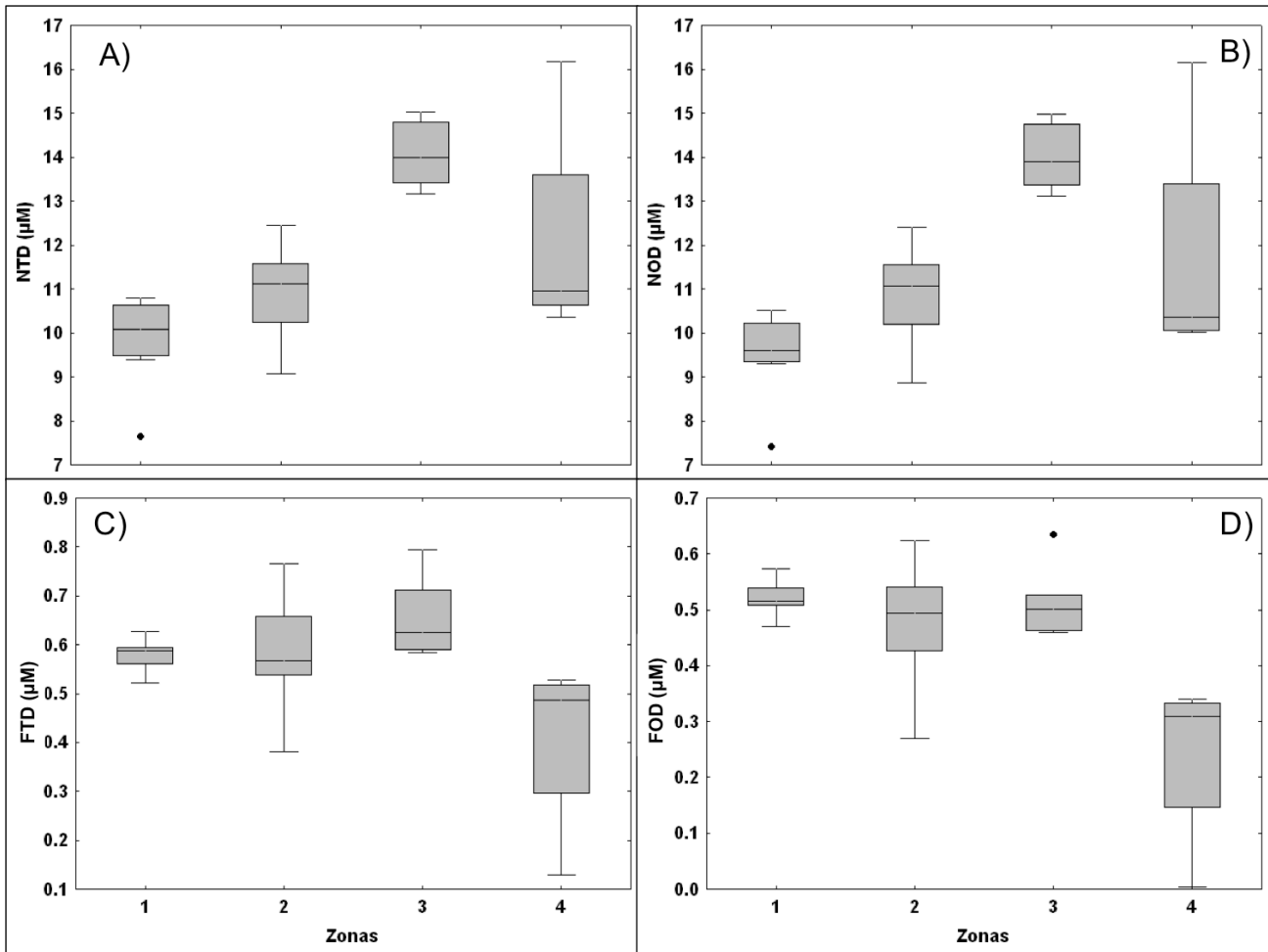


Figura 23. Valores de nitrógeno total disuelto (A), nitrógeno orgánico disuelto (B), fósforo total disuelto (C) y fósforo orgánico disuelto (D), en las zonas de la laguna Términos para la temporada de secas.

En la época de lluvias se presentaron tres zonas (Fig. 24A y B), la primera se restringió al área influenciada por la boca de comunicación de Puerto Real, la segunda abarcó una extensión más amplia, que cubrió desde la desembocadura del río Candelaria y se extendió hacia la zona de Sabancuy; finalmente la tercera zona se extendió del límite de las dos anteriores hasta el centro de la laguna; el resto del sistema no pudo diferenciarse debido a que no se muestreó durante esta época (Fig. 24C).

Al igual que en secas, el oxígeno fue el único parámetro que no presentó diferencias significativas (ANDEVA  $F_{2,14}= 1.63$ ,  $p=0.23$ ) en las tres zonas características de la laguna. Por su parte la temperatura (ANDEVA  $F_{2, 14}=4.82$   $p=0.025$ ) presentó una temperatura significativamente menor en la zona uno (29.73 °C), con respecto a las otras dos zonas (Fig. 25A).

La turbidez (ANDEVA  $F_{2, 14}=7.56$   $p=0.005$ ) sólo presentó diferencias entre la zonas do (13.56 NTU) y tres (5.79 NTU) (Fig. 25D). La salinidad presentó diferencias significativas (ANDEVA  $F_{2, 14}=35.60$   $p<0.05$ ) en las tres zonas (Fig. 25B), con la menor salinidad hacia la parte de la desembocadura del río Candelaria (32.33 UPS), seguida por la parte central de la laguna (34.50 UPS) y por último la parte de la boca de Puerto Real (37.08 UPS).

El FTD sólo presentó diferencias significativas (ANDEVA  $F_{2, 14}=6.15$   $p=0.012$ ) entre las zonas uno y tres, ya que en la zona tres se presentó la concentración más alta con 1.0  $\mu\text{M}$  y tuvo un comportamiento más heterogéneo que en el resto de las zonas (Fig. 27C); la zona uno fue la que tuvo la concentración más baja (0.87  $\mu\text{M}$ ).

Los silicatos (ANDEVA  $F_{2, 14} = 89.030$   $p < 0.05$ ), ortofosfatos (ANDEVA  $F_{2, 14} = 7.7$   $p = 0.005$ ), clorofila *a* (ANDEVA  $F_{2, 14} = 8.78$   $p = 0.003$ ) y feopigmentos (ANDEVA  $F_{2, 14} = 4.91$   $p = 0.024$ ), presentaron diferencias significativas en las tres zonas de la laguna (Fig. 26A, B, C y D), siguiendo el siguiente comportamiento: las mayores concentraciones de silicatos ( $124.33 \mu\text{M}$ ), ortofosfatos ( $0.17 \mu\text{M}$ ), clorofila *a* ( $4.86 \text{ mg m}^{-3}$ ) y feopigmentos ( $1.62 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la segunda zona, y las concentraciones más bajas en la zona uno ( $16.34 \mu\text{M}$  para silicatos,  $0.08 \mu\text{M}$  para ortofosfatos,  $1.70 \text{ mg m}^{-3}$  para la clorofila *a* y  $0.83 \text{ mg m}^{-3}$  para los feopigmentos), ya que justo en esta zona, la influencia de la boca de Puerto Real fue más notoria.

El NTD (ANDEVA  $F_{2, 14} = 178.10$   $p < 0.05$ ) y el NOD (ANDEVA  $F_{2, 14} = 244.24$   $p = 0.003$ ) se comportaron de manera similar en las tres zonas, donde la zona dos tuvo una concentración de  $21.21 \mu\text{M}$  y  $21.02 \mu\text{M}$  respectivamente, la cual fue la más alta de las tres y la zona de Puerto Real la más baja con  $8.78 \mu\text{M}$  para nitrógeno total y  $6.52 \mu\text{M}$  para nitrógeno orgánico; finalmente la zona tres fue la más homogénea (Fig. 27A y B) con  $16.38 \mu\text{M}$  y  $16.32 \mu\text{M}$  de nitrógeno total y orgánico respectivamente.

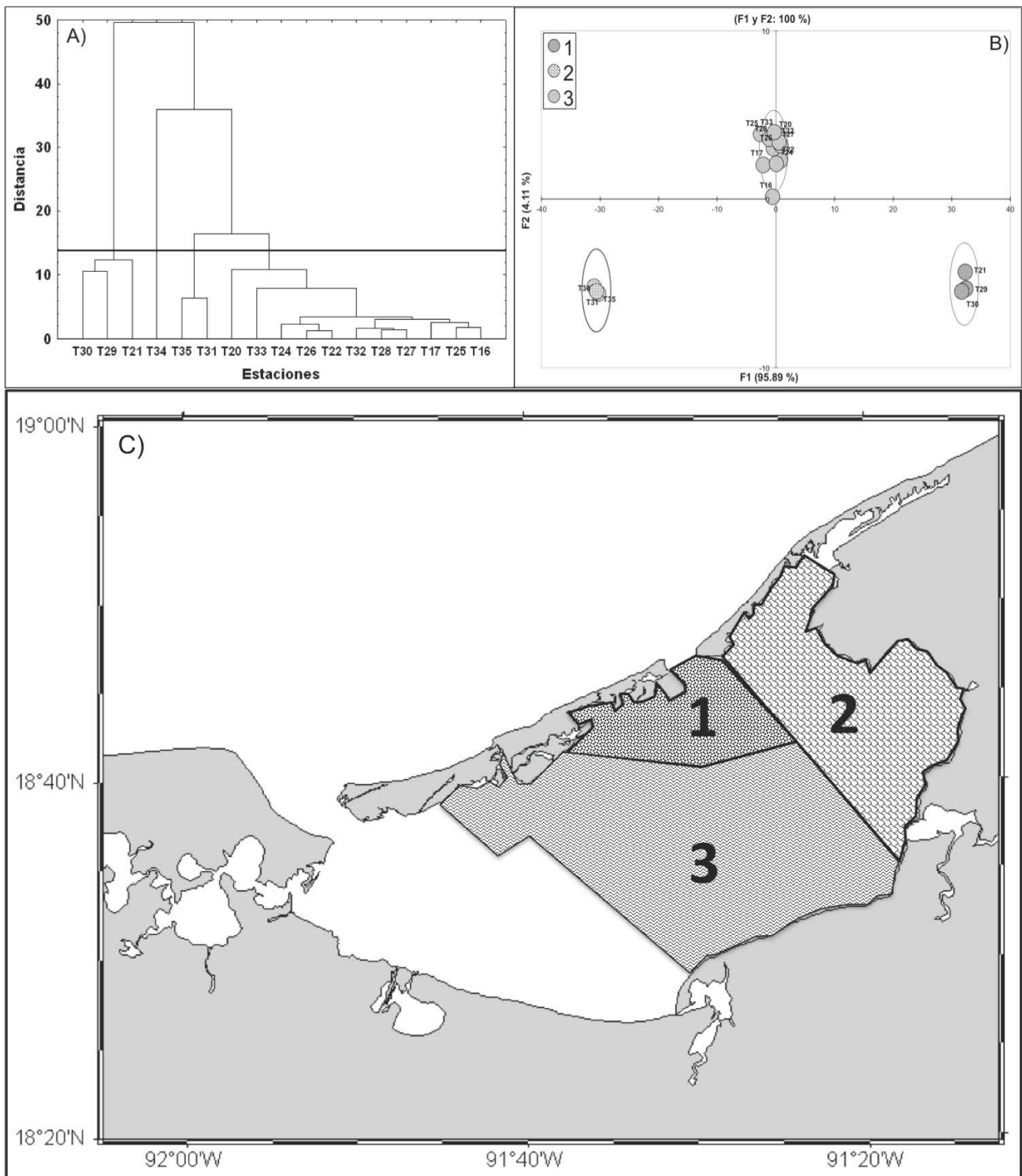


Figura 24. Clúster de las estaciones (A) validado con el análisis de discriminantes (B) y mapa de zonación con respecto a las variables físico-químicas (C) para la temporada de lluvias.

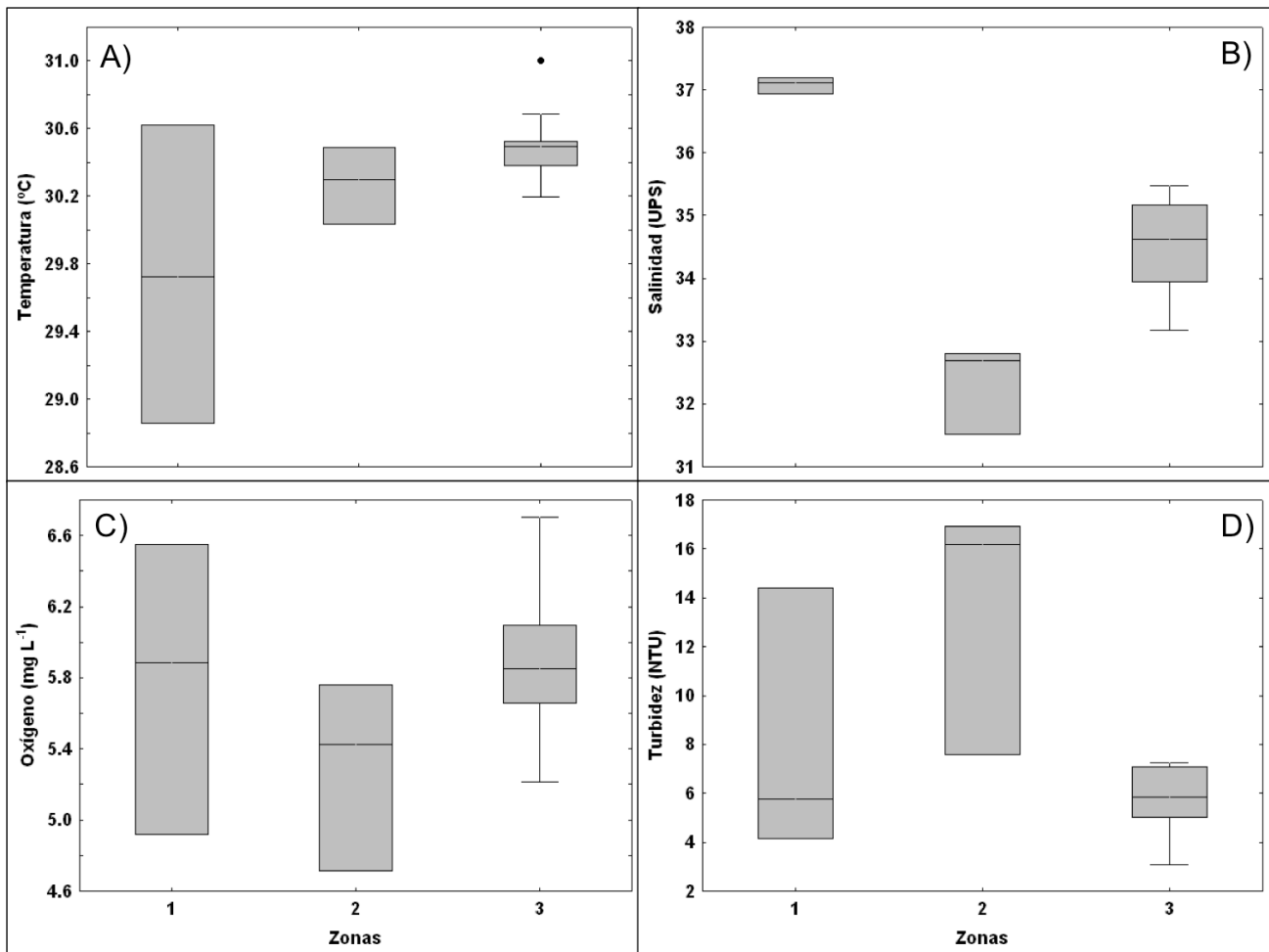


Figura 25. Valores de temperatura (A), salinidad (B), oxígeno (C) y turbidez (D), en las tres zonas delimitadas para la temporada de lluvias.

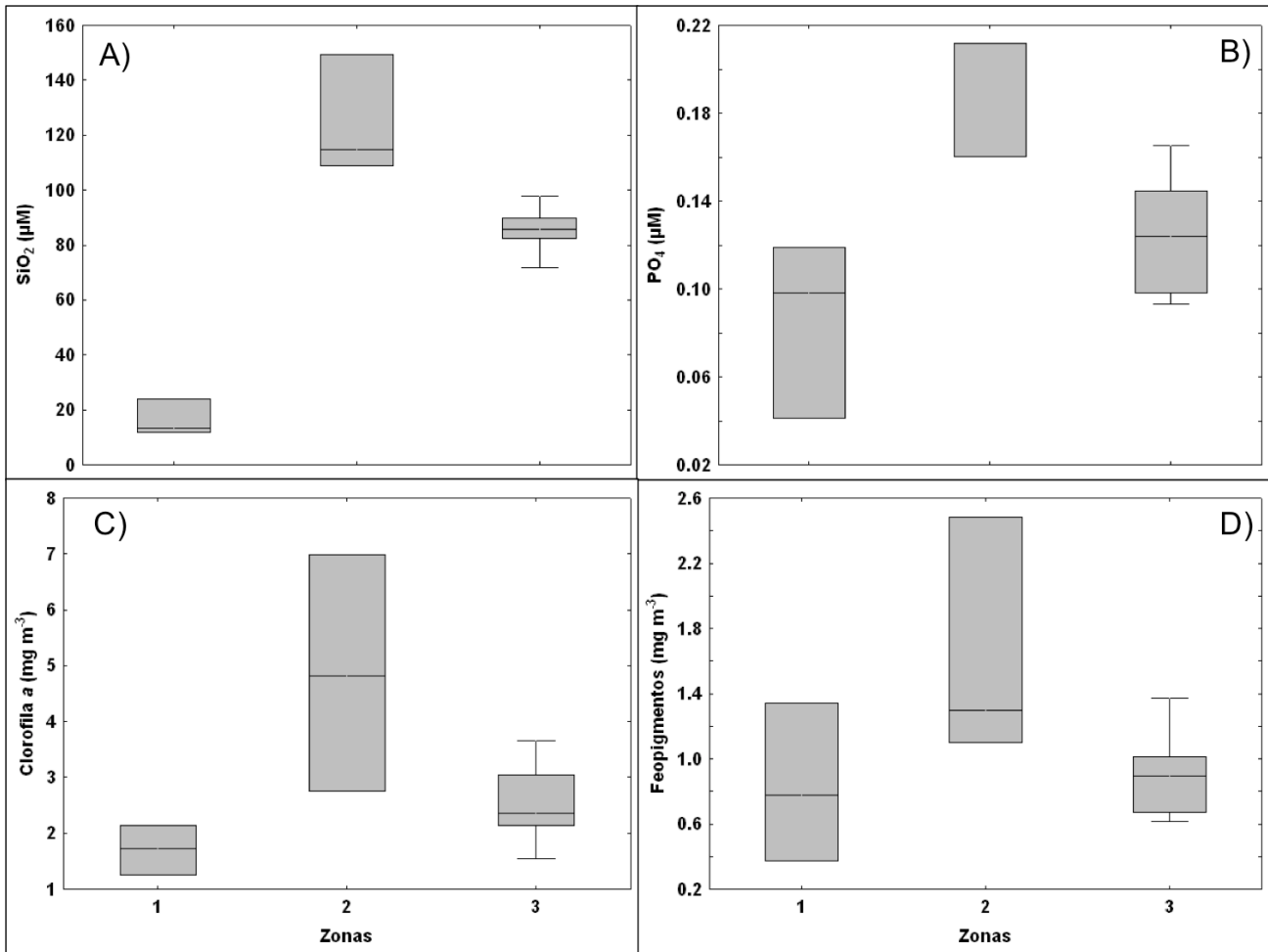


Figura 26. Valores de la concentración de silicatos (A), ortofosfatos (B), clorofila a (C) y feopigmentos (D) en las tres zonas delimitadas para la temporada de lluvias.



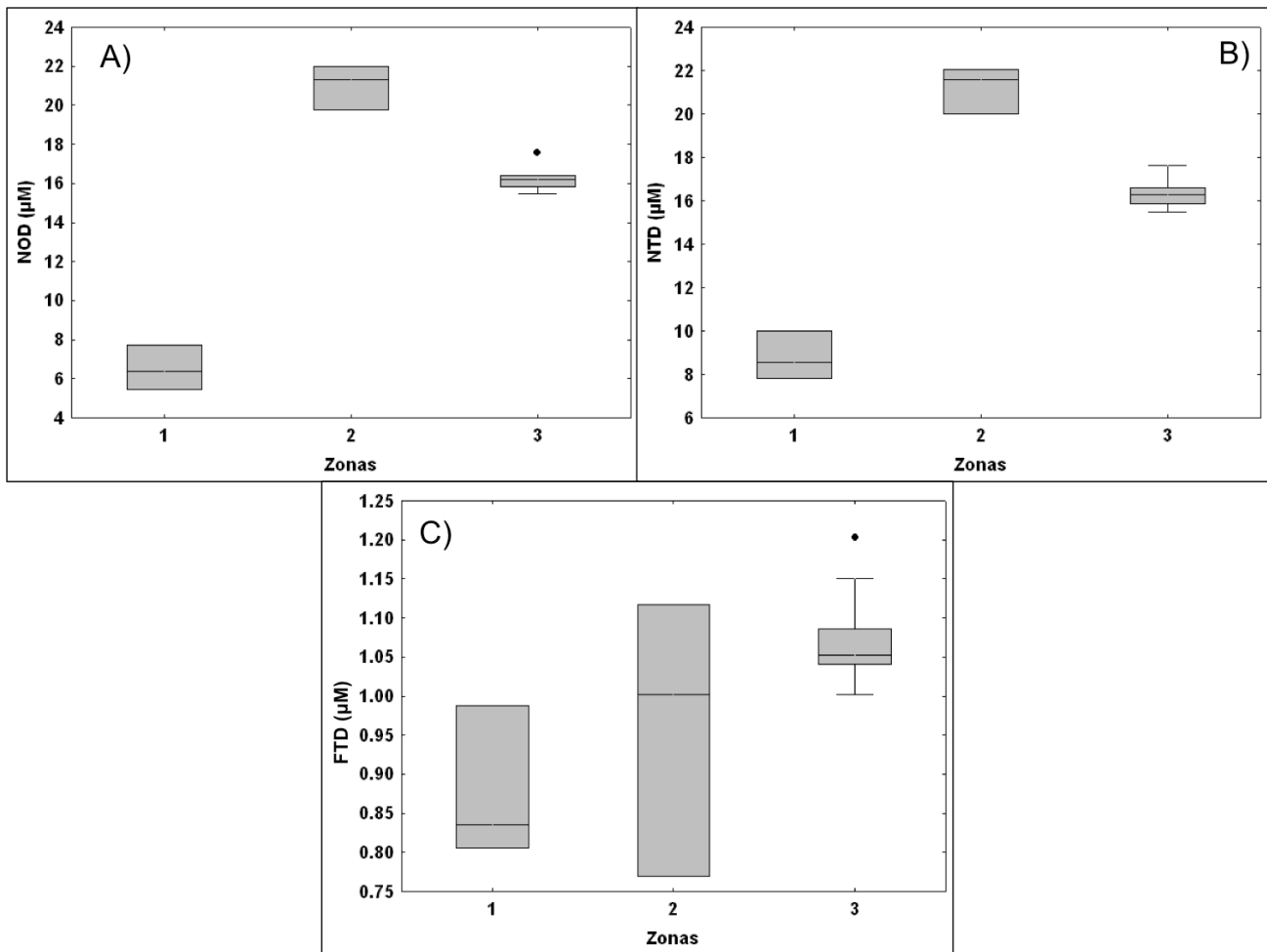


Figura 27. Valores de la concentración de nitrógeno total disuelto (NTD) (A), nitrógeno orgánico disuelto (NOD) (B) y fósforo total disuelto (FTD) (C), para las zonas delimitadas para la temporada de lluvias.

Durante la época de nortes establecieron cuatro zonas características dentro de la laguna (Fig. 28A y B), la primera ocupando la zona correspondiente a la boca del Carmen, hasta la parte suroeste, cercana al río Palizada; la segunda abarcó la parte centro de la laguna, desde la Isla del Carmen hasta la zona cercana a la desemboca el río Chumpá; la tercera representó un área muy amplia, incluyendo desde la frontera con la zona dos y Sabancuy, abarcando la desembocadura del río Candelaria y la boca de comunicación de Puerto Real; finalmente la zona cuatro se restringió a la parte influenciada por el río Palizada y el sistema lagunar Pom-Atasta (Fig. 28C).

Durante nortes, los nitratos (ANDEVA  $F_{3, 30} = 2.84$   $p = 0.054$ ) y el NOD (ANDEVA  $F_{3, 30} = 1.5$   $p = 0.26$ ) no presentaron diferencias significativas (Fig. 29C y D). Sin embargo, la salinidad presentó diferencias entre las cuatro zonas, con 31.67 UPS y 29.69 UPS en el área dos y tres respectivamente, siendo éstos los valores más altos; las zonas uno y cuatro presentaron salinidades de 27.13 UPS y 19.88 UPS respectivamente.

La turbidez (Fig. 29B) presentó diferencias significativas (ANDEVA  $F_{3, 30} = 17.54$   $p < 0.05$ ) entre todas las zonas, con la mayor turbidez en la zona uno (16.10 UTN), el área correspondiente a las zonas tres y cuatro presentaron valores de 8.011 UTN y 8.46 UTN y la zona dos fue la que presentó la menor turbidez (2.32 UTN).

El FTD (ANDEVA  $F_{3, 30} = 4.17$   $p = 0.013$ ) y el FOD (ANDEVA  $F_{3, 30} = 4.94$   $p = 0.006$ ) sólo presentaron diferencias significativas entre la zona dos y tres con concentraciones de 0.56  $\mu\text{M}$  y 0.70  $\mu\text{M}$  de FTD y de 0.49  $\mu\text{M}$  y 0.64  $\mu\text{M}$  de FOD sin diferencias en las dos zonas restantes (Fig. 30A y B).

La clorofila *a* presentó diferencias significativas entre las cuatro zonas (ANDEVA  $F_{3,30}=5.73$   $p=0.003$ ), las mayores concentraciones estuvieron en las zonas uno ( $6.28 \text{ mg m}^{-3}$ ) y cuatro ( $5.41 \text{ mg m}^{-3}$ ), presentando una alta heterogeneidad en los valores, mientras que la zona tres ( $3.91 \text{ mg m}^{-3}$ ) y la dos ( $1.85 \text{ mg m}^{-3}$ ) tuvieron un comportamiento más homogéneo (Fig. 30C).

Para el caso de los feopigmentos, sólo se presentaron diferencias entre las zonas uno la cual tuvo la mayor concentración ( $1.78 \text{ mg m}^{-3}$ ) y la dos ( $0.60 \text{ mg m}^{-3}$ ; ANDEVA  $F_{3,30}=7.88$   $p=0.0005$ ), (Fig. 30D).

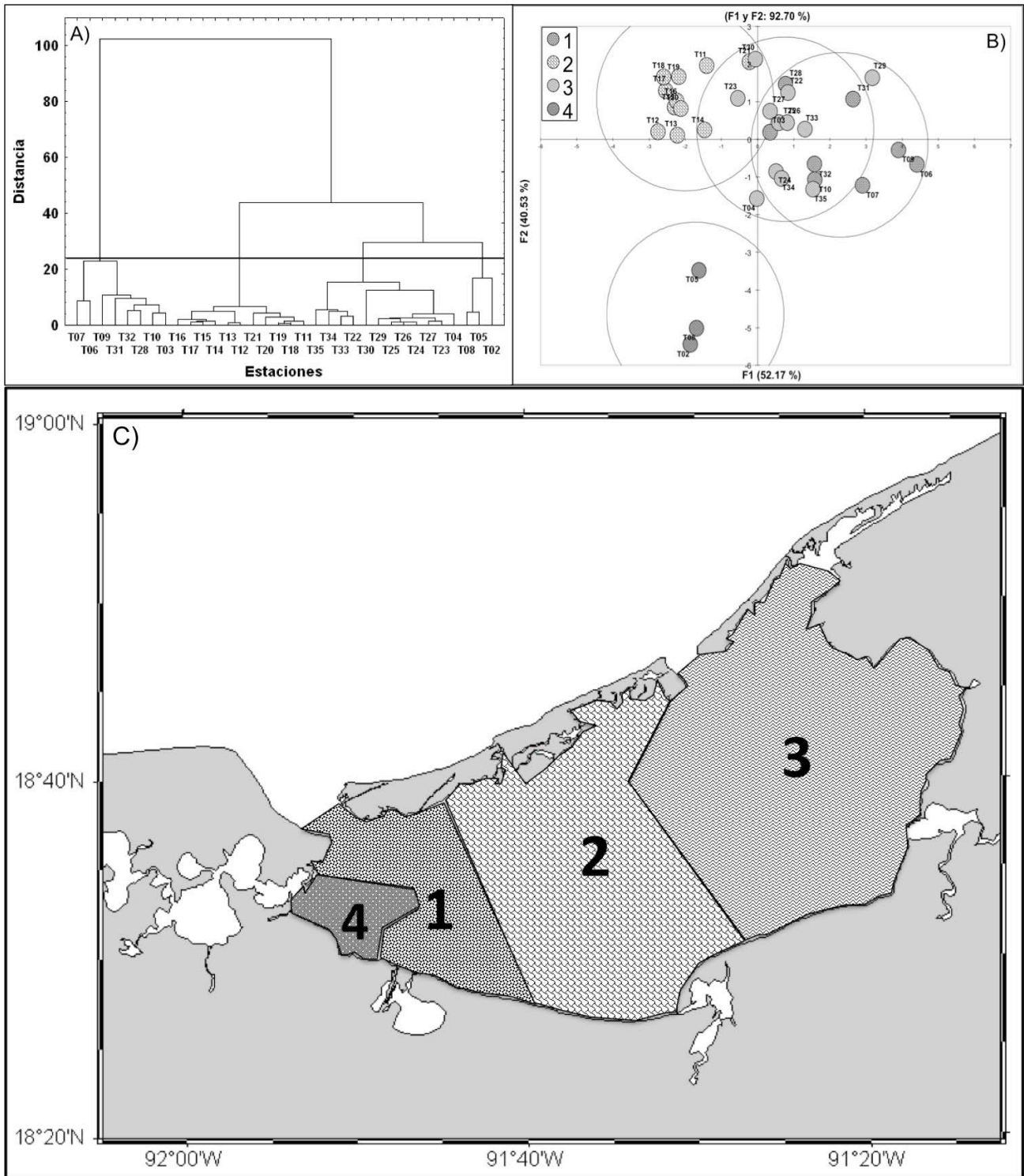


Figura 28. Clúster de las estaciones (A) validado con el análisis de discriminantes (B) y mapa de zonación (C) para la temporada de nortes.

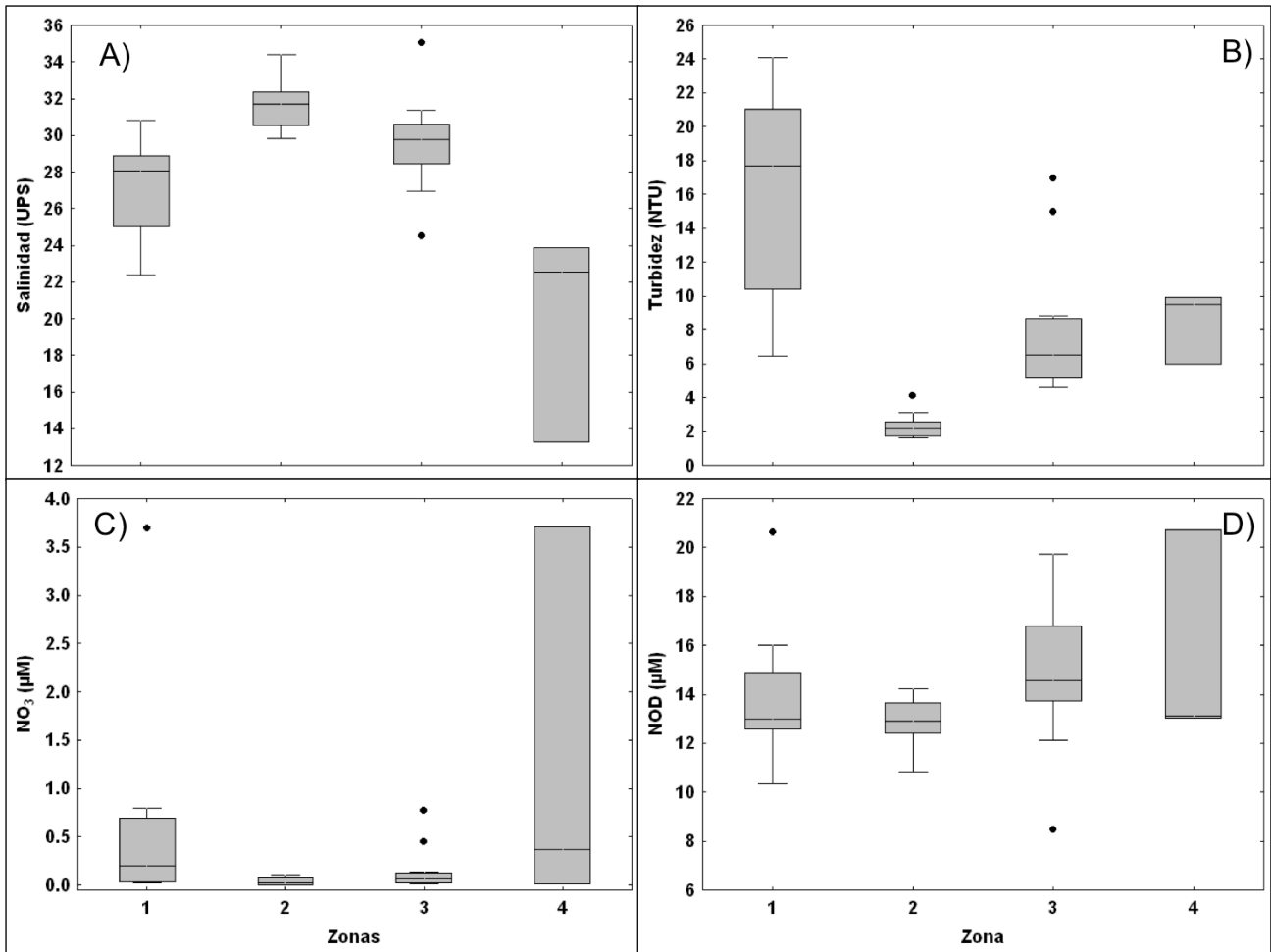


Figura 29. Valores de salinidad (A), turbidez (B), concentración de nitratos (C) y concentración de nitrógeno orgánico disuelto (NOD) (D), en las zonas delimitadas dentro de la laguna de Términos, para la temporada de nortes.

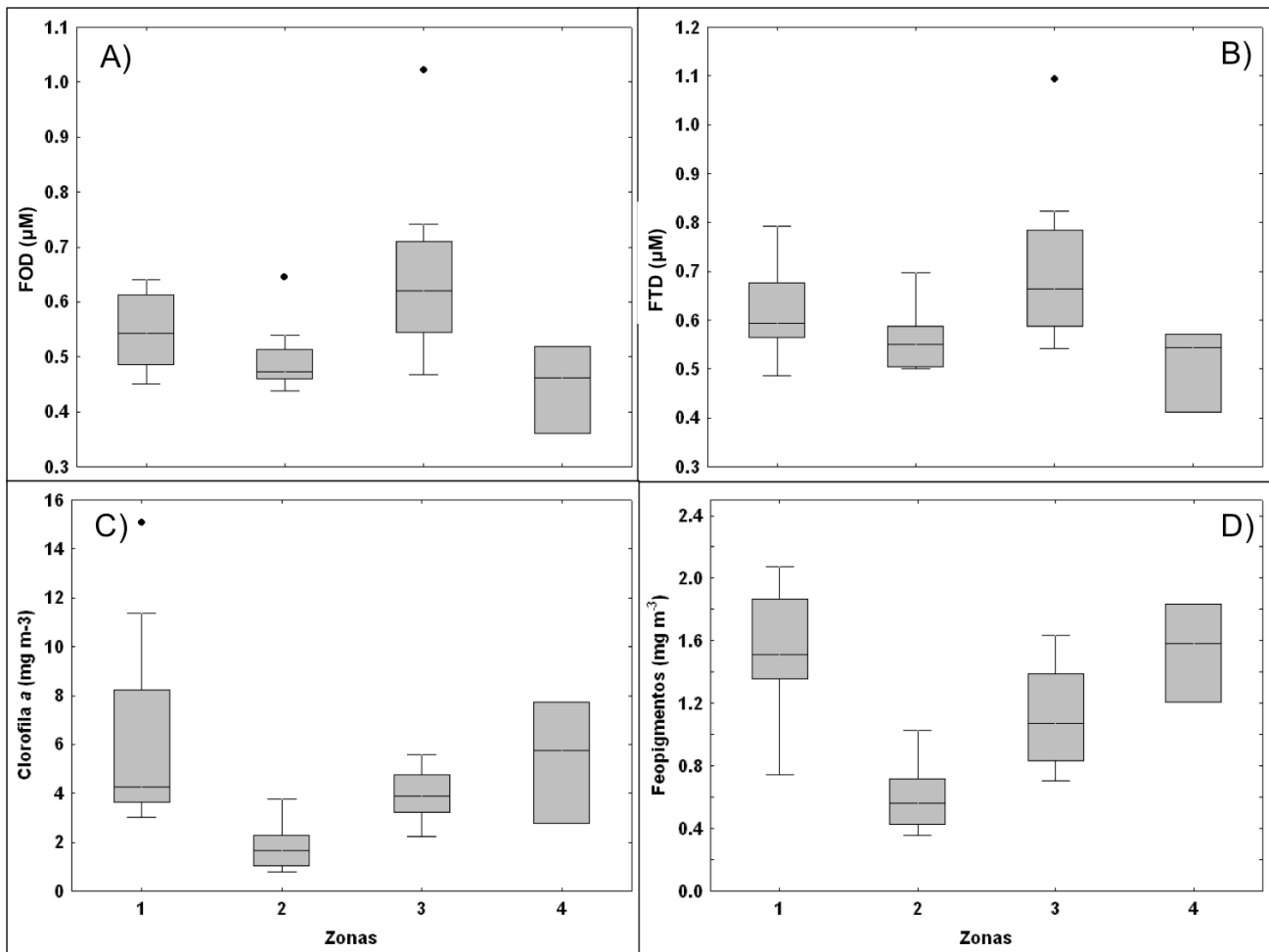


Figura 30. Valores de la concentración de fósforo orgánico disuelto (FOD) (A), fósforo total disuelto (FTD) (B), clorofila a (C) y feopigmentos (D), en las distintas zonas de la laguna de Términos, durante la época de nortes.

#### 10.4.2. Clorofila *a* por fracciones de tamaño

En cada una de las temporadas muestreadas la clorofila *a* se distribuyó de manera diferente en cada una de las fracciones de tamaño.

Durante la temporada de secas la concentración de clorofila *a* generada por la fracción microfitoplanctónica, fue más alta en la zona cercana a la desembocadura del río Palizada y en la parte sureste cercana a la boca de Puerto Real, con concentraciones de  $0.7 \text{ mg m}^{-3}$  a  $1.7 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 31A). La distribución espacial de la fracción nano+picofitoplanctónica fue distinta de la micro, ya que prácticamente en toda la laguna las concentraciones fueron superiores a  $1.40 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 31B).

En la época de lluvias la clorofila *a* correspondiente a la fracción micro se restringió a la parte sureste de la laguna, a partir de la desembocadura del río Candelaria y hasta la zona de Sabancuy con concentraciones de  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.8 \text{ mg m}^{-3}$ , mientras que en la desembocadura del río Palizada y al sistema lagunar Pom-Atasta, la concentración fue de  $1.4 \text{ mg m}^{-3}$  a  $4.8 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 32A). La fracción nano+pico se distribuyó en toda la laguna con las mayores concentraciones de clorofila en la parte sureste de la laguna y la zona cercana al río Palizada con concentraciones de  $2.4 \text{ mg m}^{-3}$  a  $4.8 \text{ mg m}^{-3}$  y en el resto de la laguna se registraron concentraciones entre  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.2 \text{ mg m}^{-3}$  de clorofila *a* (Fig. 32B).

Finalmente, durante la temporada de nortes la fracción micro se distribuyó en gran parte de la laguna con concentraciones de clorofila entre  $0.8 \text{ mg m}^{-3}$  y  $2.8 \text{ mg m}^{-3}$ , con excepción de la parte cercana al río Palizada y la boca del Carmen, donde la concentración fue superior a  $3.0 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 33A). La fracción nano+pico también se distribuyó en toda la laguna ( $1.8 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.8 \text{ mg m}^{-3}$ ), pero al igual que en la fracción micro, la mayor concentración se presentó en la zona cercana al río Palizada y la boca del Carmen ( $> 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ; Fig. 33B).



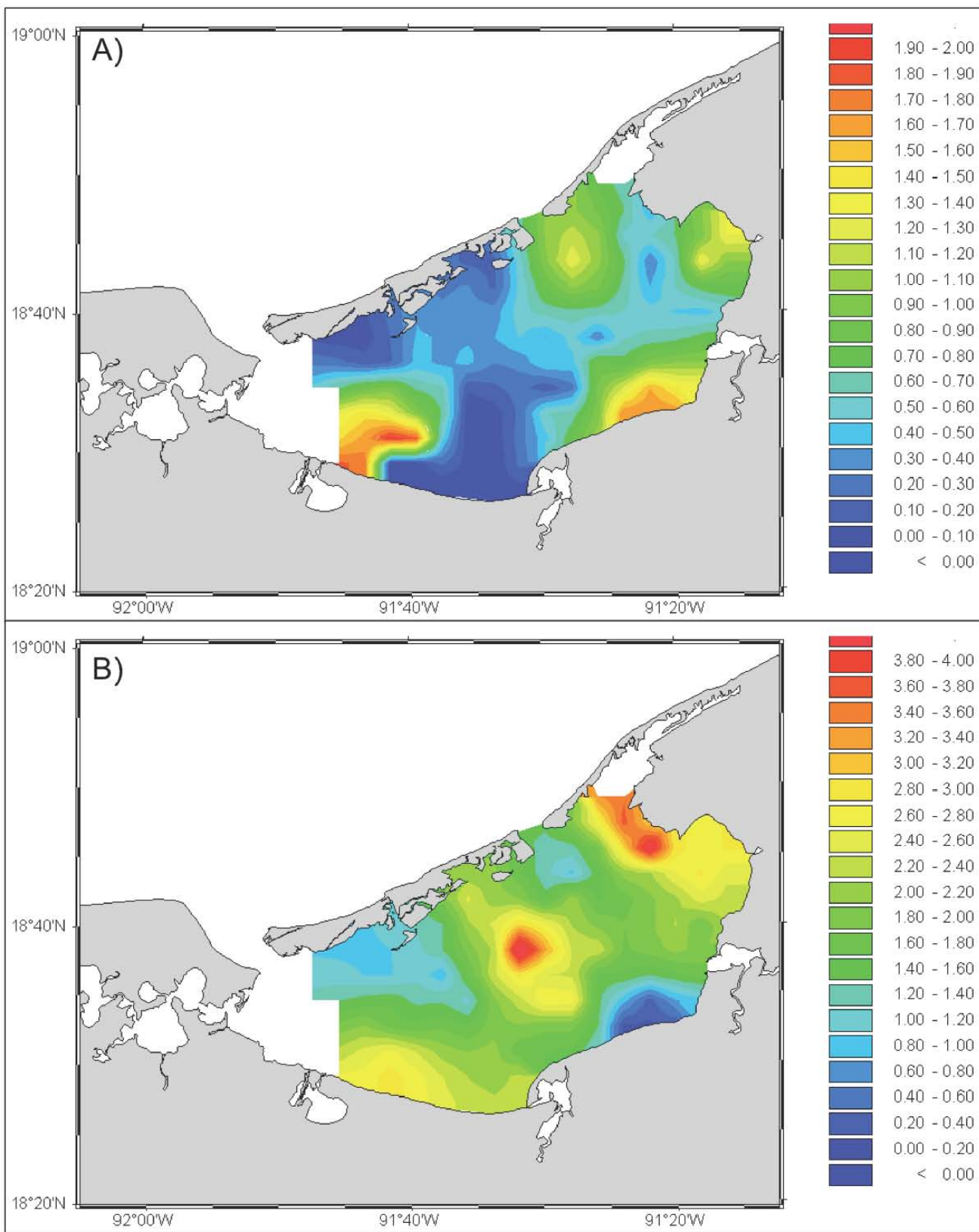


Figura 31. Distribución de clorofila a en  $\text{mg m}^{-3}$  por parte de la fracción micro (A) y nano+pico (B) para la temporada de secas.

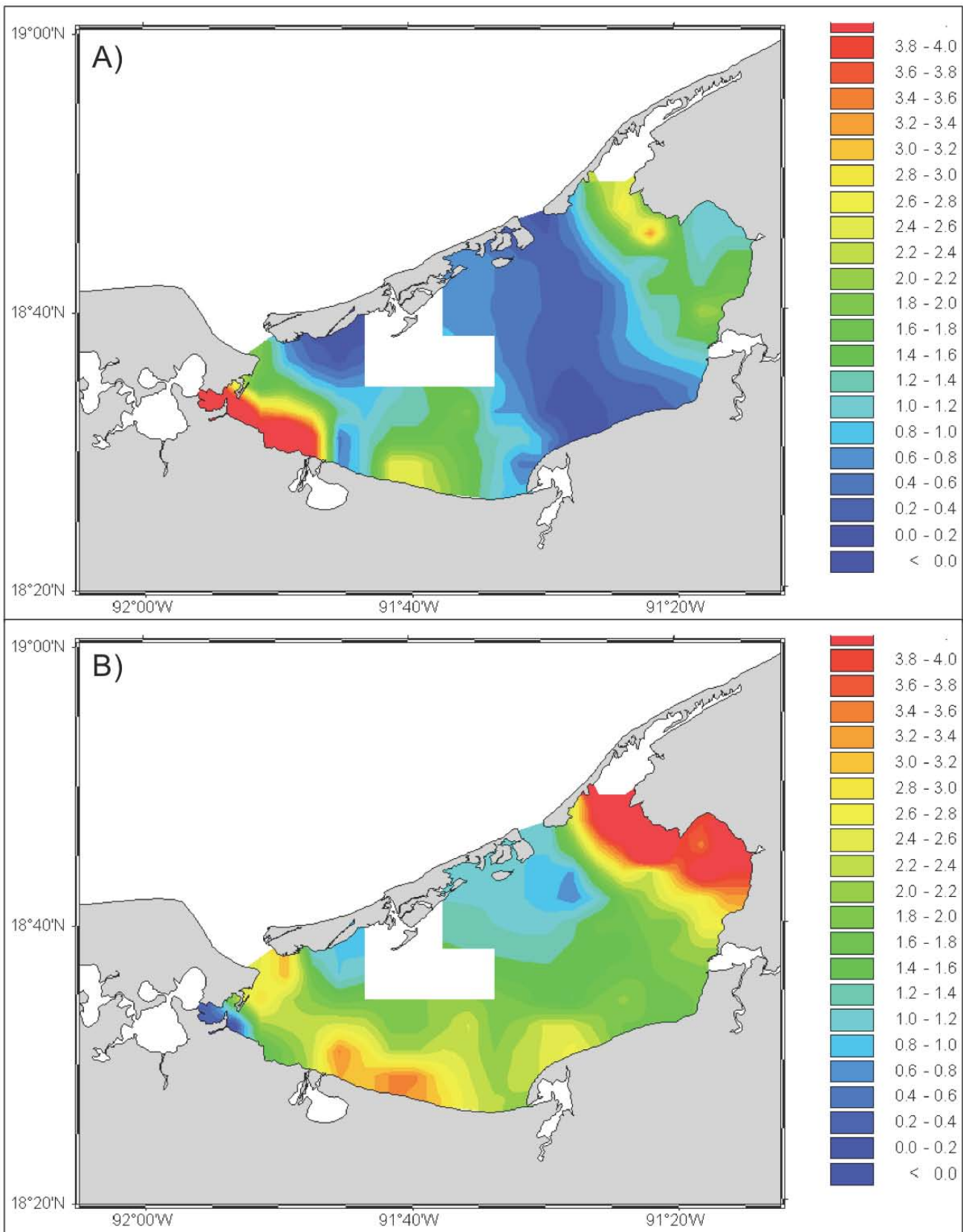


Figura 32. Distribución de clorofila *a* en  $\text{mg m}^{-3}$  por parte de la fracción micro (A) y nano+pico (B) para la temporada de lluvias.

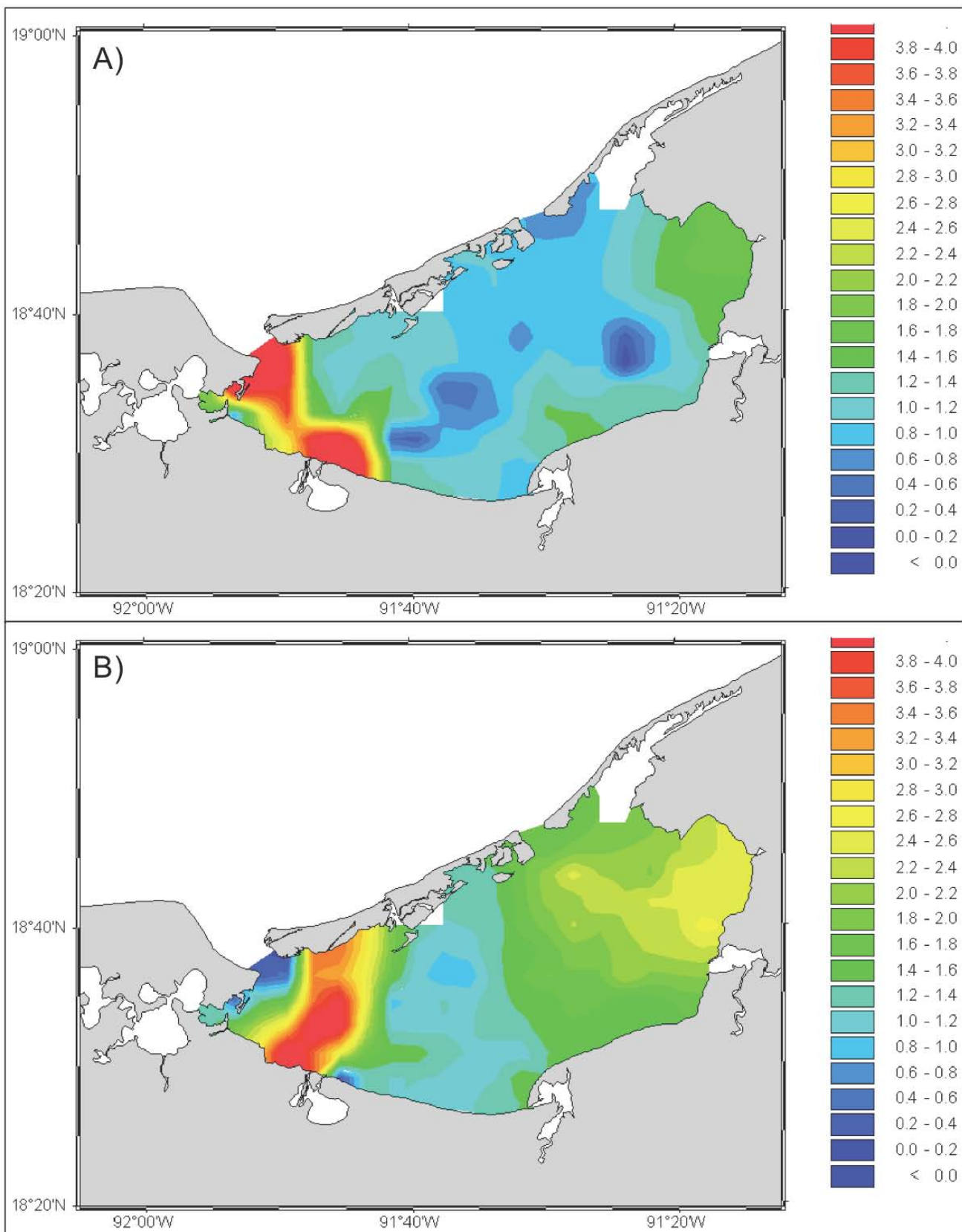


Figura 33. Distribución de clorofila *a* en  $\text{mg m}^{-3}$  por parte de la fracción micro (A) y nano+pico (B) para la temporada de nortes.

### 10.4.3. Grupos fitoplanctónicos

#### 10.4.3.1. Temporada de secas

La distribución espacial de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica, se restringió a la zona cercana a la desembocadura del río Chumpán y la boca de Puerto Real, extendiéndose hacia la parte continental siendo más significativo en la zona del río Chumpán con valores de 0.35 Clā hasta 1.0 Clā (Fig. 34A). Para el caso de las bacilariofitas correspondientes a la fracción nano+pico, su distribución fue distinta a la fracción micro, ya que estuvieron presentes en toda la laguna (0.20 - 1.50 Clā), alcanzando los mayores valores de Clā en la zona cercana a la boca de Puerto Real y hacia las desembocaduras de los ríos Palizada y Chumpán y hacia el estero de Sabancuy (Fig. 34B).

En lo que a las cianofitas respecta, la distribución de la fracción micro se relacionó con las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Palizada, Chumpán y Candelaria, pero fue hacia la parte continental sureste en donde se presentó la mayor presencia de este grupo, con equivalentes de clorofila *a* desde 0.70 hasta 2.0 Clā (Fig. 35A). Sin embargo las cianofitas de la fracción nano+pico, se encontraron distribuidas en toda la laguna y su contribución fue mayor que la fracción anterior, principalmente en la zona de Sabancuy y hasta el centro de la laguna, con valores de 3.30 hasta los 6.0 Clā (Fig. 35B).

Las clorofitas sólo se encontraron representadas en la fracción microfitoplanctónica (Fig. 36A) y su presencia dentro de la laguna, únicamente fue registrada en la desembocadura del río Palizada (0.50 a 2.0 Clā). En el caso de las proclorofitas, su distribución abarcó desde la boca de Puerto Real extendiéndose hasta el centro de la laguna, con una concentraciones de 0.10 hasta los 0.40 Clā (Fig. 36B).



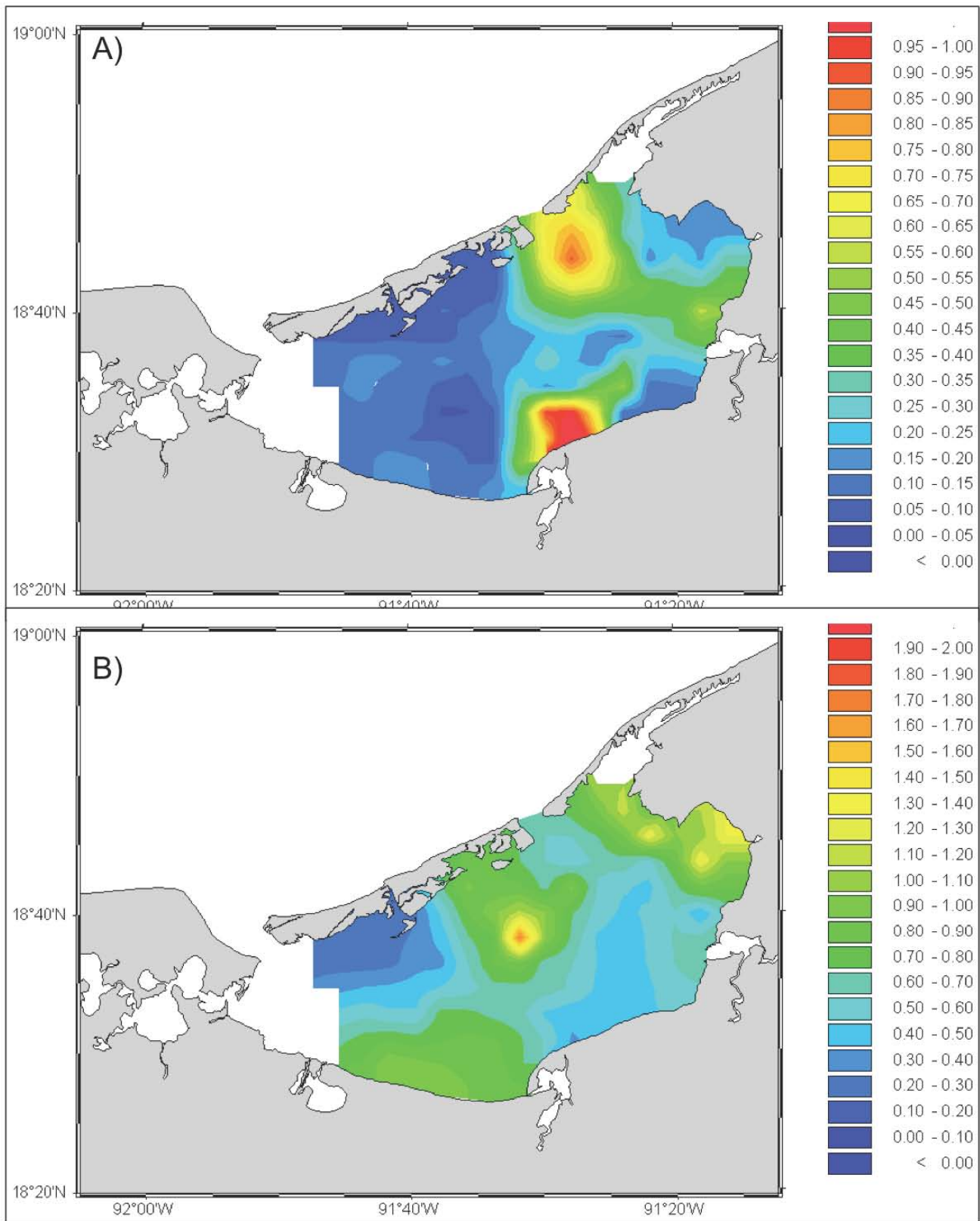


Figura 34. Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+ pico (B).

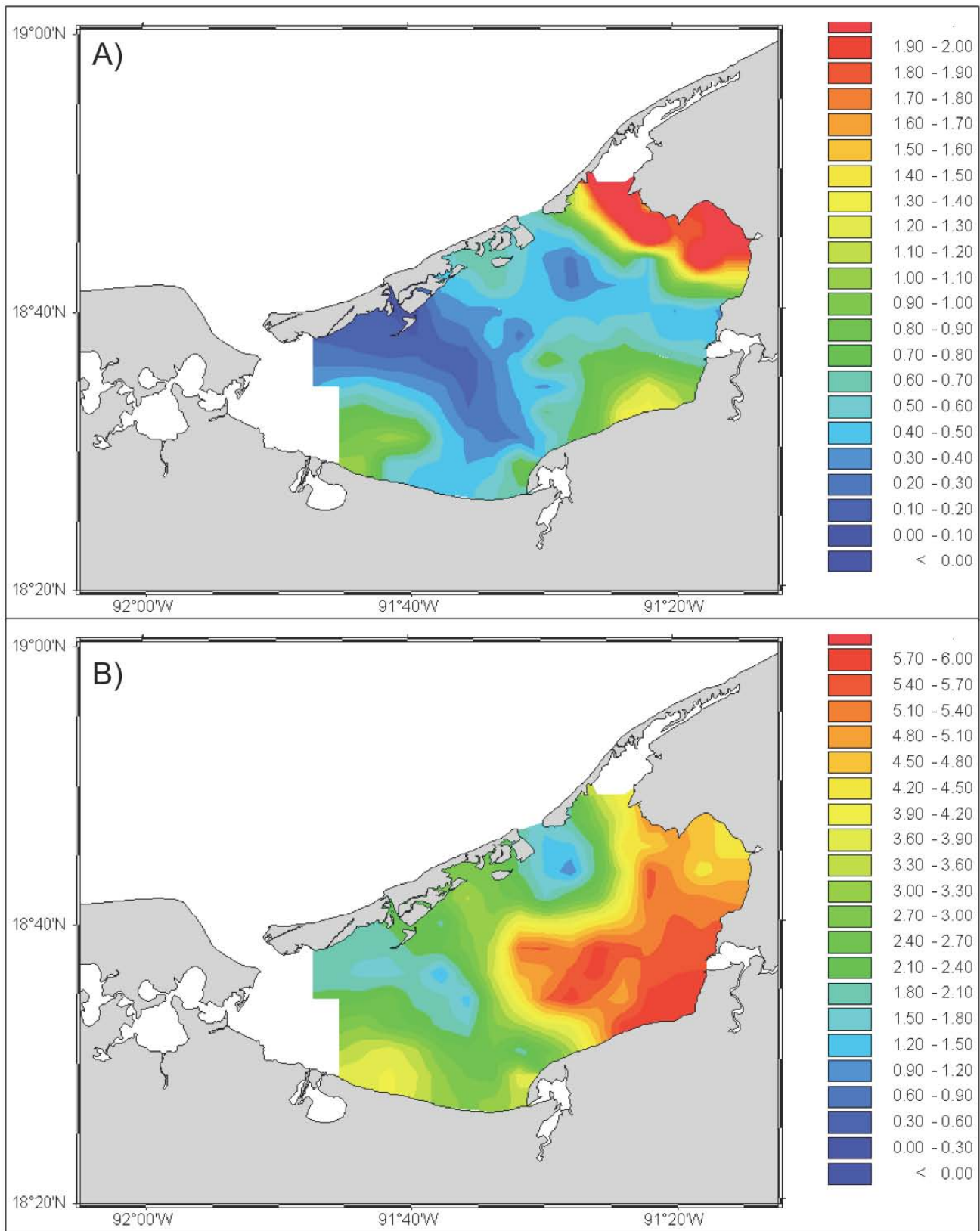


Figura 35. Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico (B).

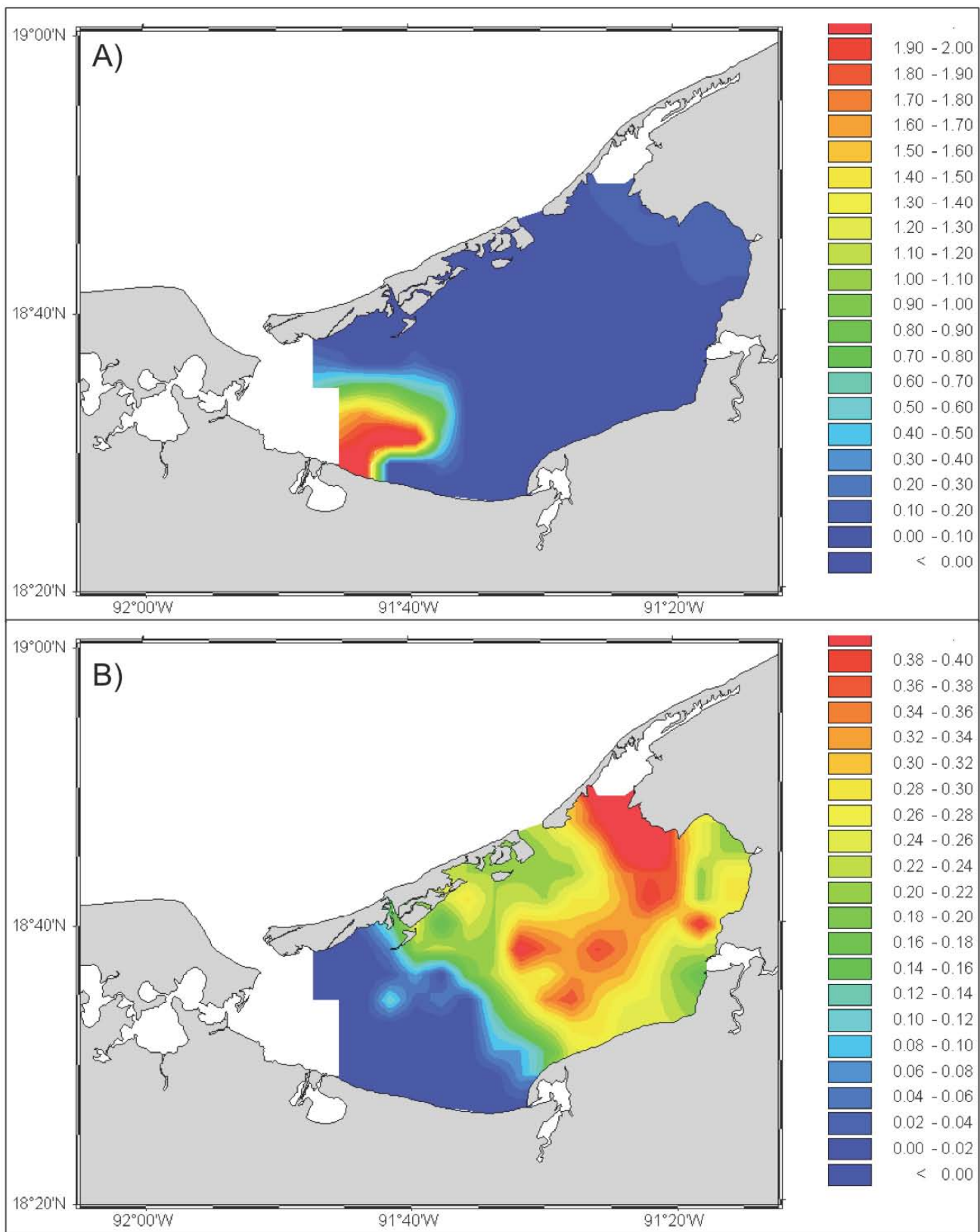


Figura 36. Distribución de las clorofitas (A) y proclorofitas (B).



#### 10.4.3.2 Temporada de lluvias

Durante esta temporada, las bacilariofitas de la fracción micro sólo estuvieron presentes en la zona de la desembocadura del río Palizada, con valores de 0.4 a 2.0 Clā; para el resto de la laguna no se registró la presencia de este grupo (Fig. 37A). Las bacilariofitas de la fracción nano+pico se distribuyeron más ampliamente (Fig. 37B), con el máximo aporte en la desembocadura del río Palizada (0.5 a 1.5 Clā), sin embargo este grupo estuvo pobremente representado en esta temporada, tanto en la fracción micro como en la nano+pico.

Las cianofitas de la fracción microfitoplanctónica estuvieron ampliamente representadas, desde las desembocaduras de los ríos Palizada y Chumpán, hasta la boca de comunicación del Carmen, en el lado oeste de la laguna (Fig. 38A). En el lado oeste se distribuyeron desde el río Candelaria hasta el estero de Sabancuy (1.0 - 4.0 Clā). La fracción nano+pico se distribuyó desde el río Chumpán hasta el estero de Sabancuy, alcanzando valores superiores a 6.0 Clā, los cuales fueron los más altos registrados en la laguna (Fig. 38B).

Las clorofitas sólo estuvieron representadas en la fracción micro y se limitaron a la parte de los ríos Chumpán y Palizada y hasta el sistema lagunar Pom-Atasta (0.14 - 0.40 Clā) (Fig. 39A). Las proclorofitas sólo se presentaron en la fracción nano+pico, y estuvieron presentes en la zona cercana al estero Sabancuy y las desembocaduras de los tres ríos (Fig. 39B), sin embargo fue en el río Palizada donde hubo mayor presencia de este grupo (0.4 Clā) y disminuyó hacia la boca del Carmen (0.1 Clā).

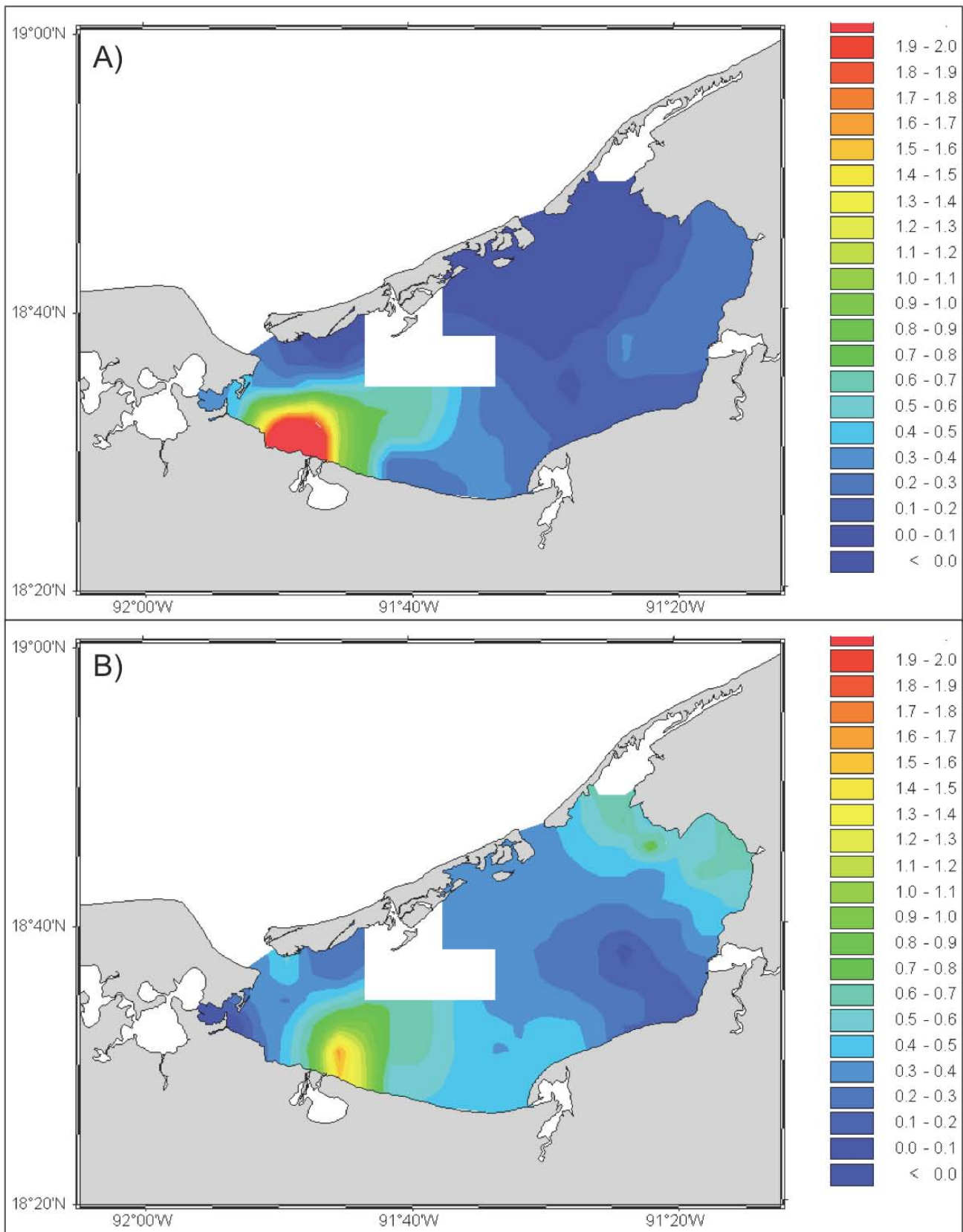


Figura 37. Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico (B).

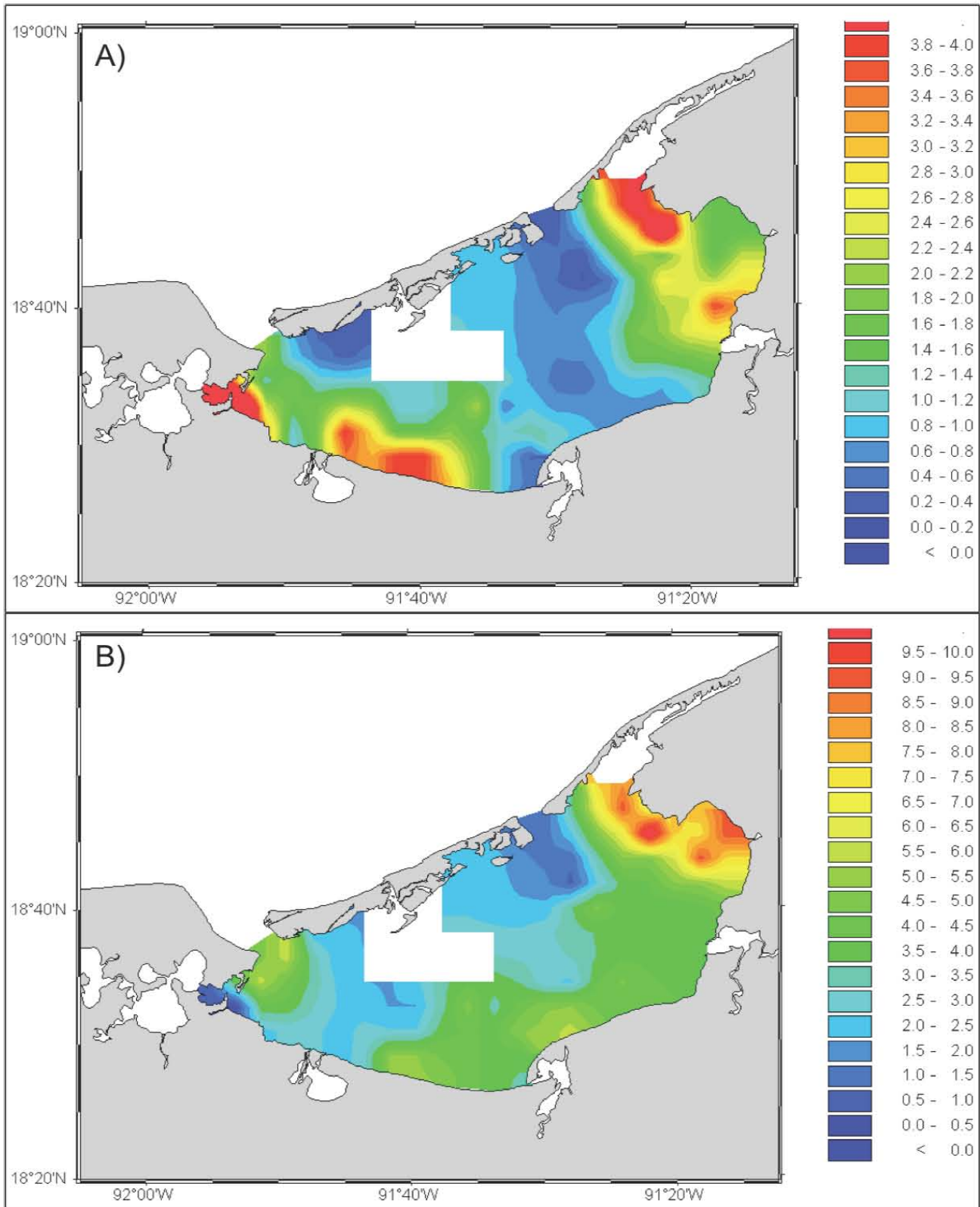


Figura 38. Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico(B).

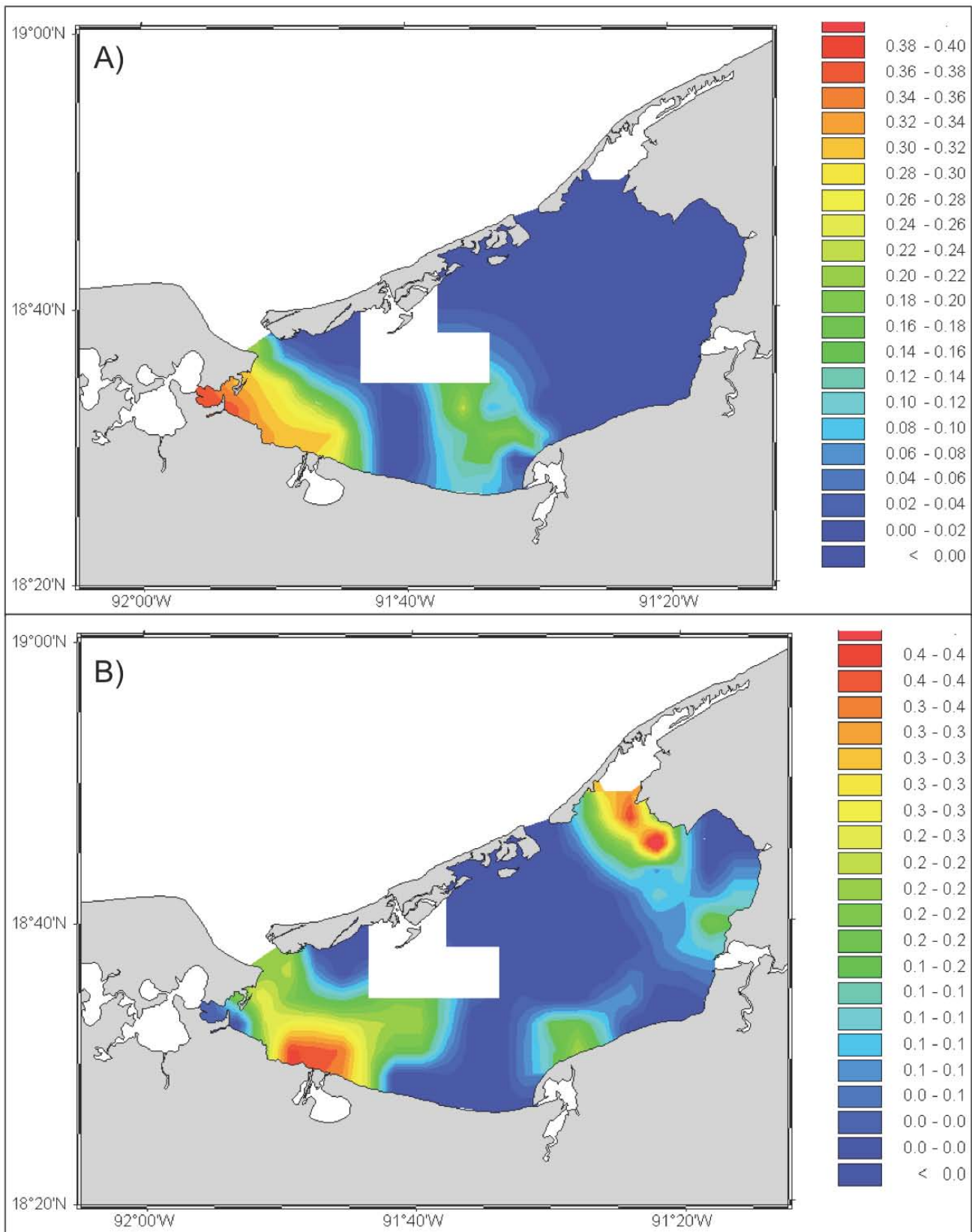


Figura 39. Distribución de las clorofitas (A) y proclorofitas (B).

#### 10.4.3.3 Temporada de nortes

Durante la temporada de nortes, las bacilariofitas de la fracción nano+pico se distribuyeron en las zonas cercanas a los tres principales tributarios (Fig. 40A), con valores que van desde 0.5 hasta 1.3 Clā; la zona cercana al río Palizada y la boca del Carmen, presentó valores de 0.7 - 2.0 Clā. Las bacilariofitas de las fracciones nano+pico tuvieron una mayor cobertura, abarcando desde la boca de Puerto Real hasta el centro de la laguna (0.7 a 1.5 Clā) y desde la desembocadura del río Palizada hasta la porción oeste de la isla del Carmen (0.7 a 2.0 Clā) (Fig. 40B).

Las cianofitas pertenecientes a la fracción del microfitoplancton se distribuyeron de la desembocadura del río Palizada hacia la boca de comunicación del Carmen (0.5 a 1.5 Clā) (Fig. 41A). Por su parte las cianofitas de la fracción nano+pico, tuvieron una distribución más amplia, cubriendo toda el área de la laguna, con los valores más altos ocurriendo en las zonas aledañas a las desembocaduras de los tres principales tributarios (Palizada, Chumpán y Candelaria), con un intervalo de 1.1 a 2.0 Clā (Fig. 41B).

Las clorofitas sólo estuvieron presentes en la fracción micro, limitando su distribución desde la desembocadura del río Palizada hasta el sistema lagunar Pom-Atasta (0.10 - 0.34 Clā) (Fig. 42A).

Las proclorofitas sólo se encontraron representadas en la fracción nano más pico, y únicamente se distribuyeron en zona aledaña al río Palizada y la porción oeste de la isla del Carmen (0.14 a 0.40 Clā) (Fig. 42B).



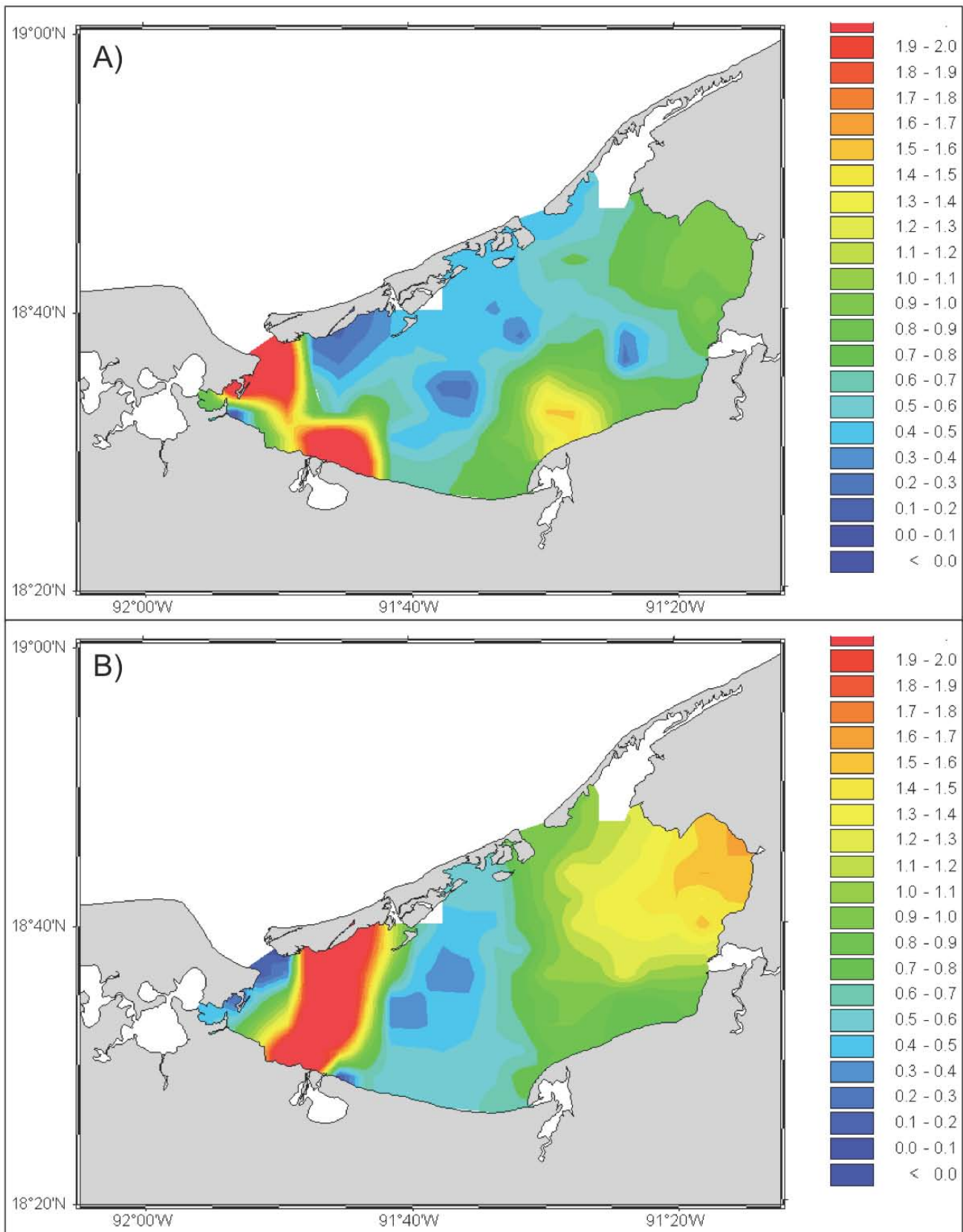


Figura 40. Distribución de las bacilariofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico (B).

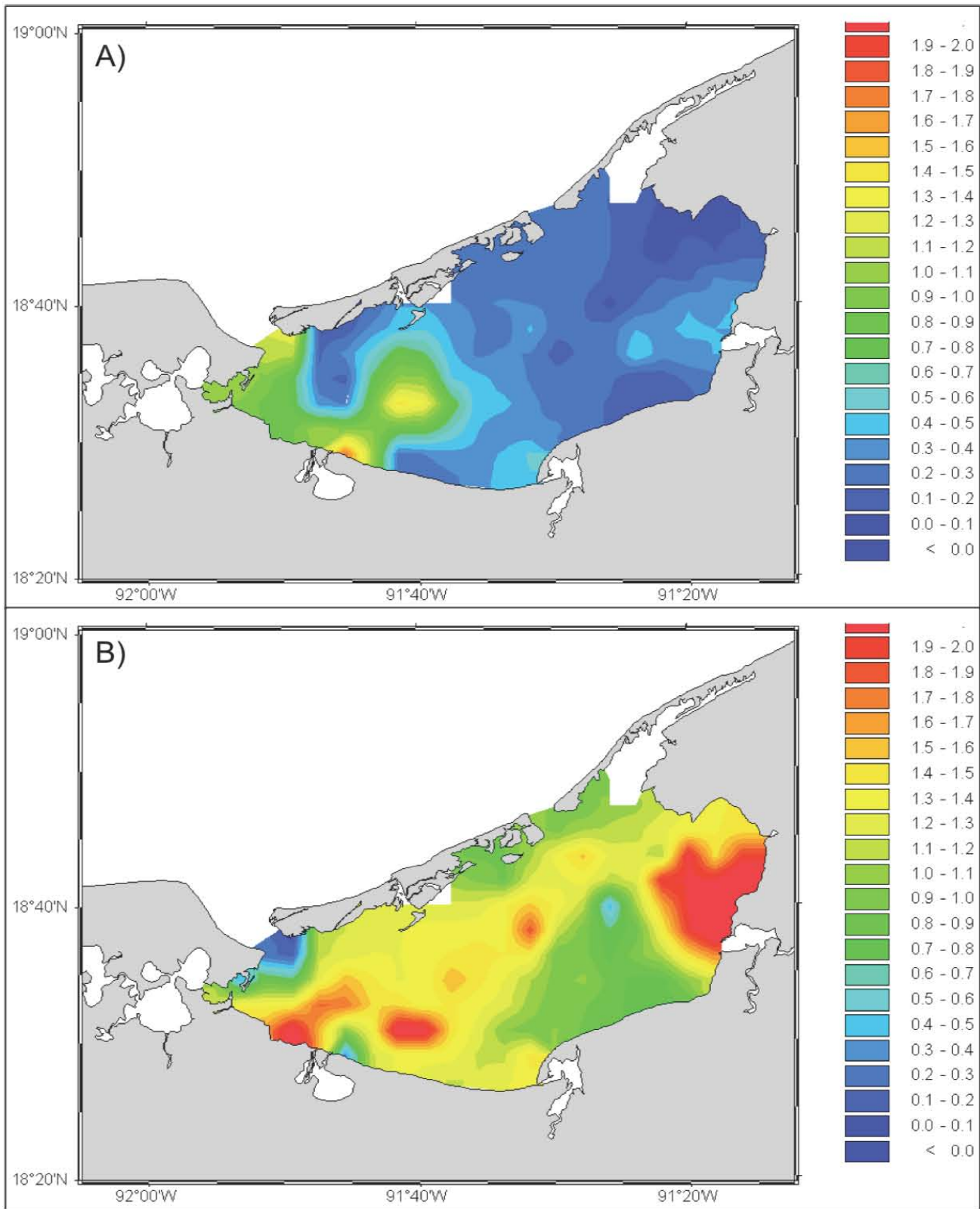


Figura 41. Distribución de las cianofitas correspondientes a la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico (B).

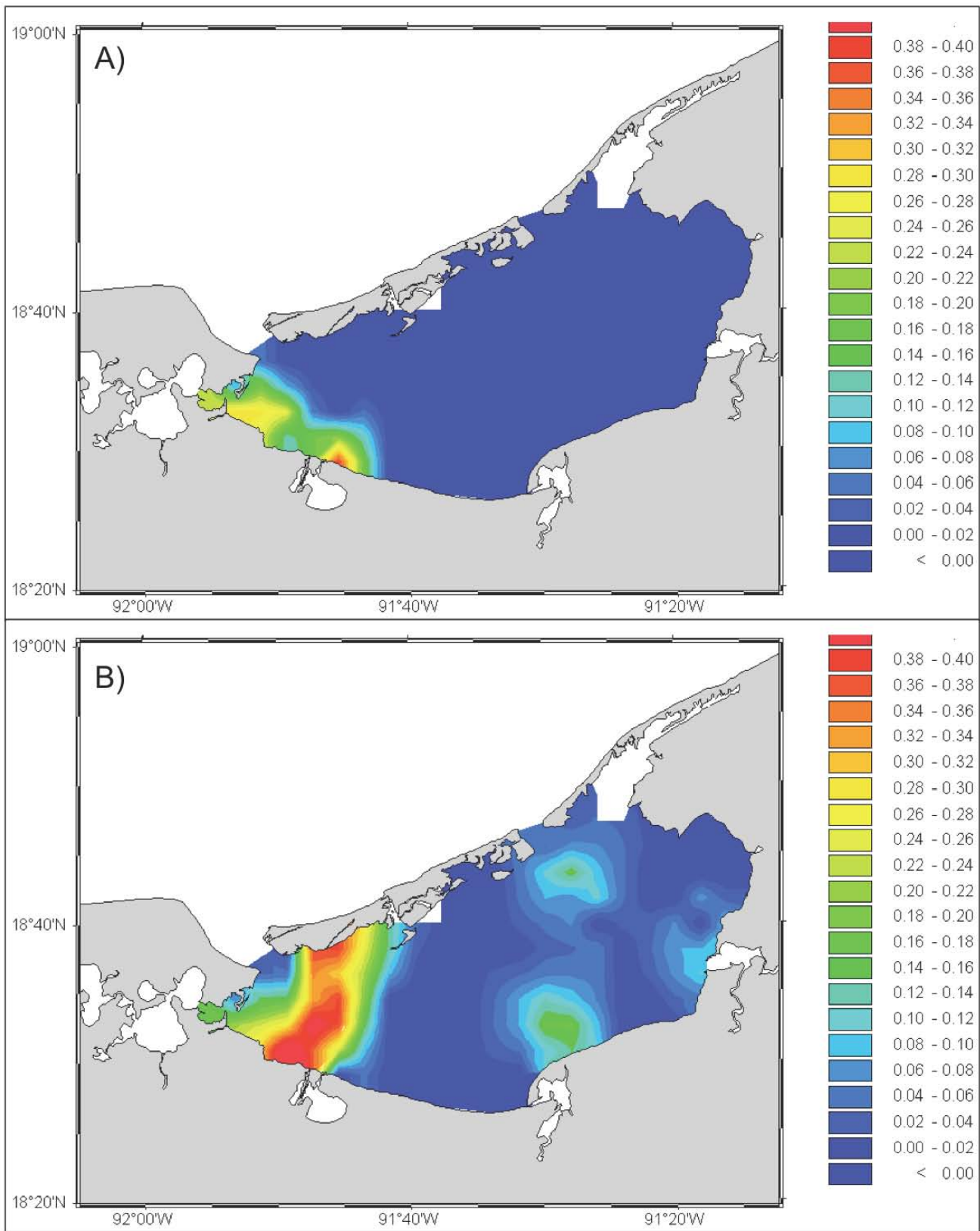


Figura 42. Distribución de las clorofitas (A) y proclorofitas (B).



## 10.5 Fitoplancton

Durante el periodo de muestreo se identificaron un total de 47 taxa, de los cuales 31 correspondieron a las bacilariofitas, cinco a las clorofitas, seis a las dinofitas, cuatro a las cianofitas y uno a las dictiocofitas (Tabla 8), las cuales fueron las más representativas registradas en la laguna de Términos y en Anexos Figs. 7 a 11, se presentan algunas micrografías de las especies identificadas durante el presente estudio..

En la temporada de secas los géneros de bacilariofitas presentes fueron *Coscinodiscus*, *Skeletonema* y *Thalassiosionema* (Fig. 43A), siendo el género fue el más abundante, con una densidad celular de 1696 céls l<sup>-1</sup>, seguido de *Skeletonema* con 2847 y *Coscinodiscus* con 1643 céls l<sup>-1</sup> respectivamente. Para las clorofitas el género *Pediastrum* fue el más abundante, con 2015 céls l<sup>-1</sup>, seguido del género *Closterium* con 744 céls l<sup>-1</sup> (Fig. 43B). Los géneros representativos de dinofitas (Fig. 43C) fueron *Prorocentrum* (542 céls l<sup>-1</sup>), *Gonyaulax* (543 céls l<sup>-1</sup>) y *Protoperidinium* (3292 céls l<sup>-1</sup>). En el grupo de cianofitas sólo se registró la presencia de los géneros *Planktothrix* (21,817 céls l<sup>-1</sup>) y *Merismopedia* (15,258 céls l<sup>-1</sup>)(Fig. 43D).

Durante la época lluvias, los géneros representativos de las bacilariofitas fueron: *Diploneis*, *Coscinodiscus*, *Actynoptichus*, *Pleurosigma* y *Thalassionema* (Fig. 44A), siendo este ultimo el más abundante de los cinco (4887 céls l<sup>-1</sup>). *Pediastrum* fue el unico género de clorofitas que se registró en esta época, con una abundancia de 2244 céls l<sup>-1</sup>; (Fig. 44B). En el caso de las dinofitas, *Tripos*, fue el género menos abundante (142 céls l<sup>-1</sup>), despues *Prorocentrum* (729 céls l<sup>-1</sup>) y *Protoperidinium* (4485 céls l<sup>-1</sup>) fue el género más abundante (Fig. 44C). Finalmente en el grupo de las cianofitas (Fig. 44D), sólo estuvieron presentes los géneros *Planktothrix* (37406 céls l<sup>-1</sup>) y *Merismopedia* (43734 céls l<sup>-1</sup>).

Para la época de los nortes los géneros representativos de las bacilariofitas fueron; *Thalassiosira*, *Diploneis*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Actynoptychus*, *Pleurosigma*, *Gyrosigma* y *Thalassionema*, de los cuales *Thalassionema*, *Coscinodiscus*, *Actynoptychus* y *Pleurosigma* fueron los géneros más abundantes, con densidades celulares de 3214, 1679, 1113 y 991 céls l<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 45A). En lo que a las clorofitas (Fig. 45B) respecta sólo *Pediastrum* (4669 céls l<sup>-1</sup>) y *Closterium* (1243 céls l<sup>-1</sup>) fueron representativos. En el grupo de las dinofitas tres géneros fueron representativos (Fig. 45C), *Protoperdinium* con la mayor abundancia (3795 céls l<sup>-1</sup>), seguido de *Prorocentrum* (870 céls l<sup>-1</sup>) y finalmente el género *Tripos* (732 céls l<sup>-1</sup>). Los géneros de cianofitas (Fig. 45D) fueron *Planktothrix*, *Merismopedia*, *Oscillatoria* y *Nostoc* con una abundancia celular de 8406, 23475, 72392 y 107230 céls l<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabla 8. Especies identificadas y estaciones en las que se encontraron en la laguna de Términos durante 2009.

Taxa	Temporada de Secas							Temporada de Lluvias						Temporada de Nortes												
	T03	T06	T09	T16	T22	T30	T33	T06	T09	T12	T14	T24	T30	T03	T06	T09	T12	T14	T16	T19	T22	T24	T27	T30	T32	T33
<i>Actinoptychus splendens</i> (Shadbolt) Ralfs ex Pritchard	x				x				x	x	x		x	x	x		x			x				x		x
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	x		x		x				x		x	x	x	x	x	x				x						x
<i>Amphora</i> sp.	x		x	x			x																			
<i>Odontella rhombus</i> (Ehrenberg) W.Smith							x	x											x							x
<i>Odontella</i> sp.										x	x				x							x			x	x
<i>Odontella tridens</i> (Ehrenberg) Ehrenberg		x									x						x		x							
<i>Caloneis permagna</i> (J.W.Bailey) Cleve							x																			
<i>Cocconeis</i> sp.		x		x			x		x																	
<i>Chaetoceros</i> sp.	x				x				x				x			x		x						x	x	x
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x			x	x	x		x		x	x	x
<i>Coscinodiscus curvatulus</i> Grunow ex A.Schmidt	x			x	x		x		x		x						x				x			x		
<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg		x	x	x		x	x	x		x	x		x	x	x			x		x				x		x
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough	x			x	x			x	x	x		x				x				x					x	
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	x	x	x			x			x		x		x		x			x				x				
<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran y Angst	x	x	x		x		x	x	x	x		x		x	x	x	x		x			x		x	x	x
<i>Cylindrotheca closterium</i> Ehrenberg																										
<i>Diploneis</i> sp.								x	x	x									x					x		
<i>Gyrosigma</i> sp.																										
<i>Mastogloia</i> sp.					x																					
<i>Nitzschia</i> sp.			x							x																
<i>Odontella regia</i> (Schulze) Simonsen																										
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve				x		x																				
<i>Pleurosigma</i> sp.								x	x	x	x		x													x
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.																										
<i>Skeletonema</i> sp.		x		x	x		x																			
<i>Synedra</i> sp.			x								x															
<i>Thalassionema</i> sp.	x	x		x		x	x		x	x	x		x													
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x				x						x
<i>Thalassiosira</i> sp.		x			x				x		x	x	x	x			x		x	x				x		
<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg			x				x														x					
<i>Triceratium</i> sp. Ehrenberg											x															
<i>Closterium</i> sp.	x	x						x						x	x	x										
<i>Pediastrum biradiatum</i> Meyen	x							x	x					x												
<i>Pediastrum clathratum</i> (Schröder) Lemmermann			x	x				x						x												
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	x	x						x	x					x	x	x										
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	x	x	x					x	x					x	x	x										
<i>Gonyaulax</i> sp.					x		x																			
<i>Tripes cf falciformis</i> (Jørgensen) Gómez																										
<i>Tripes cf furca</i> (Ehrenberg) Gómez								x			x				x				x		x					x
<i>Proocentrum micans</i> Ehrenberg				x													x							x		
<i>Proocentrum gracile</i> Schütt												x							x							
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech	x			x	x	x	x			x	x	x	x				x			x				x	x	x
<i>Planktothrix</i> sp.	x	x		x				x		x			x		x			x							x	
<i>Merismopedia</i> sp.		x	x		x		x		x		x				x									x		x
<i>Nostoc</i> sp.															x						x			x		
<i>Oscillatoria</i> sp.														x	x		x			x				x		x
<i>Dictyocha</i> sp.				x	x																					

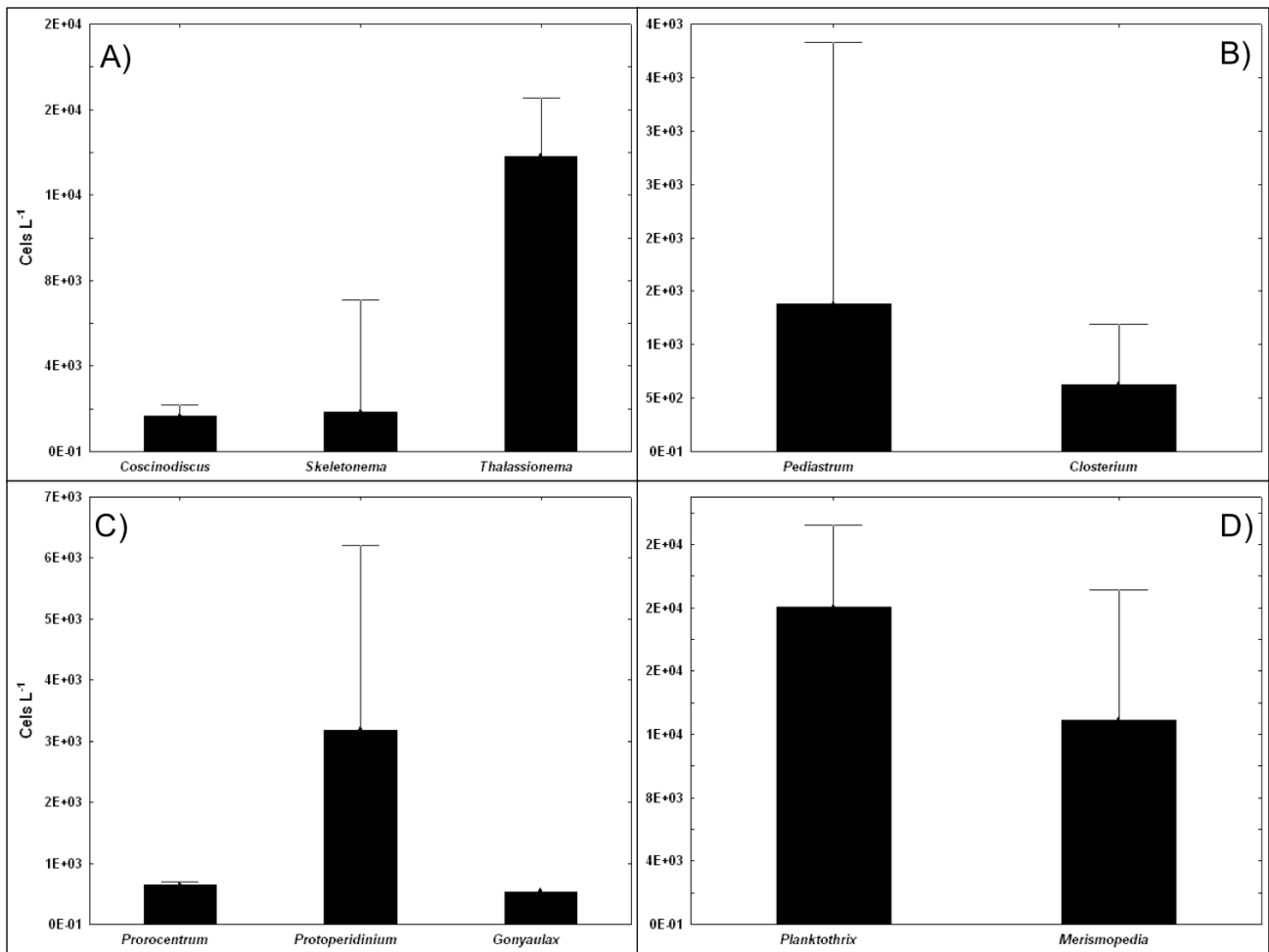


Figura 43. Abundancia de los principales géneros de bacilariofitas (A), clorofitas (B), dinofitas (C) y cianofitas (D), para la temporada de secas.

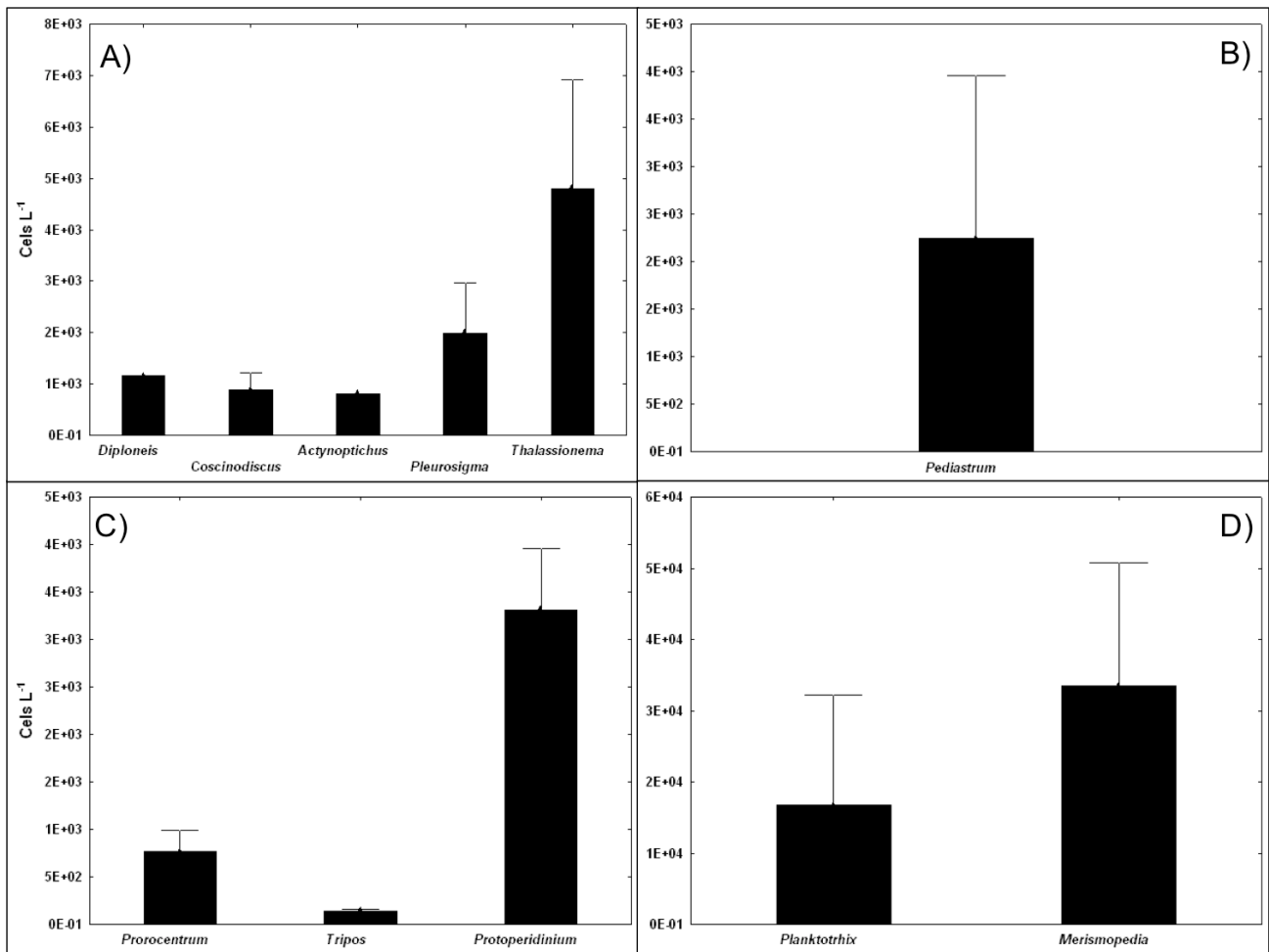


Figura 44. Abundancia de los principales géneros de bacilariofitas (A), clorofitas (B), dinofitas (C) y cianofitas (D), para la temporada de lluvias.

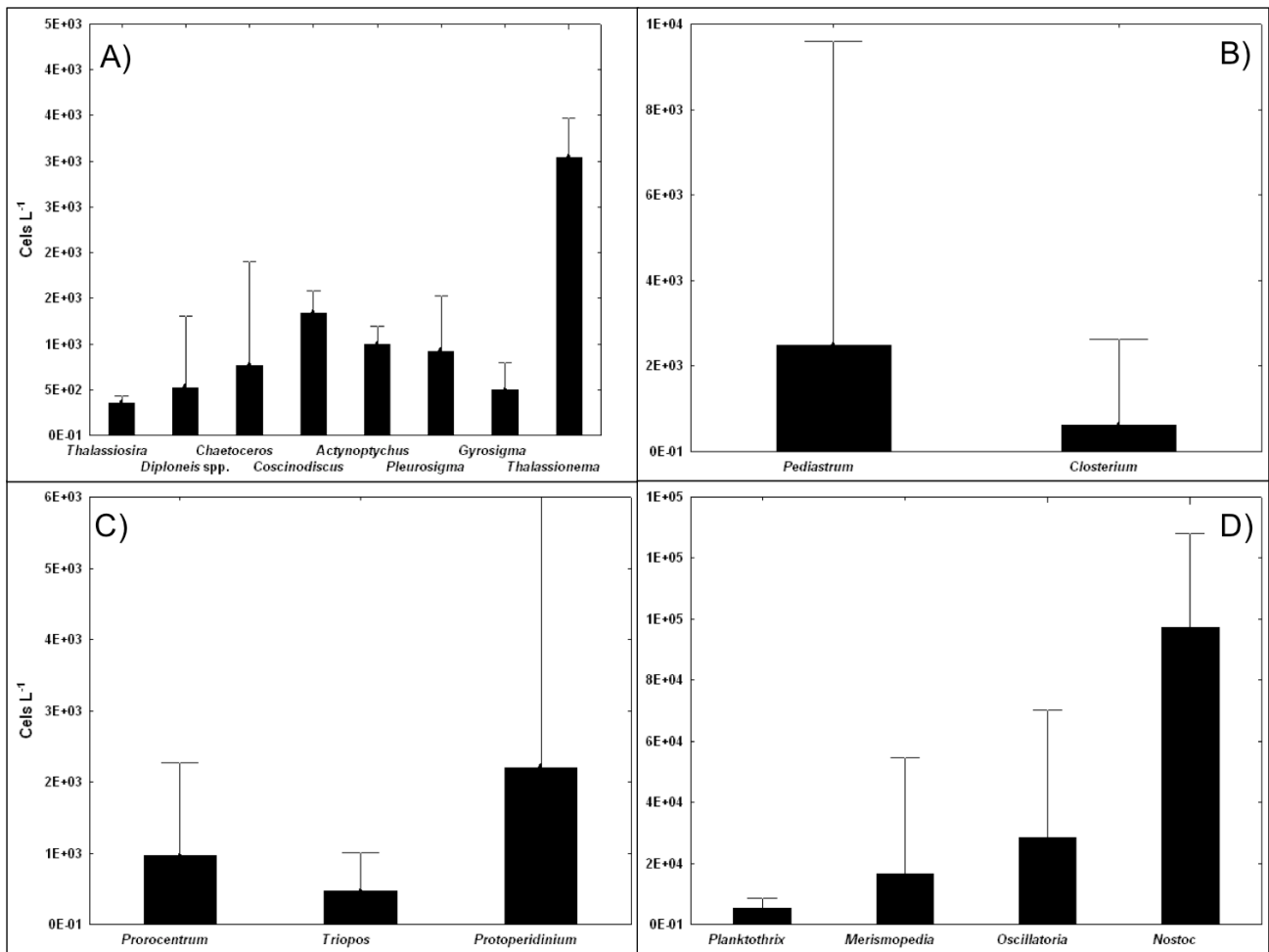


Figura 45. Abundancia de los principales géneros de bacilariofitas (A), clorofitas (B), dinofitas (C) y cianofitas (D), para la temporada de nortes.

## 10.6 Pigmentos accesorios y fitoplancton

A partir del análisis de regresión entre los conteos de células al microscopio vs. la concentración de pigmentos accesorios y siguiendo el modelo adecuado ([Anexos Figs.3 a 6](#)), se determinó que para la temporada de secas, las bacilariofitas tuvieron una relación baja pero significativa con la fucoxantina ([Fig. 46A](#)), sin embargo las células de bacilariofitas no presentaron una relación significativa con el total de clorofila *a* ([Fig. 46B](#)). En el caso de la abundancia celular de clorofitas y la concentración clorofila *b* ([Fig. 46C](#)), sí se presentó una relación significativa, al igual que entre las células de clorofitas y la concentración de clorofila *a* ([Fig. 46D](#)). Los conteos de cianofitas (Céls l<sup>-1</sup>) y la concentración de zeaxantina, tuvieron una relación significativa negativa ([Fig. 46E](#)), sin embargo los conteos sí se relacionaron de manera significativa con el total de clorofila *a* ([Fig. 46F](#)).

Los resultados de *CMF* se compararon con los pigmentos accesorios y en base al análisis de regresión lineal simple se determinó que los pico-eucariontes se relacionaron positiva y significativamente con la concentración de fucoxantina ([Fig. 47A](#)), al igual que con el total de clorofila *a* ([Fig. 47B](#)). El género *Synechococcus* sp. se relacionó significativamente con la concentración de zeaxantina ([Fig. 47C](#)) y de igual manera *Synechococcus* sp. se relacionó con el total de clorofila *a* ([Fig. 47D](#)). En el caso del género *Prochlorococcus* sp. existió una relación significativa entre las células de este género y la concentración de divinil clorofila *a* ([Fig. 47E](#)), así como la densidad celular de *Prochlorococcus* sp. y el total de clorofila *a* ([Fig. 47F](#)).

En la época de lluvias los conteos celulares de bacilariofitas y la fucoxantina, no se relacionaron (Fig. 48A), al igual que los conteos de bacilariofitas con el total de clorofila *a* (Fig. 48B). Las células pertenecientes al grupo de las clorofitas se relacionaron significativamente con la concentración de clorofila *b* (Fig. 48C) y con el total de clorofila *a* (Fig. 48D). En el caso de las cianofitas hubo una relación significativa negativa, tanto en las células contra la zeaxantina (Fig. 48E) como con el total de clorofila *a* (Fig. 48F).

Durante la temporada de nortes el grupo de las bacilariofitas presentó una relación significativa con la concentración de zeaxantina (Fig. 49A) y con el total de clorofila *a* (Fig. 49B). En lo que a las clorofitas respecta, se determinó una relación significativa entre los conteos celulares y la concentración de clorofila *b* (Fig. 49C), al igual que con el total de clorofila *a* (Fig. 49D). Las cianofitas y la concentración de zeaxantina no presentaron ninguna relación (fig. 49E); la relación entre las cianofitas y la clorofila *a* total fue significativa aunque negativa (Fig. 49D).



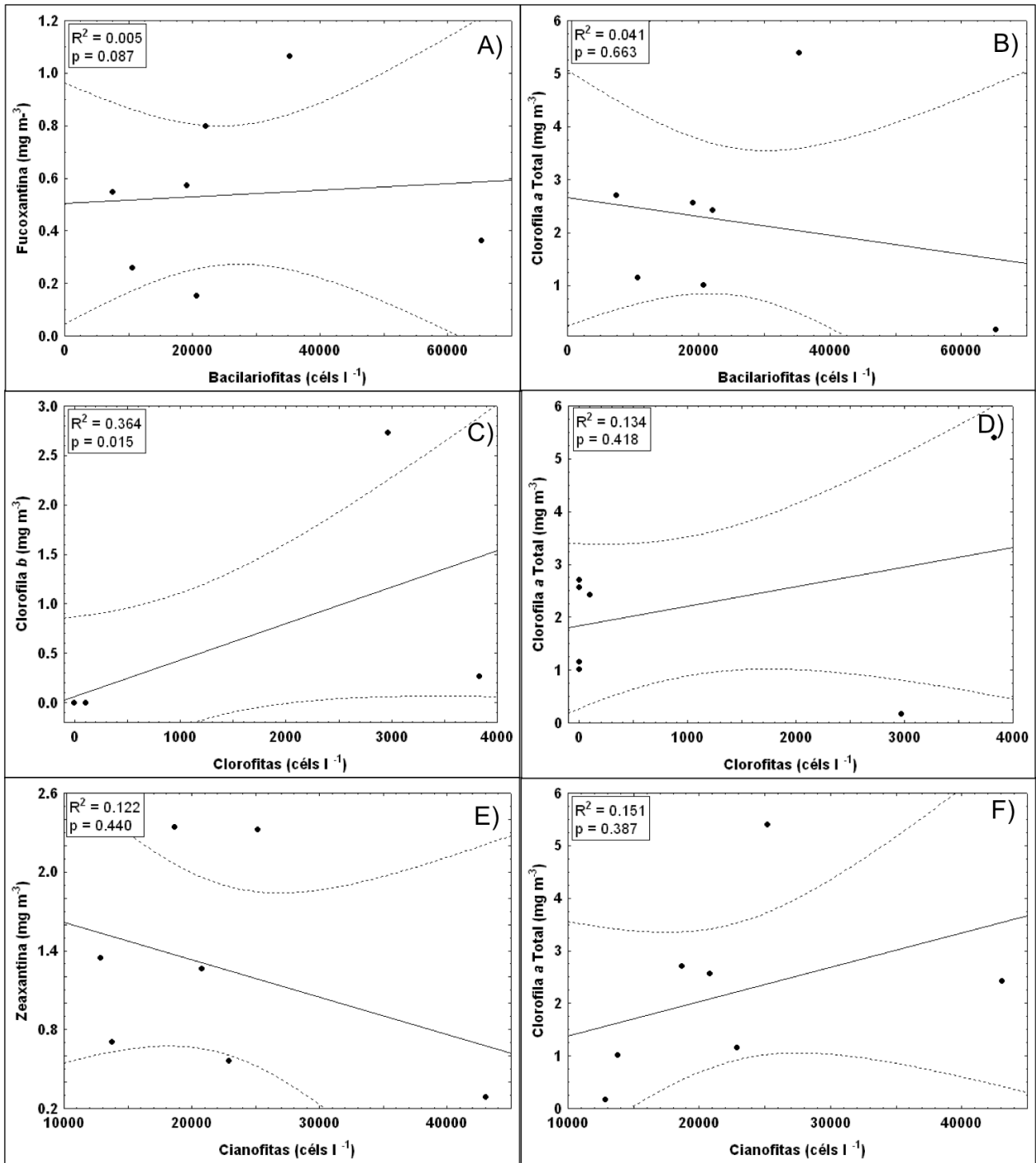


Figura 46. Regresiones lineales entre la densidad de os organismos pretenecientes a los distintos grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, en la laguna de Términos, Campeche; bacilariofitas vs. fucoxantina (A), bacilariofitas vs. clorofila a total (B), clorofitas vs. clorofila b (C), clorofitas vs. clorofila a total (D), cianofitas vs. zeaxantina (E) y cianofitas vs. clorofila a total (F), para la temporada secas.

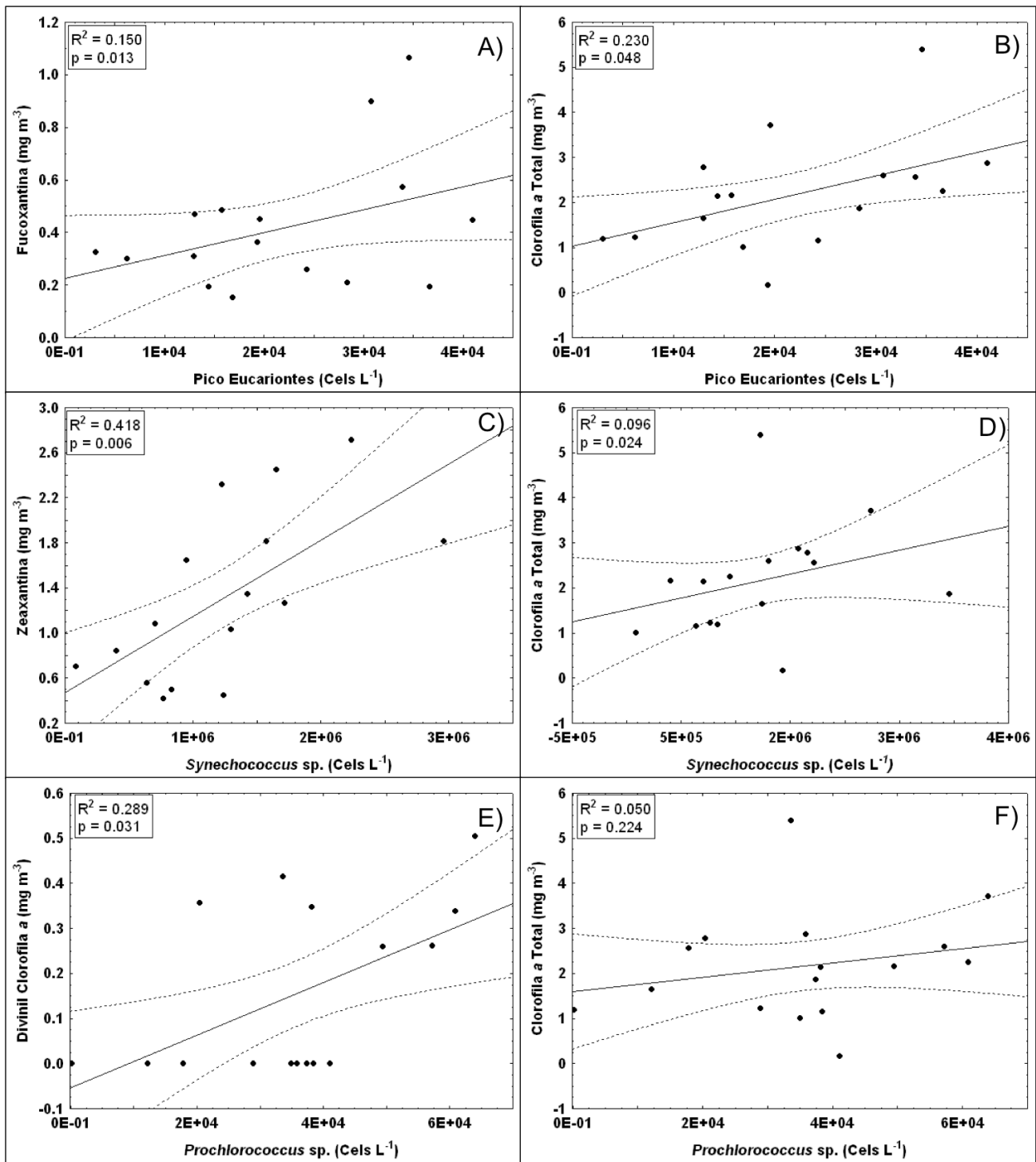


Figura 47. Regresiones lineales entre la densidad de os organismos pretenecientes a los distintos grupos fitoplanctónicos por (CMF) y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, en la laguna de Términos, Campeche; pico eucariontes vs. fucoxantina (A), pico eucariontes vs. clorofila a total (B), *Synechococcus* spp. vs. zeaxantina (C), *Synechococcus* spp. vs. clorofila a total (D), *Prochlorococcus* sp. vs. divinil clorofila a (E) y *Prochlorococcus* sp. vs. clorofila a total (F), para la temporada de secas.

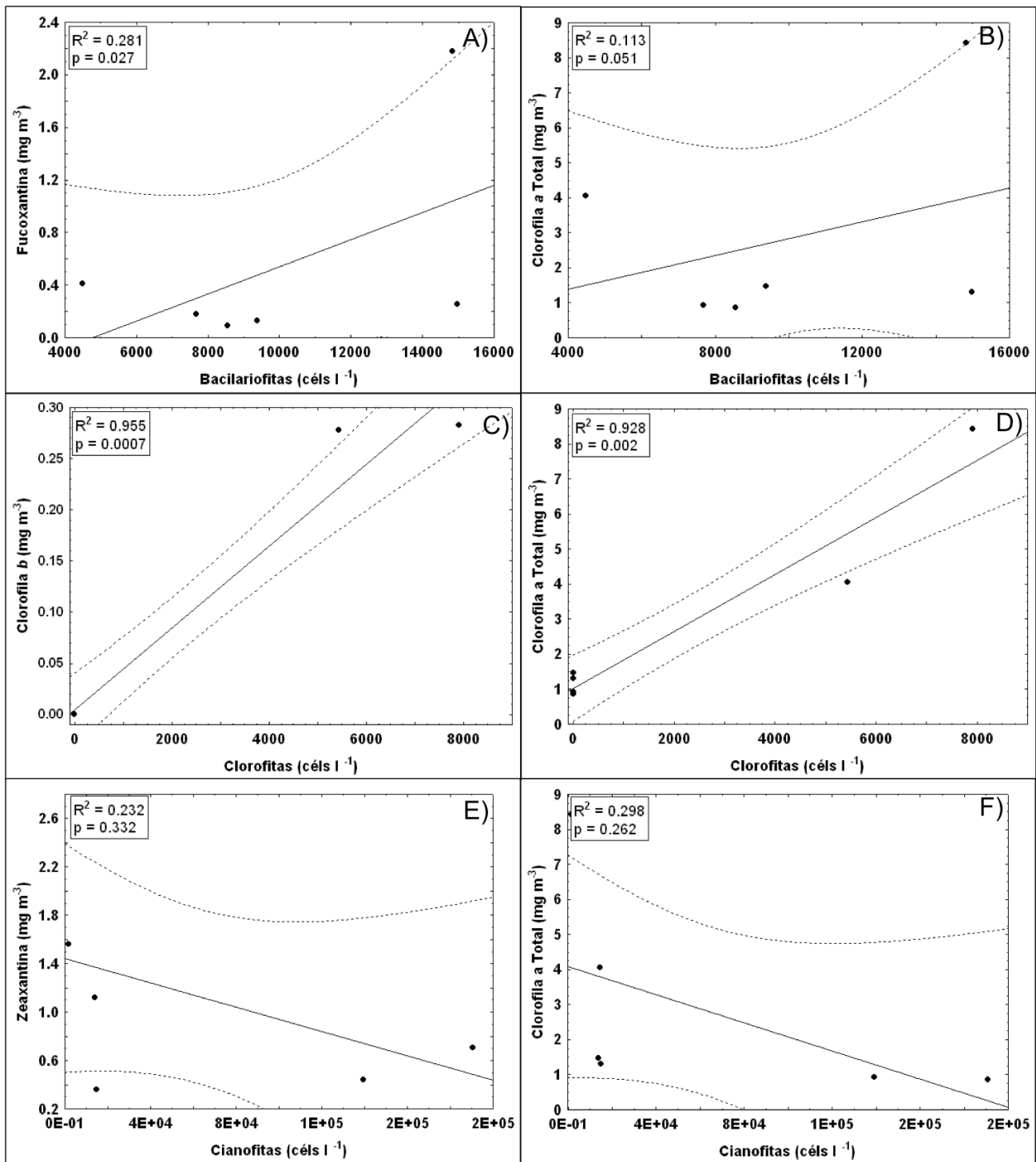


Figura 48. Regresiones lineales entre la densidad de os organismos pretenecientes a los distintos grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, en la laguna de Términos, Campeche; bacilariofitas vs. fucoxantina (A), bacilariofitas vs. clorofila a total (B), clorofitas vs. clorofila b (C), clorofitas vs. clorofila a total (D), cianofitas vs. zeaxantina (E) y cianofitas vs. clorofila a total (F), para la temporada lluvias.

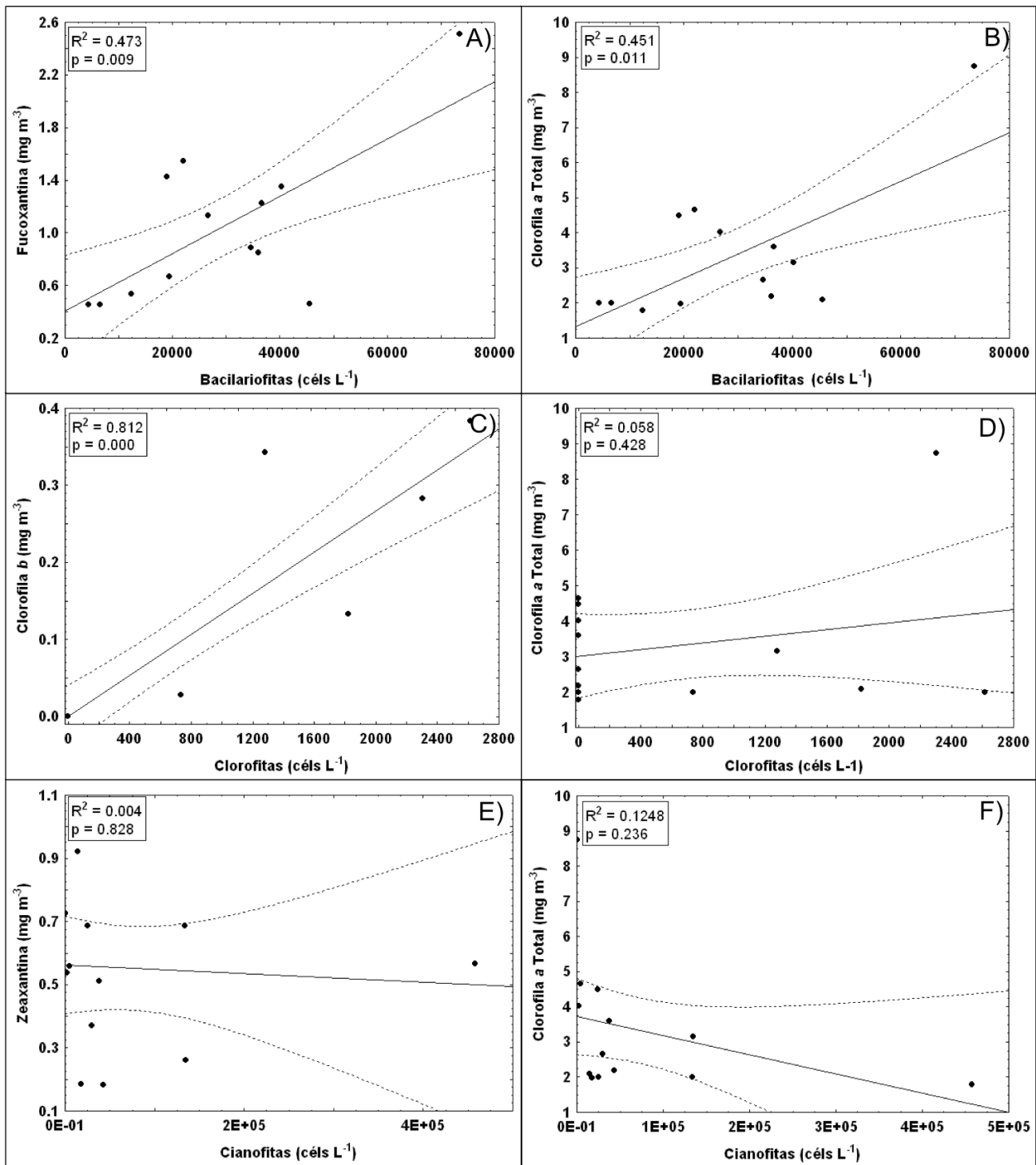


Figura 49. Regresiones lineales entre la densidad de os organismos pertenecientes a los distintos grupos fitoplanctónicos y los pigmentos fotosintéticos y accesorios, en la laguna de Términos, Campeche; bacilariofitas vs. fucoxantina (A), bacilariofitas vs. clorofila a total (B), clorofitas vs. clorofila b (C), clorofitas vs. clorofila a total (D), cianofitas vs. zeaxantina (E) y cianofitas vs. clorofila a total (F), para la temporada nortes.

Con base en el análisis de correspondencia canónica (ACC), se pudieron relacionar los parámetros ambientales con los grupos algales presentes en cada fracción de tamaño respecto a la fracción microfitoplanctónica, en la temporada de secas las bacilariofitas se asociaron con la temperatura, la salinidad y el fósforo orgánico disuelto, las clorofitas con el nitrógeno orgánico disuelto y las cianofitas con la concentración de oxígeno disuelto (Fig. 50A). En la fracción nano+pico, las bacilariofitas se asociaron con el NTD y los feopigmentos; las cianofitas con el FTD, NOD y la temperatura y las proclorofitas con el oxígeno disuelto (Fig. 50B).

En la época de lluvias, respecto a la fracción microfitoplanctónica, las bacilariofitas se asociaron con la turbidez, los ortofosfatos, la salinidad, el oxígeno disuelto, la clorofila *a* total y la concentración de silicatos; las cianofitas se asociaron con el nitrógeno orgánico disuelto, y por su parte las clorofitas se asociaron con la temperatura, el NTD y la concentración de feopigmentos, en la fracción (Fig. 51A). En la fracción nano+pico (Fig. 51B), las bacilariofitas y las cianofitas se asociaron con la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, la turbidez, la concentración de ortofosfatos, los silicatos y el nitrógeno total; por su parte las proclorofitas se relacionaron con los feopigmentos y el NOD.

Finalmente durante nortes en la fracción micro, las bacilariofitas se asociaron con la concentración de clorofila *a* y el fósforo total; las clorofitas con los feopigmentos y las cianofitas con la turbidez, los nitratos y el FOD (Fig. 52A). En la fracción nano+pico, las bacilariofitas se correlacionaron con la concentración de feopigmentos y las cianofitas se asociaron con la concentración de clorofila *a* y los nitratos; finalmente las proclorofitas se asociaron con la turbidez y el fósforo orgánico (Fig. 52B).

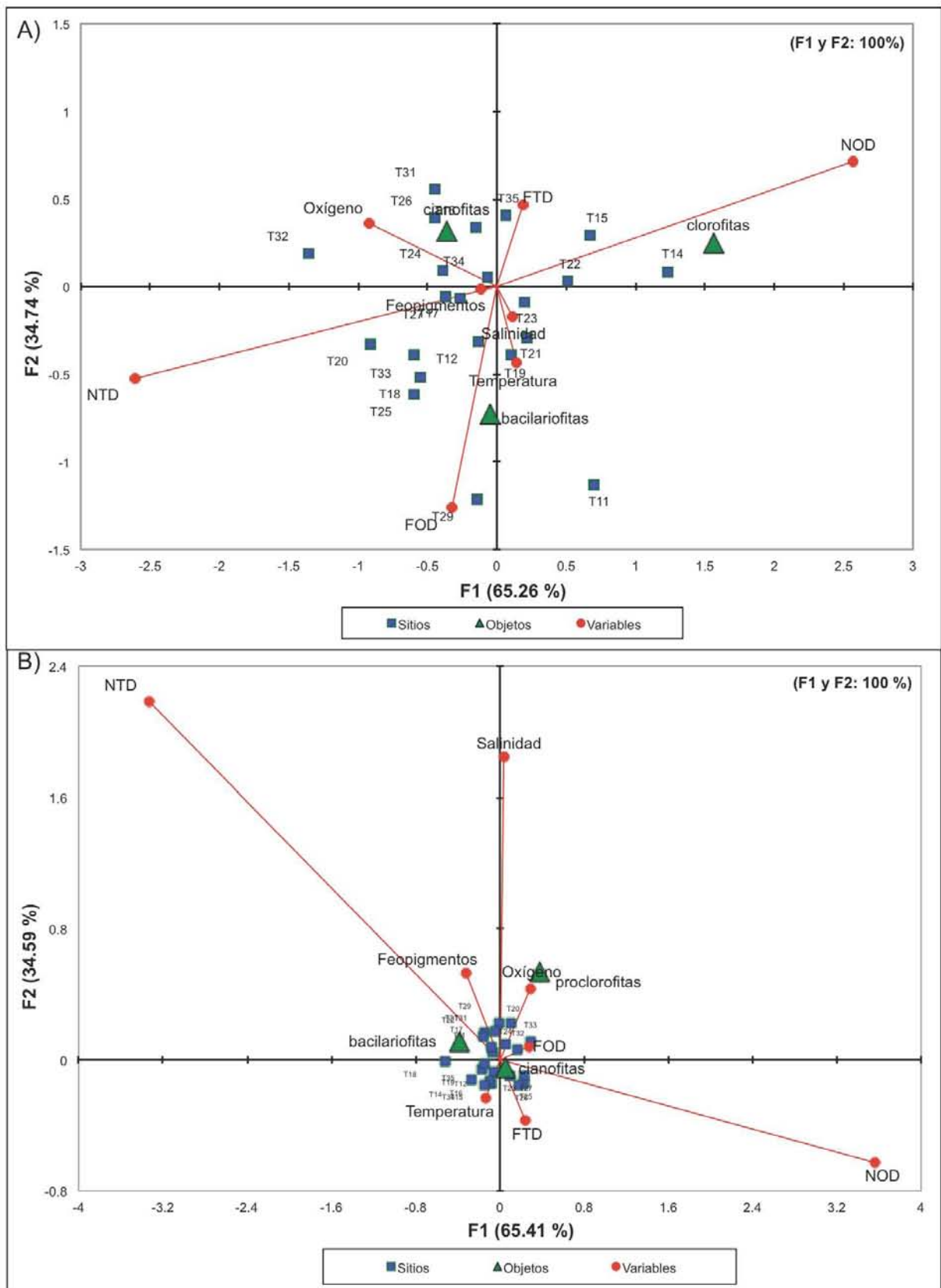


Figura 50. Análisis de correspondencia canónica para la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+picofitoplanctónica (B), para la temporada de secas.

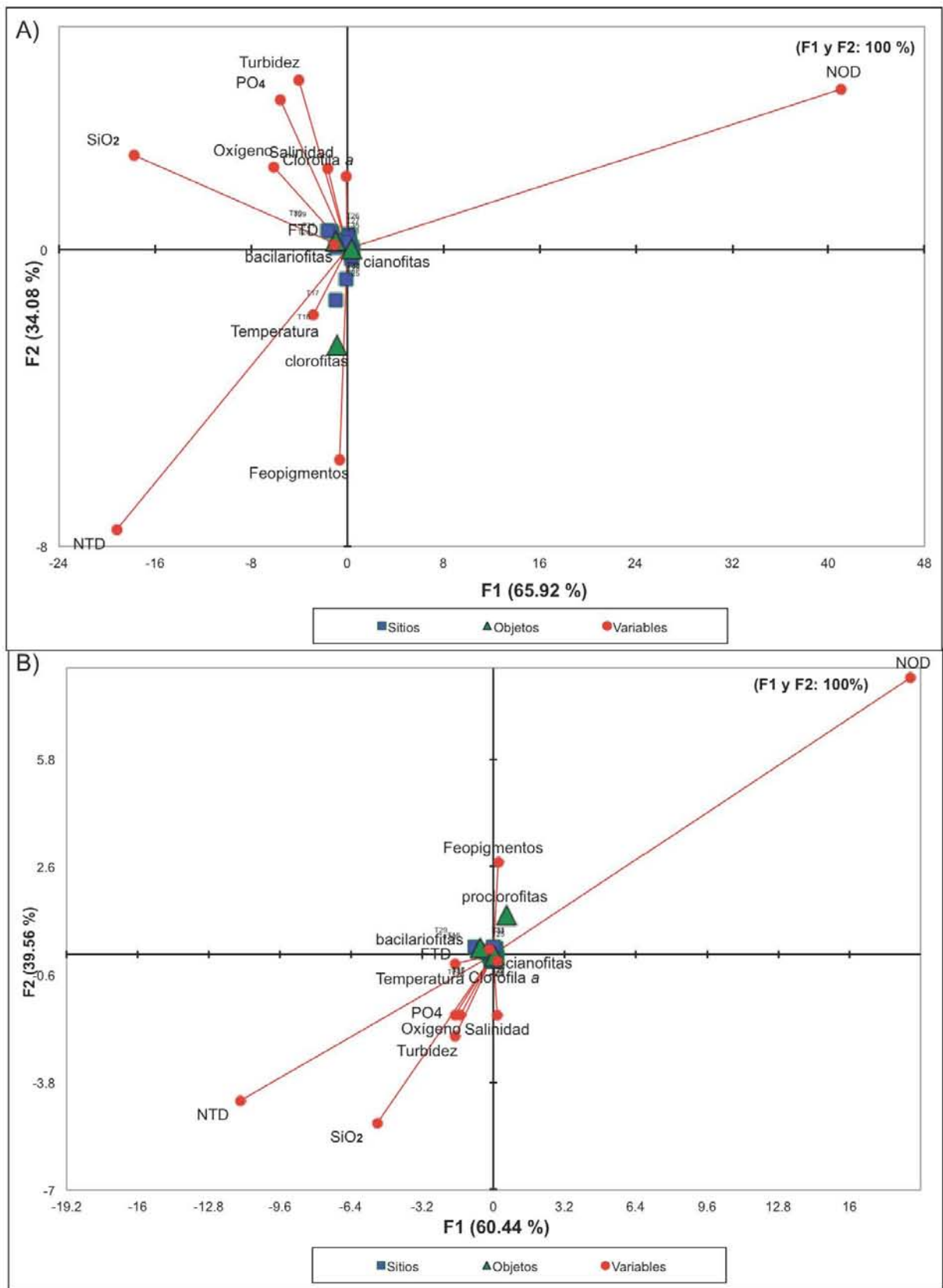


Figura 51. Análisis de correspondencia canónica para la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+pico fitoplanctónica (B), para la temporada de lluvias.

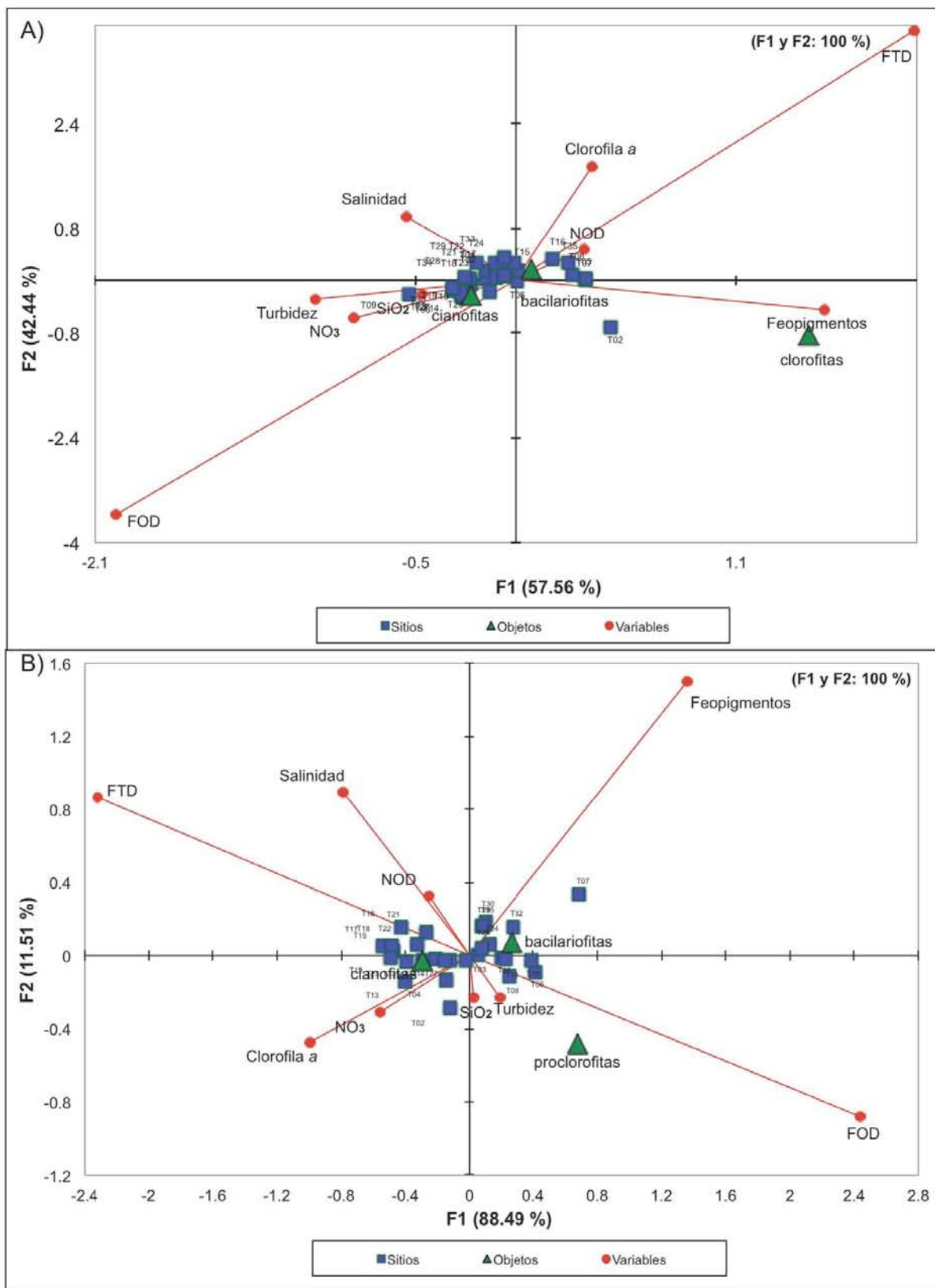


Figura 52. Análisis de correspondencia canónica para la fracción microfitoplanctónica (A) y nano+picofitoplanctónica (B), para la temporada de nortes.



## 11. DISCUSIÓN

### 11.1 Variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos

Las diferencias de temperatura que se presentaron a lo largo del periodo de muestreo correspondieron con las variaciones estacionales reportadas para la laguna de Términos (Rivera-Monroy *et al.*, 1995). Las mayores temperaturas se presentaron en el mes de septiembre (época de lluvias) de acuerdo a Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Rivera-Monroy *et al.*, 1995; Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005, mientras que durante marzo (secas) las temperaturas fueron menores.

Las temperaturas más bajas se presentaron en los meses correspondientes a la época de nortes (octubre y noviembre) (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988), cuando los vientos fríos provenientes del noroeste tienen un efecto significativo sobre la columna de agua (Contreras-Espinosa, 2010), favoreciendo la mezcla turbulenta y con ello provocando una disminución en la temperatura de la columna de agua (Umgiesser y Neves, 2005).

Durante la temporada de secas las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Palizada y Candelaria, así como partes cercanas a Sabancuy presentaron las menores temperaturas, mientras que, en la zona sureste la temperatura fue mayor que en el resto de la laguna, seguramente por que esta región se encuentra muy cercana a la boca de Puerto Real, donde la velocidad de las corrientes que ingresan por esta boca, disminuyen su velocidad de  $1.0 \text{ m s}^{-1}$  hasta  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), lo cual genera una mayor estabilidad en la columna de agua, favoreciendo el aumento de la temperatura y la evaporación (Umgiesser y Neves, 2005).

Durante la temporada de lluvias la temperatura fue similar entre las tres zonas, sin embargo la zona uno se caracterizó por presentar un comportamiento más heterogéneo en comparación con las otras dos, debido a la influencia de las masas de agua marina que entran por la boca de Puerto Real (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014); finalmente durante la temporada de nortes la distribución de la temperatura fue homogénea en toda la laguna ya que no se presentaron diferencias de temperatura entre las tres zonas.

Aunque la salinidad de la laguna fue menor durante la época de secas, se mantuvo por arriba de 27 UPS durante las tres temporadas, seguramente debido a dos factores, por un lado a la constante comunicación de la laguna con el Golfo de México, así como por la elevada evaporación que se presenta en la laguna, lo cual es una característica típica en las lagunas costeras tropicales (Umgiesser y Neves, 2005).

A nivel espacial, los cambios más evidentes en la salinidad son consecuencia de los aportes de agua epicontinental que entran al sistema por los tres ríos principales (Contreras-Espinosa, 2010) ya que se presentaron diferencias espaciales en el interior del sistema durante las tres temporadas, sin embargo los cambios más significativos se presentaron en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, ya que es en estas zonas las aguas epicontinentales tienden a diluir el agua marina (Contreras-Espinosa, 2010b; Botello, 1978).

El hecho de que la concentración de oxígeno disuelto haya sido mayor durante la temporada de nortes en comparación con la de secas y lluvias, seguramente tuvo que ver con que durante esta temporada la temperatura disminuyó, provocando que aumente la solubilidad del oxígeno (Libes, 2009), lo anterior puede estar aunado a que el aumento de la mezcla turbulenta por los vientos típicos de la época de nortes, favorecieron la difusión del oxígeno atmosférico a la columna de agua (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988).

Finalmente, el comportamiento espacial de la turbidez fue muy similar entre las tres temporadas, con la mayor turbidez en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, ya que éstos son la principal fuente de materia orgánica particulada,, sedimentos y sólidos suspendidos (Botello, 1978), sobre todo por el río Palizada.

La turbidez en la laguna fue mayor durante secas en comparación con las otras dos temporadas, así mismo, en esta época la turbidez tuvo una distribución heterogénea a lo largo de la laguna, no así durante temporada de lluvias y nortes, donde la turbidez fue más homogénea (Botello, 1978).

El aporte de agua epicontinental proveniente de los ríos también se ve reflejado en las concentraciones de silicatos, ortofosfatos, nitrógeno total, nitrógeno orgánico, fósforo total y fósforo orgánico, que fueron mayores durante la temporada de lluvias (David y Kjerfve, 1998) en comparación con secas y nortes.

A nivel espacial en cuanto a los nutrientes se refiere, se presentó un comportamiento similar entre las tres temporadas, con máximos en dos zonas de la laguna. La primera correspondió a la zona cercana a Sabancuy, donde se registraron las mayores concentraciones, probablemente por la estabilidad de esta zona, ya que es aquí en donde las corrientes son menos intensas (Contreras-Ruiz *et al.*, 2014). La segunda zona fue la cercana a la desembocadura del río Palizada ya que éste es el principal tributario de la laguna e incorpora grandes cantidades de nutrientes terrigenos al sistema (David y Kjerfve, 1998).

Lo anterior evidenció la estacionalidad que se presentó en la laguna de Términos durante el periodo de muestreo, en donde, el comportamiento de los parámetros físico-químicos, proporcionaron la información necesaria para determinar que los muestreos realizados correspondieron a las temporadas de secas, lluvias y nortes anteriormente descritas (Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; David y Kjerfve, 1998; Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005; Contreras-Ruiz *et al.*, 2014).

## 11.2 Estado trófico y relación N:P

La laguna de Términos recibe aportes de aguas epicontinentales con una elevada carga de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, así como materia orgánica, la cual al oxidarse pondrá a disposición nutrientes (Nixon, 1995), los cuales pueden modificar las características tróficas del sistema (Vollenweider *et al.*, 1998); adicionalmente, la resuspensión del fondo por corrientes de marea pueden poner a disposición una mayor cantidad de nutrientes que pueden provocar problemas de eutroficación en el sistema (Gamito *et al.*, 2005).

Sin embargo, el hecho de que el valor del índice TRIX es menor a cuatro unidades durante todo el periodo de muestreo, indica un estado trófico bajo, es decir, sin signos de eutroficación (Salas *et al.*, 2008). Esta situación puede relacionarse con el efecto que tienen las corrientes de marea diurnas y semi-diurnas presentes en el sistema, las cuales mueven las masas de agua marina que entran por la boca de Puerto Real hacia la boca del Carmen (Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), en un promedio de 10 días (David y Kjerfve, 1998), favoreciendo así que las aguas epicontinentales ricas en materia orgánica y nutrientes abandonen el sistema rápidamente.

La producción primaria de los ecosistemas acuáticos está limitada principalmente por la concentración de nitrógeno y fósforo (Howarth, 1997; Herbert, 1999; Gürel *et al.*, 2005), dado que el cambio de la limitación por fósforo a nitrógeno se mueve de la parte epicontinental hacia la zona costera y marina (Correll, 1998), los ambientes epicontinentales estarán limitados principalmente por fósforo mientras que los ambientes costeros y marinos estarán limitados principalmente por nitrógeno (Gürel *et al.*, 2005).

La proporción N:P de la laguna de Términos no presentó diferencias temporales, ya que durante las tres temporadas de muestreo, se encontró relativamente limitada por nitrógeno ( $N:P < 16$ ), probablemente por que las masas de agua marina con alta transparencia entran al sistema por las bocas de comunicación (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). Sin embargo se presentaron algunos casos extraordinarios que estuvieron limitados por fósforo, principalmente en las desembocaduras de los ríos, ya que éstos aportaron aguas epicontinentales, particularmente el río Palizada (Gold-Bouchot *et al.*, 1993).

Lo anterior pone en evidencia la influencia que los ríos tienen sobre aparente limitación por nutrientes en algunos sitios del sistema, pero además las bocas de comunicación pueden tener aún un mayor efecto sobre la magnitud de la biomasa generada en el sistema y el tipo de microalgas presentes en el mismo (Gürel *et al.*, 2005).

### 11.3 Clorofila *a* por fracciones de tamaño

La laguna de Términos recibe grandes volúmenes de aguas epicontinentales con una elevada carga de nutrientes y materia orgánica, debiéndose comportarse como un ambiente tendiente a la eutroficación (Nixon, 1995) en donde la limitación a la comunidad fitoplanctónica estaría dada por la luz (Legendre y Rassoulzadegan, 1995), favoreciendo por lo tanto la dominancia de la fracción de tamaño microfitoplanctónica.

Sin embargo, la laguna de Términos presentó un estado trófico bajo; es decir, sin efectos de eutroficación y una aparente limitación por nutrientes, como sucede en ambientes marinos (Legendre y Rassoulzadegan, 1995) y la fracción nano+pico aportó más del 70% al total de la biomasa durante las tres épocas, contrario a lo que se esperaría al tratarse de un ambiente costero, según el modelo propuesto por Legendre y Rassoulzadegan (1995), lo cual puede asociarse con el hecho de que la laguna permaneció aparentemente limitada por nitrógeno durante las tres temporadas, como sucede en los ambientes marinos (Li *et al.*, 2015).

Durante las lluvias, la biomasa aportada por la fracción micro presentó una mayor variación que en el resto de las temporadas, probablemente porque durante esta temporada se presentaron estaciones con un valor de N:P>16, es decir limitadas por fósforo, principalmente en las desembocaduras de los ríos, los cuales son la fuente principal de aguas epicontinentales (D'Elia *et al.*, 1986; Fisher *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2011).

Durante las tres temporadas la fracción nano+pico fue la que aportó mayor biomasa y se distribuyó de manera homogénea en toda el área de la laguna, con concentraciones altas de biomasa cerca del río Palizada; la fracción microfitoplanctónica alcanzó sus mayores concentraciones de clorofila a únicamente en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, sin embargo en el resto de la laguna el aporte de biomasa por parte de esta fracción fue muy bajo o incluso nulo, probablemente por la aparente limitación por nitrógeno, ya que cuando un sistema se encuentra limitado por nutrientes, son las fracciones pequeñas las que aprovechan más eficientemente los escasos recursos (Ptacnik *et al.*, 2010; Domínguez *et al.*, 2011; Baek *et al.*, 2015)

#### 11.4 Feopigmentos, turbidez y pigmentos diagnósticos

Otros productores primarios presentes en la laguna, como son los manglares (Rivera-Monroy *et al.*, 1995), las macroalgas y los pastos marinos (Yáñez-Arancibia, 1988), pueden contribuir con pigmentos que eventualmente pueden confundirse con los pigmentos pertenecientes al fitoplancton. Por ejemplo, la clorofila *a* al desprenderse de su organismo de origen, pierde el núcleo de Mg y se transforman en feofitina *a*, piroporfirina *a*, feoforbida *a* y pirofeoforbida *a* (Louda, 2007), que en conjunto se les denomina feopigmentos, además cuando el fitoplancton muere también puede contribuir a la formación de estos compuestos en la columna de agua (Louda *et al.*, 2002, 1998).

Por lo anterior fue importante considerar la contribución de los feopigmentos por otros productores primarios e incluso aquellos que se encontraban en los sedimentos de la laguna, producto de la degradación de la clorofila *a*, ya que al haber mezcla turbulenta y resuspensión de los sedimentos se puede incrementar la concentración de feopigmentos y aumentar la turbidez. Si esto es fuese cierto, la turbidez debería de relacionarse significativamente con la presencia de feopigmentos en la columna de agua (Louda *et al.*, 2004; Louda, 2007;).

Sin embargo, los resultados indicaron que no se presentó ninguna relación significativa entre los feopigmentos y la turbidez, por lo tanto se puede mencionar que en los análisis realizados, no hubo una incorporación significativa de pigmentos provenientes de otras comunidades de productores primarios (Louda, 2007). Por lo anterior se puede asegurar que las estimaciones de feopigmentos y todos los pigmentos cuantificados por HPLC en este estudio, correspondieron a pigmentos aportados por la comunidad fitoplanctónica del sistema.

Adicionalmente, la determinación de los pigmentos diagnósticos (PD) ayudaron a determinar que los pigmentos accesorios se relacionaron significativamente con el total de clorofila *a*, lo cual permite asegurar que la estimación de los pigmentos fitoplanctónicos fue correcta, ya que análisis de los DP es un estimador válido para determinar si los pigmentos accesorios contribuyeron de manera equitativa al total de clorofila *a* (Vidussi *et al.*, 2001).

#### 11.5 Grupos fitoplanctónicos por fracciones de tamaño

Para tener la certeza de que el pigmento estimado por HPLC correspondió a cada grupo fitoplanctónico, fue necesario comparar las concentración de los diferentes pigmentos y las abundancias de los distintos grupos fitoplanctónicos presentes en la (Stauber y Jeffrey, 1988; Mackey *et al.*, 1996; Rodríguez *et al.*, 2003; Zapata *et al.*, 2004).

Las regresiones lineales entre las abundancias celulares y la concentración de pigmentos accesorios en la laguna de Términos, permitieron establecer que la fucoxantina (generalmente indicativo de las bacilariofitas) se relacionó significativamente con este grupo (Stauber y Jeffrey, 1988; Jeffrey *et al.*, 2011). De igual manera, la abundancia celular de bacilariofitas presentó una relación significativa con el total de clorofila *a*, confirmando la contribución significativa de las diatomeas al total de la biomasa del sistema (Vidussi *et al.*, 2001).

En el caso del grupo de las clorofitas, se estableció una relación significativa entre la abundancia celular y la concentración de clorofila *b*, el cual es el pigmento característico de dicho grupo (Burger-Wiersma *et al.*, 1986; Jeffrey, 1997; Jeffrey y Wright, 1997; Jeffrey *et al.*, 2011). Al igual que con las bacilariofitas, la abundancia de clorofitas se relacionó significativamente con la concentración de clorofila *a* total, por lo que se puede asegurar que también contribuyeron significativamente a la biomasa fitoplanctónica de la laguna de Términos.



En lo que al grupo de las cianofitas respecta, no se presentó ninguna relación positiva entre la abundancia celular y la concentración de zeaxantina, que es el pigmento marcador del grupo (Whitton y Potts, 2002; Jeffrey *et al.*, 2011), indicando que tal pigmento no fue aportado por las cianofitas identificadas por microscopía de luz, las cuales correspondieron a los géneros *Planktothrix*, *Merismopedia*, *Oscillatoria* y *Nostoc*.

Lo anterior sugiere que existe otro aporte de zeaxantina en el sistema. Para investigar lo anterior, durante la temporada de secas se utilizó el análisis de citometría de flujo, determinándose la presencia del género *Synechococcus* sp. el cual es una picocianofita cocoide que puede alcanzar grandes abundancias (Six *et al.*, 2004; Glé *et al.*, 2008). En este caso, la abundancia de *Synechococcus* sp. se relacionó significativamente con la concentración de zeaxantina y con el total de clorofila *a*, demostrando la contribución de este género a la concentración registrada de este pigmento en la laguna.

A través del mismo análisis de citometría de flujo, con el cual se determinó la presencia de *Synechococcus* sp., se pudo establecer la presencia de una población del género *Prochlorococcus* sp. el cual es también una picocyanophyta cocoide (Jeffrey *et al.*, 2011), caracterizada por presentar divinil clorofila *a* como pigmento fotosintético principal (Chisholm *et al.*, 1988; Jeffrey *et al.*, 2011). El análisis corroboró que las abundancias de *Prochlorococcus* sp. se relacionaron significativamente con la concentración de divinil clorofila *a*, y el total de clorofila *a*, el cual se calculó a partir de la suma de monovinil clorofila *a* y divinil clorofila *a* (Vidussi *et al.*, 2001).

Las contribución al total de la biomasa de las bacilariofitas pertenecientes a la fracción micro fue menor que las de la fracción nano+pico, probablemente esto se deba a que estas últimas asimilan rápidamente los nutrientes disponibles (Legendre *et al.*, 1999). Adicionalmente, la limitación por N suele ser un factor limitante para las poblaciones de bacilariofitas grandes (Roelke *et al.*, 1999; Glé *et al.*, 2008) ya que los géneros dominantes identificados mediante microscopía de luz durante las tres épocas fueron: *Thalassionema*, *Coscinodiscus* y *Actynoptychus*.

Durante la temporada de nortes, las bacilariofitas presentaron una mayor contribución (0.70 Cl  $\bar{a}$ ) al total de clorofila *a* en comparación con las temporadas de secas y lluvias (0.50 y 0.17 Cl  $\bar{a}$  respectivamente), probablemente porque la mezcla turbulenta generada por los vientos provenientes del noroeste, tiene un efecto significativo sobre la laguna (Loyo-Rebolledo, 1965; Gómez-Aguirre, 1974; Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; David y Kjerfve, 1998), debido a que generalmente las bacilariofitas proliferan más fácilmente en un ambiente turbulento que el resto de los grupos fitoplanctónicos (Margalef, 1978; Glé *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2011).

Asimismo, las fracciones micro y nano+pico de bacilariofitas se asociaron significativamente con el NTD, FTD, NOD y los silicatos, debido a que ambas fracciones de tamaño aprovechan eficientemente estos nutrientes (Seoane *et al.*, 2006). A lo largo del sistema, las bacilariofitas alcanzaron sus mayores concentraciones en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, principalmente el Palizada, debido a que en las zonas de desembocadura los aportes de nutrientes tienden a ser altos (Glé *et al.*, 2008; Becker *et al.*, 2010)

Las clorofitas sólo estuvieron presentes en la fracción micro, siendo el género más abundante *Pediastrum*, este grupo y en particular el género *Pediastrum* es común en ambientes epicontinentales (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2008; Becker *et al.*, 2010).

Durante las tres temporadas, las clorofitas únicamente se distribuyeron en la zona cercana a la desembocadura del río Palizada, el cual es el tributario que aporta mayores volúmenes de agua epicontinental a la laguna (Gómez-Aguirre, 1974; Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005; Contreras-Espinosa, 2010b; Contreras-Ruíz *et al.*, 2014), por lo que sólo se asociaron con el NTD y NOD de acuerdo con el ACC.

Durante las tres épocas, las cianofitas pertenecientes a la fracción micro, tuvieron un mayor aporte al total de la biomasa en comparación con las bacilariofitas y clorofitas de la misma fracción. En época de lluvias se registraron los mayores equivalentes de clorofila *a* de cianofitas, probablemente porque en esta temporada el aporte de aguas epicontinentales ricas en fósforo aumentó (Glé *et al.*, 2008) y se sabe que algunas cianofitas filamentosas o coloniales utilizan el fósforo de manera más eficiente que el resto de los grupos fitoplanctónicos (Whitton y Potts, 2002; Gürel *et al.*, 2005); el aporte de fósforo a la laguna por efecto de los escurrimientos epicontinentales durante las lluvias (Glober *et al.*, 2006; Becker *et al.*, 2010; Domínguez *et al.*, 2011) pudo ser el factor que favoreció la proliferación de este grupo.

Durante las tres épocas estudiadas, la distribución de las cianofitas de la fracción micro se restringió a las zonas de las desembocaduras de los ríos Palizada, Chumpán y Candelaria, que presentaron la mayor concentración de ortofosfatos, FTD y FOD, evidenciando la importancia del fósforo que se incorpora al sistema por efecto de las escorrentías de los ríos (Glé *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2011).

Las cianofitas pertenecientes a la fracción nano+pico fueron más abundantes que el resto de los grupos durante las temporadas de secas y lluvias, pero durante los nortes, la biomasa de cianofitas y bacilariofitas fueron muy similares, probablemente porque el ambiente turbulento, que se genera durante esta época (Suárez-Caabro y Gómez-Aguirre, 1965; Yáñez-Arancibia, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Contreras-Espinosa, 2010b), es más favorable para el desarrollo de las bacilariofitas (Margalef, 1978).

Durante las tres épocas climáticas, las cianofitas nano+pico, aportaron mayor biomasa que el resto de los grupos y se distribuyeron en toda la laguna, sin embargo la mayor biomasa de este grupo se presentó en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos, asociándose con la concentración de formas nitrogenadas, principalmente NTD y nitratos. Goldman, (1993) y Vidussi *et al.*, (2001) mencionan que esto puede deberse a que el fitoplancton de talla pequeña se ve favorecido por formas de nitrógeno inorgánico, principalmente los nitratos y el amonio

El género *Synechococcus* sp. fue el más representativo de las cianofitas en la fracción nano+pico, durante todo el periodo de muestreo, tanto en distribución como en biomasa, ya que tiene una gran afinidad con las formas nitrogenadas, principalmente los nitratos (Sommer, 1999; Glé *et al.*, 2008), por lo que aunque la laguna se encuentre aparentemente limitada por nitrógeno, este género de picofitoplancton es eficiente para asimilar los nutrientes (Glé *et al.*, 2008).

Dentro del grupo de las proclorofitas, la especie *Prochlorococcus* sp. sólo estuvo presente en la fracción nano+pico, y durante las tres temporadas no presentó diferencias en el aporte al total de la biomasa, sin embargo el comportamiento espacial de este grupo fue distinto para cada época.

Durante las secas la mayor biomasa de proclorofitas se encontró en las zona sureste de la laguna, donde el FOD presentó las mayores concentraciones. A este respecto, [Karl y Church, \(2014\)](#) mencionan, que este grupo se caracteriza por asimilar rápidamente el fósforo y según el ACC fue justo con este nutriente con el que se asoció significativamente.

Con base en el ACC en las lluvias, el grupo se asoció con los feopigmentos y el FOD presentes en la zona cercana a Sabancuy y alcanzó la mayor biomasa en esta zona, evidenciando una vez más la afinidad del grupo con el fósforo ([Karl y Church, 2014](#)). El hecho de que los feopigmentos se hayan asociado con las proclorofitas tiene que ver con que estos feopigmentos contribuyen al total de materia suspendida en la columna de agua, lo cual atenúa la luz ([Louda, 2007](#)), ya que las proclorofitas no proliferan de manera eficiente en ambientes con alta intensidad de luz ([Johnson \*et al.\*, 2006](#); [Karl y Church, 2014](#)).

El incremento de los feopigmentos o de la turbidez por parte del río Palizada no se pudo comprobar, ya que no se colectaron muestras de esa zona para la temporada de lluvias, sin embargo se presentaron concentraciones altas de este grupo en esa parte de la laguna, por lo que probablemente las condiciones de la columna de agua pudieron haber sido similares a las de la zona de Sabancuy.

Finalmente, en la época de nortes el grupo de las proclorofitas se distribuyó en la zona de influencia del río Palizada y según el ACC se asoció con altas concentraciones de FOD y alta turbidez, ya que al incrementarse la turbidez, la luz se atenúa rápidamente ([Stomp \*et al.\*, 2007](#)) y es precisamente esta atenuación lo que pudo favorecer el desarrollo de las proclorofitas ([Johnson \*et al.\*, 2006](#); [Karl y Church, 2014](#)) durante esta temporada.

Para el caso del grupo de dinofitas, no se registró presencia de peridinina, el cual es el pigmento marcador de este grupo (Jeffrey, 1997; Jeffrey *et al.*, 2011), pero con base el análisis por microscopía de luz, se determinó la presencia de cuatro géneros, los cuales fueron: *Tripos*, *Prorocentrum*, *Gonyaulax* y *Protoperidinium*. Lo anterior indicó que la ausencia de peridinina pudo deberse a que estos organismos no presentan pigmentos fotosintéticos, pues tienen nutrición heterótrofa o mixotrofa (Stoeker *et al.*, 1997; Li *et al.*, 2000; Burkholder *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2010), justificando así la ausencia de peridinina.

## 12. CONCLUSIONES

- ★ Con base en las características físico-químicas de cada época, la laguna se puede dividir en tres o cuatro zonas, en función de la magnitud de los aportes epicontinentales y la influencia marina, los cuales se asociaron con la dinámica de la comunidad fitoplanctónica.
  
- ★ A diferencia de otras lagunas costeras, la laguna de Términos presentó un valor de TRIX  $<4$ , el cual corresponde a un ambiente oligotrófico.
  
- ★ El estado trófico bajo (TRIX $<4$ ) y la aparente limitación por nitrógeno favorecieron la dominancia del nano y picofitoplancton, debido a que las condiciones al interior de la laguna fueron similares a las de un ambiente oceánico.
  
- ★ El análisis de pigmentos por HPLC, permitió estimar de manera eficiente los cambios espacio-temporales de los distintos grupos fitoplanctónicos presentes en el sistema, así como la contribución al total de la biomasa de cada una de las fracciones de tamaño.
  
- ★ La fracción nano+picofitoplanctónica contribuyó con un mayor porcentaje al total de la biomasa, por lo que se refuta la hipótesis de que la fracción microfitoplanctónica dominaría en la laguna de Términos.

- ★ Las bacilariofitas estuvieron presentes de manera abundante en la laguna, tanto en la fracción micro como en la nano+pico, sin embargo no representaron el mayor aporte al total de la biomasa.
  
- ★ Las clorofitas sólo estuvieron representadas en la fracción microfitoplanctónica, ya que las especies presentes fueron en su mayoría coloniales y sólo se distribuyeron en la zona cercana de la desembocadura del Palizada, evidenciando su origen epicontinental.
  
- ★ Las cianofitas fueron las más abundantes en las dos fracciones de tamaño; en la fracción micro fueron las cianofitas filamentosas y en la fracción nano+pico fue *Synechococcus* sp., distribuyéndose en toda la laguna durante las tres temporadas.
  
- ★ La abundancia de las proclorofitas fue similar durante las tres temporadas, estableciéndose principalmente en zonas con altas concentraciones de fósforo y ocasionalmente en zonas donde la intensidad de luz fue por efecto de la materia en suspensión.
  
- ★ El hecho de no detectar la presencia de dinofitas mediante HPLC se explica porque las especies presentes en la laguna fueron en su mayoría heterótrofas y mixótrofas, como lo son las especies pertenecientes al género *Protoperdinium* sp y *Tripos* sp.



### 13. REFERENCIAS

- Alonso-Rodríguez, R., Hernández-Becerril, D.U., Gárate-Lizárraga, I., 2008. Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa, Primera. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ansotegui, A., Sarobe, A., María Trigueros, J., Urrutxurtu, I., Orive, E., 2003. Size distribution of algal pigments and phytoplankton assemblages in a coastal-estuarine environment: Contribution of small eukaryotic algae. *J. Plankton Res.* 25, 341–355. doi:10.1093/plankt/25.4.341
- Assmy, P., Hernández-Becerril, D.U., Montresor, M., 2008. morphological variability and life cycle traits of the type species of the diatom genus *Chaetoceros*, *C. dictyota*. *J. Phycol.* 163, 152–163. doi:10.1111/j.1529-8817.2007.00430.x
- Ayala-Pérez, L.A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernandez, D., 2003. La comunidad de peces de la laguna de Términos: estructura actual comparada. *Rev. Biol. Trop.* 51, 783–794.
- Ayala-Rodríguez, G.A., 2008. Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del sistema lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María. Instituto Politécnico Nacional.
- Baek, S.H., Kim, D., Son, M., Yum, A.K., Kim, Y.O., 2015. Seasonal distribution of phytoplankton assemblages and nutrient-enriched bioassays as indicators of nutrient limitation of phytoplankton growth in Gwangyang Bay, Korea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* En Prensa, 1–14.
- Barreiro Güemes, M.T., Signoret-Poillon, M., 1999. Productividad primaria en sistemas acuáticos costeros métodos de evaluación, Primera. ed. Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, Mexico.
- Becker, V., Caputo, L., Ordóñez, J., Marcé, R., Armengol, J., Crossti, L.O., Huszar, V.L.M., 2010. Driving factors of the phytoplankton functional groups in a deep Mediterranean Reservoir. *Wather Res.* 44, 3345–354.
- Benson, B.B., Krause, D., 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.* 29, 620–632.
- Botello, A.V., 1978. Variación de los parámetros hidrologicos en las épocas de sequia y lluvia (Mayo y Noviembre, 1974), en la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. del Cent. Ciencias del Mar y Limnol.* 5, 160–175.

- Brunet, C., Lizon, F., 2003. Tidal and diel periodicities of size-fractionated phytoplankton pigment signatures at an offshore station in the southeastern English Channel. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 56, 833–843. doi:10.1016/S0272-7714(02)00323-2
- Burger-Wiersma, T., Veenhuis, M., Korthals, H.J., Van de Wiel, C.C.M., Muir, L.R., 1986. A new prokaryote containing chlorophylls a and b. *Nature* 320, 262–263.
- Burkholder, J.M., Azanza, R. V., Sako, Y., 2006. The ecology of harmful dinoflagellates, en: Burkholder, J.M., Azanza, R. V., Sako, Y. (Eds.), *Ecology of Harmful Algae*. Massachusetts, 53-66.
- Bustillos-Guzmán, J., López-Cortés, D., Hernandez, F., Murillo, I., 2000. Pigment signatures associated with an anoxic coastal zone: Bahía Concepción, Gulf of California. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 249, 77–88.
- Carpenter, E.J., O’Neil, J.M., Dawson, R., Capone, D.G., Siddiqui, P.J.A., Roenneberg, T., Bergman, B., 1993. The tropical diazotrophic phytoplankton *Trichodesmium*: biological characteristics of two common species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 95, 295–304.
- Carreto, J.I., Montoya, N.G., Benavides, H.R., Guerrero, R., Carignan, M.O., 2003. Characterization of spring phytoplankton communities in the Río de La Plata maritime front using pigment signatures and cell microscopy. *Mar. Biol.* 143, 1013–1027. doi:10.1007/s00227-003-1147-z
- Chisholm, S.W., Olson, R.J., Zettler, E.R., Goericke, R., J.R., W., Welschmeyer, N.A., 1988. A novel free-living prochloro-phyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature* 334, 340–343.
- Claustre, H., Kerherve, P., Marty, J.C., Prieur, L., Videau, C., Hecq, H., 1994. Phytoplankton dynamics associated with geostrophic front: ecological and biogeochemical implications. *J. Mar. Res.* 52, 711–742.
- Cloern, J.E., 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: a review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Rev. Geophys.* 34, 127–168.
- Contreras-Espinosa, F., 2010a. Fitoplancton; nanofitoplancton y microfitoplancton; composición, estacionalidad y distribución, en: *Ecosistemas Costeros Mexicanos Una Actualización*. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 69-71.
- Contreras-Espinosa, F., 2010. Introducción, en: *Ecosistemas Costeros Mexicanos Una Actualización*. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 17-21.

- Contreras-Espinosa, F., 2010b. Laguna de Términos, en: Ecosistemas Costeros Mexicanos Una Actualización. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 435-443.
- Contreras-Ruiz, A., Douillet, P., Zavala-hidalgo, J., 2014. Tidal dynamics of the Términos Lagoon, Mexico : observations and 3D numerical modelling. *Ocean Dyn.* En Prensa. doi:10.1007/s10236-014-0752-3 Tidal
- Correll, D.L., 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving aters: A review. *J. Enviromental Qual.* 27, 261.
- D'Elia, C.F., Sanders, J.G., Boynton, W.R., 1986. Nutrient enrichment studies in a coastal plain estuary: phytoplankton growth in large-scale continous cultures. *Can. J. Fish. Aquat. Saciences* 43, 397–406.
- David, L.T., Kjerfve, B., 1998. Tides and currents in a two-inlet coastal lagoon : Laguna de Términos , México. *Cont. Shelf Res.* 18, 1057–1079.
- Domíngues, R.B., Anselmo, T.P., Barbosa, A.B., Sommer, U., Galvão, H.M., 2011. Nutrient limitation of phytoplankton growth in the freshwater tidal zone of a turbid, Mediterranean estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 91, 282–297.
- Domíngues, R.B., Barbosa, A.B., Galvão, H.M., 2005. Nutrients, lighth and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western iberia). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64, 249–260.
- Eldder, L., Elbrächter, M., 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis, en: Karlson, B., Cusack, C., Bresnan, E. (Eds.), *Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis.* UNESCO, Paris, 13–20. pp.
- Egeland, E.S., Guillard, R.R.L., Liaaen-Jensen, S., 1997. Additional carotenoid prototype representatives and a general chemosystematic evaluation of carotenoids in prasinophyceae (Chlorophyta). *Phytochemistry* 44, 1087–97.
- Fawley, M.W., 1989. A new norm of Chlorophyllc involved in light harvesting. *Plant Physiol.* 91, 727–732.
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P., 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* (80). 305, 354–360.
- Fisher, T.R., Hagy III, J.D., Boynton, W.R., Williams, M.R., 2006. Cultural eutrophication in the Choptank and Patuxent estuaries of Chesapeake Bay. *Limnol. Oceanogr.* 51, 435–447.
- Foss, P., Lewin, R.A., Liaaen-Jensen, S., 1987. The carotenoids of Prochloron sp. (Prochlorophyta). *Phycologia* 26, 142–144.

- Gamito, S., Gilabert, J., Marcos-Diego, C., Pérez-Ruzafa, A., 2005. Effects of changing environmental conditions on lagoon ecology, in: Gönenç, E., Wolfin, J.P. (Eds.), *Coastal Lagoons Ecosystems Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*. Boca Raton, 192-230.
- Garrido, J.L., Rodríguez, F., Zapata, M., 2009. Occurrence of loroxanthin, loroxanthin decenoate, and loroxanthin dodecenoate in tetraselmis species (Prasinophyceae, Chlorophyta). *J. Phycol.* 45, 366–374.
- Gaul, W., Antia, A.N., 2001. Taxon-specific growth and selective microzooplankton grazing of phytoplankton in the Northeast Atlantic. *J. Mar. Syst.* 30, 241–261.
- Gifford, D.J., 1988. Impact of grazing by micro-zooplankton in the northwest arm of Halifax Harbour. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 47, 249–258.
- Gin, K.Y.-H., Lin, X., Zhang, S., 2000. Dynamics and size structure of phytoplankton in the coastal waters of Singapore. *J. Plankton Res.* 22, 1465–1484.
- Glé, C., Del Amo, Y., Sautor, B., Laborde, P., Chardy, P., 2008. Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 76, 642–656.
- Glober, C.J., Buck, N.J., Sieracki, M.E., Sañudo-Wilhemly, S.A., 2006. Nitrogen and silicon limitation of phytoplankton communities across an urban estuary: the East River-Long Island Sound system. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 68, 127–138.
- Goericke, R., Repeta, D.J., 1992. The pigments of *Prochlorococcus marinus*: the presence of divinyl chlorophyll a and b in a marine prokaryote. *Limnol. Oceanogr.* 37, 425–433.
- Gold-Bouchot, G., Silva-Herrera, T., Zapata-Pérez, O., 1993. Chlorinated pesticides in the río Palizada, Campeche, México. *Mar. Pollut. Bull.* 26, 648–650.
- Goldman, J., 1993. Potential role of large oceanic diatoms in new primary production. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 40, 159–168.
- Gómez, F., 2013. Reinstatement of the dinoflagellate genus *Tripos* to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium*. *CICIMAR Oceánides* 28, 1–22.
- Gómez, F., Moreira, D., López-García, P., 2010. *Neoceratium* gen. nov., a New Genus for All Marine Species Currently Assigned to *Ceratium* (Dinophyceae). *Protist* 161, 35–54. doi:10.1016/j.protis.2009.06.004
- Gómez-Aguirre, S., 1974. Reconocimiento estacional de hidrología y plancton en la laguna de Términos, Campeche, México. *An. del Cent. Ciencias del Mar y Limnol.* 1.
- Gürel, M., Tanik, A., Russo, R.C., Gönenç, E., 2005. Biogeochemical cycles, in: Gönenç, E., Wolfin, J.P. (Eds.), *Coastal Lagoons Ecosystems Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*. Boca Raton, 79-192.

- Gutiérrez-Mendieta, F.J., Varona-Cordero, F., Contreras-Espinosa, F., 2006. Caracterización de las condiciones físico-químicas de la productividad fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica* 16, 137–146.
- Herbert, R.A., 1999. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *Microbiol. Rev.* 23, 563.
- Hernández-Becerril, D.U., 2000a. Morfología y taxonomía de algunas especies de diatomeas del género *Coscinodiscus* de las costas del Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 48(1), 7–18.
- Hernández-Becerril, D.U., 2000b. Morphology and taxonomy of three little-known marine planktonic *Chaetoceros* species (Bacillariophyceae). *Eur. J. Phycol.* 183–188.
- Hernández-Becerril, D.U., Alonso-Rodríguez, R., 2004. Study of the marine planktonic dinoflagellate *Ceratium divaricatum* (Dinophyceae), a confused and considerably variable species. *Phycol. Res.* 346–354.
- Hernandez-Becerril, D.U., Bravo-sierra, E., 2001. Planktonic Silicoflagellates (Dictyochophyceae) from the Mexican Pacific. *Bot. Mar.* 44, 417–423.
- Hernandez-Sandoval, F.E., Ibarra-Martínez, L.I., 2007. Determinación de pigmentos por cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC), en: Arredondo-Vega, B., Voltolina-Lobina, D. (Eds.), *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de biomasa microalgal*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, 69-79.
- Hertzberg, S., Liaaen-Jensen, S. Siegelman, H.W., 1971. The carotenoids of blue-green algae. *Phytochemistry* 10, 3121–3127.
- Howarth, R. w., 1997. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Rev. Ecol.* 19, 89.
- Hudson, P.F., Hendrickson, D.A., Benke, A.C., Varela-Romero, A., Rodiles-Hernández, R., 2005. Rivers of México, in: Benke, A.C., Cushing, C.E. (Eds.), *Rivers of North America*. Elsevier Academic Press, 1144. p.
- Jeffrey, S.W., 1997. Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures., en: Jeffrey, S.W., Montoura, R.F., Wright, S.W. (Eds.), *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods*. Paris, 37-84.
- Jeffrey, S.W., 1972. Preparation and some properties of crystalline chlorophyll c1 and c2 from marine algae. *Biochim. Biophys. Acta - Gen. Subj.* 279, 15–33.
- Jeffrey, S.W., Vesk, M., 1976. Further evidence for a membrane-bound endosymbiont within the dinoflagellate *peridinium foliaceum*. *J. Phycol.* 12, 450–455.

- Jeffrey, S.W., Wright, S.W., 1997. Qualitative and quantitative HPLC analysis of SCOR reference algal cultures, en: Mantoura, Wright., S.W. (Eds.), *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods*. Paris, 343-360.
- Jeffrey, S.W., Wright, S.W., Zapata, M., 2011. Microalgal classes and their signature pigments., en: Roy, S., Llewellyn, C.A., Egelad, E.S., Johnsen, G. (Eds.), *Phytoplankton Pigments*. Cambridge University Press, Cambridge, 3-76.
- Johnson, Z.I., Zinser, E.R., Coe, A., McNulty, N.P., Malcolm, E., Woodward, S., Chisholm, S.W., 2006. Niche partitioning among *Prochlorococcus* ecotypes along ocean-scale environmental gradients. *Science* (80). 311, 1737–1740.
- Karl, D.M., Church, M.J., 2014. Microbial oceanography and the Hawaii Ocean Time-series programme. *Nat. Publ. Gr.* 12, 699–713. doi:10.1038/nrmicro3333
- Kempton, J.W., Wolny, J., Tengs, T., Rizzo, P., Morris, R., Tunnell, J., Scott, P., Steidinger, K., Hymel, S.N., Lewitus, A.J., 2002. *Kryptoperidinium foliaceum* blooms in Southern Carolina: a multi-analytical approach to Identification. *Harmful Algae* 1, 383–392.
- Kjerfve, M., 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Mar. Geol.* 88, 187–199. doi:10. 1016/0025-3227(89)90097-2
- Landry, M.R., Hassett, R.P., 1982. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. *Mar. Biol.* 67, 283–288.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of México, their origin and clasification, en: Willey, M. (Ed.), *Estuarine Processes*, 182-215.
- Latasa, M., Scharek, R., Le Gall, F., Guillou, L., 2004. Pigment suites and taxonomic groups in the prasinophyceae. *J. Phycol.* 40, 1149–55.
- Lebaron, P., Parthuisot, N., Catala, P., 1988. Comparison of blue nucleic acid dyes for the flow cytometry enumeration of bacteria in aquatic systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 64, 1724–1730.
- Legendre, L., Rassoulzadegan, F., 1995. Plankton and nutrient dynamics in marine waters. *Ophelia* 41, 153–172.
- Legendre, L., Rassoulzadegan, F., Michaud, J., 1999. Identifying dominant estimates process (physical versus biological) in pelagic marine ecosystems from field estimates of chlorophyll-a and phytoplankton production. *J. Plankton Res.* 21, 1643–1658.
- Lessard, E.J., Swift, E., 1997. Species-specific grazing rates of heterotrophic dinoflagellates in oceanic waters, measured with a dual-label radioisotope technique. *Ocean. Mar. Biol. Ann Rev* 35, 97–161.

- Lewin, R.A., Krienitz, L., Goericke, R., Takeda, H., Hepperle, D., 2000. *Picocystis Salinarum* gen. et sp. nov. (Chlorophyta) – a new picoplanktonic green alga. *Phycologia* 39, 560–565.
- Li, A., Stoecker, D.K., Coats, D.W., 2000. Mixotrophy in *Gyrodinium galatheanum* (Dinophyceae): Grazing responses to light intensity and inorganic nutrients. *J. Plankton Res.* 45, 33–45.
- Li, Q., Legendre, L., Jiao, N., 2015. Phytoplankton responses to nitrogen and iron limitation in the tropical and subtropical Pacific Ocean. *J. Plankton Res.* 37, 306–319. doi:10.1093/plankt/fbv008
- Libes, S.M., 2009. Introduction to marine biogeochemistry, Segunda. ed. Press, Elsevier Academic, San Diego, 909 p.
- Licea, S., Santoyo, H., Moreno, J.L., 1996. Diatomeas del Golfo de California, Primera. ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 273 p.
- Licea, S., Santoyo, H., Moreno, J.L., Figueroa, G., 1995. Dinoflagelados del Golfo de California, Primera. ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 165 p.
- Lionard, M., Muylaert, K., Tackx, M., Vyverman, W., 2008. Evaluation of the performance of HPLC e CHEMTAX analysis for determining phytoplankton biomass and composition in a turbid estuary (Schelde , Belgium). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 76, 809–817. doi:10.1016/j.ecss.2007.08.003
- Lohrenz, S.E., Cullen, J.J., Phinney, D.A., Olson, D.P., Yentsch, C.S., 1993. Distribution of pigments and primary production in a goulf stream meander. *Geophys. Res.* 14, 545–560.
- Lohrenz, S.E., Carroll, C.L., Weidemann, a. D., Tuel, M., 2003. Variations in phytoplankton pigments, size structure and community composition related to wind forcing and water mass properties on the North Carolina inner shelf. *Cont. Shelf Res.* 23, 1447–1464. doi:10.1016/S0278-4343(03)00131-6
- Louda, J.W., 2007. HPLC - Based Chemotaxonomy of Florida Bay phytoplankton : Difficulties in coastal environments. *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.* 37–41. doi:10.1080/10826070701780599
- Louda, J.W., Li, J., Liu, L., Winfree, M.N., Baker, E.W., 1998. Chlorophyll degradation during senescence and death. *Org. Geochem.* 29, 1233–1251.
- Louda, J.W., Liu, L., Baker, E.W., 2002. Senescence- and death-related alteration of chlorophylls and carotenoids in marine phytoplankton. *Org. Geochem.* 33, 1635–1653.
- Louda, J.W., Loitz, J.W., Melisiotis, A., Orem, W.H., 2004. Hydrogel stabilization of Florida Bay marl sediments and implications for the preservation of organic matter. *J. Coast. Res.* 20, 448–463.

- Louda, J.W., Loitz, J.W., Rudnick, D.T., Baker, E.W., 2000. Early diagenetic alteration of chlorophyll-a and bacteriochlorophyll-a in a contemporaneous marl ecosystem. *Org. Geochem.* 31, 1561–1580.
- Loyo-Rebolledo, M.E., 1965. Notas acerca de la flora de diatomeas de la laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Bio.* 36, 61–64.
- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, H.W., Wright, S.W., 1996. CHEMTAX- a program for estimating class abundances from chemical markers : application to HPLC measurements of phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144, 265–283.
- Madhu, N. V, Ullas, N., Ashwini, R., Meenu, P., Rehitha, T. V, Lallu, K.R., 2014. Characterization of phytoplankton pigments and functional community structure in the Gulf of Mannar and the Palk Bay using HPLC – CHEMTAX analysis. *Cont. Shelf Res.* En Prensa, 1–12. doi:10.1016/j.csr.2014.03.004
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in a unstable environment. *acta Ocean.* 1, 493–509.
- Marie, D.F., Partensky, J.S., Vaultot, D., 1997. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 186–193.
- Medina-Gómez, I., Herrera-Silveira, J.A., 2006. Primary production dynamics in a pristine groundwater influenced coastal lagoon of the Yucatan Peninsula. *Cont. Shelf Res.* 26, 971–986.
- Millan-Nuñez, R., Millan-Nuñez, E., Álvarez-Borrego, S., Trees, C., Santamaría, E., 2004. Variabilidad del fitoplancton en Bahía San Quintín estimada mediante análisis de pigmentos. *Ciencias Mar.* 30, 145–153.
- Muciño-Márquez, R.E., Figueroa-Torres, M.G., Aguirre-León, A., 2014. Phytoplankton Composition in the Fluvial-lagoon Systems Pom-Atasta and Palizada del este, Adjacent to the Términos Lagoon Campeche, México. *Acta Biológica Colomb.* 19, 63–84.
- Nixon, W.S., 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41, 199–219.
- Noriega-Cañar, A.M., Palomares-García, J.R., 2008. Pastoreo por el microzooplancton en Bahía Concepción , Golfo de California. *Hidrobiológica* 18, 141–151.
- Ortega, M.M., 1984. *Catalogo de algas continentales recientes de México.* Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Palomares-García, R., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D., 2006. Pigment-specific rates of phytoplankton growth and microzooplankton grazing in a subtropical lagoon. *J. Plankton Res.* 28, 1217–1232. doi:10.1093/plankt/fbl051



- Poot-Delgado, C.A., Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A., Rendón-von Osten, J., 2015. Annual cycle of phytoplankton with emphasis on potentially harmful species in oyster beds of Términos Lagoon , southeastern Gulf of Mexico. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 50, 465–477.
- Poot-delgado, C.A., Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A., Rendón-von Osten, J., 2015b. Fitoplancton potencialmente nocivo en el muelle la puntilla, laguna de Términos, Sureste del Golfo de México. *BIOCYT Biol. Cienc. y Tecnol.* 8, 570–582.
- Ptacnik, R., Andersen, T., Tamminen, T., 2010. Performance of the redfield ratio and a family of nutrient limitation indicators as thresholds for phytoplankton N vs. P limitation. *Ecosystems* 13, 1201–1214. doi:10.1007/s10021-010-9380-z
- 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. *J. Fish Biol.* 66, 513–530. doi:10.1111/j.1095-8649.2005.00619.x
- Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46, 205–222.
- Reynolds, C., 2006. *The ecology of phytoplankton.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Riegman, R., Kraay, G.W., 2001. Phytoplankton community structure derived from HPLC analysis of pigments in the Faroe-Shetland Channel during summer 1999: the distribution of taxonomic groups in relation to physical/chemical condition in the photic zone. *J. Plankton Res.* 23, 191–205.
- Rivera-Monroy, V.H., Day, J.W., Twilley, R.R., Vera-Herrera, F., Coronado-Molina, C., 1995. Flux of nitrogen and sediment in a fringe mangrove forest in Términos Lagoon, México. *Estuarine, Coast. shelf Sci.* 40, 139–160.
- Rodríguez, F., Pazos, Y., Maneiro, J., Zapata, M., 2003. Temporal variation in phytoplankton assemblages and pigment composition at a fixed station of the Ría of Pontevedra (NW Spain). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 58, 499–515. doi:10.1016/S0272-7714(03)00130-6
- Roelke, D.L., Eldridge, P.M., Cifuentes, L.A., 1999. A model of phytoplankton competition for limiting and non limiting nutrients: implications for development of estuarine and nearshore management schemes. *Estuaries* 22, 92–104.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., 1990. *The diatoms, biology and morphology of the genera.* University Press, Cambridge, 747 p.

- Sá, C., Leal, M.C., Silva, A., Nordez, S., André, E., Paula, J., Brotas, V., 2013. Variation of phytoplankton assemblages along the Mozambique coast as revealed by HPLC and microscopy. *J. Sea Res.* 79, 1–11. doi:10.1016/j.seares.2013.01.001
- Salas, F., Teixeira, H., Marcos, C., Marques, J.C., Pérez-Ruzafa, A., 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *J. Mar. Sci.* 65, 1442–1448.
- Salgado-Ugarte, I., 1992. Introducción al análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones, primera. ed. Marc Ediciones, México.
- Santoyo-Reyes, H., 1993. Fitoplancton y productividad de lagunas costeras, in: Figueroa-Torres, G., Alvares-silva, C., Esquivel-Herrera, A., Ponce-Marquez, M.E. (Eds.), *Fisicoquímica Y Biología de Las Lagunas Costeras Mexicanas*.
- Sasa, T., Suda, S., Watanabe, M.M., Takaichi, S., 1992. A yellow marine *Chlamydomonas*: morphology and pigment composition. *Plant Cell Physiol.* 33, 527–34.
- SCOR-UNESCO, 1980. Determination of photosynthetic pigments in sea water, in: UNESCO, E. (Ed.), *Monographs on Oceanographic Methodology*, Paris.
- Seckbach, J., Kociolek, J.P., 2011. *The Diatom World*, Primera. ed. Springer, Nueva York, 534p.
- Seiburth, J.M., Lenz, J., 1970. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 23, 1256–1263.
- Seoane, S., Laza, A., Orive, E., 2006. Monitoring phytoplankton assemblages in estuarine waters: The application of pigment analysis and microscopy to size-fractionated samples. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 67, 343–354. doi:10.1016/j.ecss.2005.10.020
- Simonsen, R., 1974. The diatom plankton of the Indian Ocean. *Meteor Forsch Ergebnisse* 19, 1–107.
- Six, C., Thomas, J.C., Brahmsha, B., Lemoine, Y., Partensky, F., 2004. Photophysiology of the marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. WH8102, a new model organism. *quatic Microbiol. Ecol.* 35, 17–29.
- SMN-CNA, 2009. Datos diarios de la precipitación de los meses de enero a diciembre [WWW Document]. URL [www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)
- Sommer, U., 1999. A comment on the proper use of nutrient rations in microalgal ecology. *Arch. für Hydrobiol.* 146, 55–64.

- Sournia, A., Chrétiennot-Dinet, M.J., Ricard, M., 1991. Marine plankton: how many species in the world oceans? *J. Plankton Res.* 13, 1093–9.
- Stauber, J.L., Jeffrey, S.W., 1988. Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. *J. Phycol.* 24, 72–158.
- Stoeker, D.K., 1994. Mixotrophy in dinoflagellates. *J. Eukaryot Microbiol.* 46, 397–401.
- Stoeker, D.K., Li, A., Coast, D.W., Gustafson, D., Nannen, M.K., 1997. Mixotrophy in the dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 152, 1–12.
- Stomp, M., Huisman, J., Vörös, L., Pick, F.R., Laamanen, M., Haverkamp, T., Stal, L.J., 2007. Colourful coexistence of red and green picocyanobacteria in lakes and seas. *Ecol. Lett.* 10, 290–298. doi:10.1111/j.1461-0248.2007.01026.x
- Streble, H., Krauter, D., 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce, la vida en una gota de agua, Primera. ed. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 369 p.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis, Segunda Ed. ed. Ottawa, 310 p.
- Suárez-Caabro, J.A., Gómez-Aguirre, S., 1965. Observaciones sobre el plancton de la laguna de Términos, Campeche, México. *Bull. Mar. Sci.* 15(4), 1072–1120.
- Thomas, C.R., Hasle, G.R., Syversten, E.E., Steidinger, K.A., Tangen, K., Throndsen, J., Heimdal, B.R., 1997. Identifying marine phytoplankton, Primera. ed. Inglaterra.
- Umgiesser, G., Neves, R., 2005. Physical processes, en: Gönenç, I.E., Wolfen, J.P. (Eds.), Coastal Lagoons Ecosystems Processes and Modeling for Sustainable Use and Development. Boca Raton, p. 500.
- Utermöhl, H., 1958. Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der Int. Vereinigung für Theoretische und Angew. Limnol.* 9, 1–38.
- Van den Hoek, C., Mann, D.G., Jahns, H.M., 1995. Algae an introduction to phycology, Primera. ed. Cambridge University Press, Cambridge, 627 p.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez-Mendieta, F.J., Ponce-Manjarrez, E.J., n.d. Evaluación de la dinámica del picofitoplancton y el bacterioplancton en laguna de Términos, Campeche mediante citometría de flujo. *Hidrobiológica*.
- Vesk, M., Dibbayawan, T.P., Vesk, P.A., 1996. Immunogold localization of phycoerythrin in chloroplasts of *Dinophysis acuminata* and *D. fortii* (Dinophysiales, Dinophyta). *Phycologia* 35, 234–238.
- Vidussi, F., Claustre, H., Bustillos-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.

- Vidussi, F., Claustre, H., Manca, B.B., Luchetta, A., Jean-Claude, M., 2001. Phytoplankton pigment distribution in relation to upper Francesca Claustre For the whole Tchl a concentration mg estimated production value being mg m and the highest picophytoplankton contribution of Tchl a gyres by low Tchl a concentrations. *J. Geophys. Res.* 106, 939–956.
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A., 1998. Characterization of the trophic conditions of merine coastal waters with special refernece to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 357, 329–357.
- Waksmundzka-Hajnos, M., Sherna, J., 2011. Overview of the field of Hig Performance Liquid Chromatography in phytochemical analysis and the structure of the book, in: Waksmundzka-Hajnos, M., Sherna, J. (Eds.), *Hig Performance Liquid Chromatography in Phytochemical Analysis*. Nueva York, p. 975.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G., 2003. *Freshwater algae of North America, ecology and classification*, Primera. ed. Elsevier Science, San Diego, 918 p.
- Wetzel, G.R., Likens, E.G., 1991. *Limnological analyses*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Whitton, B.A., Potts, M., 2002. Introduction to the Cyanobacteria, en: Whitton, B.A., Potts, M. (Eds.), *The Ecology of Cyanobacteria; Their Diversity in Time and Space*. Nueva York, pp. 1–11.
- Wright, S.W., Mantoura, E.F.C., 1997. Guidelines for collection and pigment anlysis of field samples, en: Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W. (Eds.), *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods*. UNESCO, Paris, p. 661.
- Yáñez-Arancibia, A., 1988. Ecological characterization of Términos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Goulf of México, en: Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W.J. (Eds.), *Ecología de Los Ecosistemas Costeros Del Sureste Del Golfo de México*.
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, P., Chavance, P., Flores, D., 1988. Comportamiento ambiental de la laguna de Términos, en: Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W.J. (Eds.), *Ecología de Los Ecosistemas Costeros Del Sureste Del Golfo de México*.
- Zapata, M., Jeffrey, S.W., Wright, S.W., Rodríguez, F., Garrido, J.L., Clementson, L., 2004. Photosynthetic pigments in 37 species (65 strains) of haptophyta: Implications for oceanography and chemotaxonomy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55, 233–248.

## 14. ANEXOS

### 14.1 Tablas

Tabla A. 1 Valores de constantes de equilibrio atmosférico (NAEC) en  $\text{mg L}^{-1}$ , integrando la temperatura y la salinidad.

Temperatura	Salinidad								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0.0	14.621	14.120	13.636	13.167	12.714	12.277	11.854	11.445	11.051
1.0	14.216	13.773	13.266	12.815	12.378	11.956	11.548	11.154	10.773
2.0	13.829	13.364	12.914	12.478	12.057	11.650	11.256	10.875	10.507
3.0	13.460	13.012	12.577	12.157	11.750	11.356	10.976	10.608	10.252
4.0	13.107	12.674	12.255	11.849	11.456	11.076	10.708	10.352	10.008
5.0	12.770	12.352	11.947	11.554	11.175	10.807	10.452	10.107	9.774
6.0	12.448	12.043	11.652	11.273	10.905	10.550	10.206	9.872	9.550
7.0	12.139	11.784	11.369	11.003	10.647	10.303	9.970	9.647	9.335
8.0	11.843	11.465	11.099	10.744	10.400	10.066	9.744	9.431	9.128
9.0	11.560	11.194	10.839	10.495	10.162	9.839	9.526	9.223	8.930
10.0	11.288	10.934	10.590	10.257	9.934	9.621	9.318	9.024	8.739
11.0	11.027	10.684	10.351	10.028	9.715	9.412	9.188	8.834	8.556
12.0	10.777	10.444	10.122	9.809	9.505	9.210	8.925	8.648	8.379
13.0	10.537	10.214	9.901	9.597	9.303	9.017	8.739	8.471	8.210
14.0	10.306	9.993	9.689	9.394	9.108	8.830	8.561	8.300	8.046
15.0	10.084	9.780	9.485	9.199	8.921	8.651	8.389	8.135	7.889
16.0	9.870	9.575	9.289	9.010	8.740	8.478	8.224	7.976	7.737
17.0	9.665	9.378	9.100	8.829	8.567	8.311	8.064	7.823	7.590
18.0	9.647	9.188	8.917	8.654	8.399	8.151	7.910	7.676	7.449
19.0	9.276	9.005	8.742	8.486	8.237	7.996	7.761	7.533	7.312
20.0	9.092	8.829	8.572	8.323	8.081	7.846	7.618	7.396	7.180
21.0	8.915	8.658	8.409	8.166	7.930	7.701	7.479	7.262	7.052
22.0	8.743	8.494	8.251	8.014	7.785	7.562	7.345	7.134	6.929
23.0	8.578	8.335	8.098	7.868	7.644	7.426	7.215	7.009	6.809
24.0	8.418	8.181	7.950	7.726	7.508	7.295	7.089	6.888	6.693
25.0	8.263	8.032	7.807	7.588	7.376	7.169	6.967	6.771	6.581
26.0	8.113	7.888	7.669	7.455	7.248	7.046	6.849	6.658	6.472
27.0	7.968	7.748	7.535	7.326	7.124	6.926	6.735	6.548	6.366
28.0	7.828	7.613	7.404	7.201	7.003	6.811	6.623	6.441	6.264
29.0	7.691	7.482	7.278	7.080	6.886	6.698	6.515	6.337	6.164
30.0	7.559	7.354	7.155	6.962	6.773	6.589	6.410	6.236	6.067
31.0	7.430	7.231	7.036	6.847	6.662	6.483	6.308	6.138	5.972
32.0	7.305	7.110	6.920	6.735	6.555	6.379	6.209	6.042	5.880
33.0	7.183	6.993	6.807	6.627	6.450	6.279	6.112	5.949	5.790
34.0	7.065	6.879	6.698	6.521	6.384	6.181	6.017	5.858	5.702
35.0	6.950	6.768	6.590	6.517	6.249	6.085	5.925	5.796	5.617
36.0	6.837	6.659	6.486	6.317	6.152	5.991	5.834	5.682	5.533
37.0	6.727	6.553	6.384	6.218	6.057	5.900	5.736	5.597	5.451
38.0	6.620	6.450	6.284	6.122	6.964	5.810	5.660	5.514	5.371
39.0	6.515	6.349	6.186	6.028	6.873	5.722	5.575	5.432	5.293
40.0	6.412	6.249	6.090	5.935	5.784	5.636	5.493	5.352	5.215

Tabla A. 2 Factores de corrección del porcentaje de saturación de oxígeno, tomando en cuenta la presión atmosférica

Temperatura	Presión (atm)						
	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
0.0	1.0005	1.0000	0.9994	0.9987	0.9977	0.9963	0.9944
5.0	1.0007	1.0000	0.9991	0.9980	0.9966	0.9946	0.9918
10.0	1.0010	1.0000	0.9987	0.9971	0.9950	0.9922	0.9882
15.0	1.0015	1.0000	0.9982	0.9959	0.9929	0.9889	0.9833
20.0	1.0021	1.0000	0.9974	0.9942	0.9901	0.9845	
25.0	1.0029	1.0000	0.9965	0.9921	0.9864	0.9787	
30.0	1.0039	1.0000	0.9952	0.9892	0.9814		
35.0	1.0053	1.0000	0.9935	0.9854			
40.0	1.0071	1.0000	0.9913	0.9805			

Tabla A. 3 Resumen del análisis de varianza (ANDEVA), para las tres temporadas anuales presentes en la Laguna de Términos.

Parámetro	Grados de Libertad	Grados de Libertad Res.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Nivel de Probabilidad
Temperatura	2	77	119.81285	59.90643	182.33275	<b>0.00000</b>
Oxígeno	2	77	7.06355	3.53177	22.78046	<b>0.00000</b>
Turbidez	2	77	459.97500	229.98750	5.50805	<b>0.00584</b>
Salinidad	2	77	291.35324	145.67662	5.97876	<b>0.00388</b>
NH <sub>4</sub>	2	77	1.49232	0.74616	3.59956	<b>0.03209</b>
NO <sub>3</sub>	2	77	0.04519	0.02260	0.01691	0.98323
PO <sub>4</sub>	2	77	0.04688	0.02344	14.65067	<b>0.00000</b>
SiO <sub>2</sub>	2	77	10881.9	5441.0	8.6435	<b>0.00039</b>
NTD	2	77	220.37526	110.18763	13.25525	<b>0.00001</b>
NOD	2	77	192.10732	96.05366	9.97613	<b>0.00014</b>
PTD	2	77	1.32394	0.66197	39.67667	<b>0.00000</b>
POD	2	77	1.28989	0.64495	38.88223	<b>0.00000</b>
Clorofila a	2	77	409.5849	4.9103	3.7066	<b>0.02910</b>

Tabla A. 4 Resultado de las pruebas del pos hoc de Tukey para cada temporada.

	Temperatura			Oxígeno			Turbidez		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
<b>Secas</b>	<b>0.00</b>	6.01	0.42	<b>0.00</b>	1.66	4.92	<b>0.00</b>	2.91	3.06
<b>Lluvias</b>	6.01	<b>0.00</b>	5.62	1.66	<b>0.00</b>	5.61	2.91	<b>0.00</b>	0.01
<b>Nortes</b>	0.42	5.62	<b>0.00</b>	4.92	5.61	<b>0.00</b>	3.60	0.02	<b>0.00</b>
	Salinidad			Amonio			PID		
<b>Secas</b>	<b>0.00</b>	2.61	3.47	<b>0.00</b>	2.10	5.72	<b>0.00</b>	0.93	4.49
<b>Lluvias</b>	0.61	<b>0.00</b>	5.38	2.10	<b>0.00</b>	1.55	0.93	<b>0.00</b>	4.53
<b>Nortes</b>	3.47	5.38	<b>0.00</b>	5.72	1.55	<b>0.00</b>	4.40	4.53	<b>0.00</b>
	Silicatos			NTD			NOD		
<b>Secas</b>	<b>0.00</b>	3.60	0.70	<b>0.00</b>	4.96	4.57	<b>0.00</b>	4.76	4.18
<b>Lluvias</b>	3.60	<b>0.00</b>	3.00	4.96	<b>0.00</b>	1.23	4.76	<b>0.00</b>	1.35
<b>Nortes</b>	0.70	3.00	<b>0.00</b>	4.57	1.23	<b>0.00</b>	4.18	1.35	<b>0.00</b>
	PTD			POD			Clorofila a		
<b>Secas</b>	<b>0.00</b>	3.61	0.71	<b>0.00</b>	6.37	2.00	<b>0.00</b>	0.66	2.82
<b>Lluvias</b>	3.61	<b>0.00</b>	3.06	6.37	<b>0.00</b>	4.70	0.66	<b>0.00</b>	1.61
<b>Nortes</b>	0.71	3.06	<b>0.00</b>	2.00	4.70	<b>0.00</b>	2.82	1.61	<b>0.00</b>

Tabla A. 5 Resumen del análisis de componentes principales.

Parámetro	Secas												Lluvias								Nortes												
	0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Temperatura	-0.775	-0.181	0.295	-0.247	-0.130	0.074	-0.254	0.278	-0.181	-0.021	0.146	0.027	-0.345	<b>-0.862</b>	0.262	-0.039	-0.200	-0.001	-0.165	-0.020	0.278	0.537	-0.500	0.078	0.021	-0.347	0.375	0.350	0.254	0.020	0.058	-0.056	-0.017
Oxígeno	0.284	<b>-0.730</b>	0.314	0.107	-0.304	-0.135	0.365	0.018	-0.029	-0.072	0.161	0.004	0.064	<b>-0.931</b>	0.217	-0.056	-0.149	0.179	0.153	0.019	0.018	-0.085	0.110	0.513	0.308	-0.740	0.150	-0.061	-0.178	-0.108	-0.031	0.068	0.022
Turbidez	-0.367	0.538	-0.608	-0.069	-0.077	0.309	0.055	-0.099	0.105	-0.236	0.134	0.041	-0.503	<b>0.762</b>	-0.007	0.347	-0.033	0.203	-0.057	-0.001	-0.099	<b>-0.706</b>	-0.189	0.325	-0.275	0.059	-0.128	0.442	-0.240	0.033	-0.100	-0.017	-0.025
Salinidad	<b>0.891</b>	0.361	0.034	-0.081	-0.100	0.071	-0.110	-0.022	-0.043	-0.030	0.119	-0.152	<b>0.959</b>	0.023	-0.030	-0.075	-0.250	-0.102	0.022	0.002	-0.022	<b>0.870</b>	-0.013	0.216	-0.176	0.274	0.181	0.078	0.084	0.036	-0.121	0.170	0.009
NH <sub>4</sub>	-0.193	0.400	0.337	0.532	0.494	0.322	0.168	0.096	-0.132	0.049	0.050	-0.009	0.468	0.700	-0.506	0.068	-0.171	0.019	0.025	0.031	0.096	-0.497	0.233	-0.673	-0.333	-0.129	-0.128	0.196	0.070	-0.189	0.103	0.111	0.002
NO <sub>3</sub>	-0.635	0.263	0.370	0.448	-0.056	-0.363	-0.118	-0.030	0.078	-0.181	-0.010	-0.024	0.620	0.581	0.068	-0.482	0.151	0.129	-0.023	-0.019	-0.030	<b>-0.840</b>	0.107	-0.209	-0.225	-0.156	0.206	-0.156	0.240	-0.065	-0.186	-0.036	-0.018
PO <sub>4</sub>	-0.489	0.021	-0.745	0.186	-0.054	-0.134	0.088	0.309	0.171	0.119	0.028	-0.047	<b>-0.760</b>	0.565	0.119	-0.251	-0.146	-0.038	-0.037	0.048	0.309	-0.368	-0.513	-0.040	-0.056	0.368	0.628	-0.097	-0.193	-0.128	0.053	0.002	-0.007
SiO <sub>2</sub>	0.045	-0.506	-0.009	0.523	-0.511	0.426	-0.136	-0.010	0.032	0.016	-0.083	-0.008	<b>-0.963</b>	-0.199	-0.015	0.023	0.142	-0.080	0.071	-0.006	-0.010	-0.138	-0.345	0.437	0.643	0.320	-0.260	0.080	0.159	-0.237	-0.025	0.001	-0.011
NTD	-0.356	<b>-0.714</b>	-0.272	0.302	0.359	-0.135	-0.151	-0.130	-0.014	-0.081	0.064	-0.026	<b>-0.995</b>	0.008	-0.039	-0.077	0.040	-0.015	0.003	0.037	-0.130	-0.468	-0.618	-0.537	0.296	-0.102	-0.016	-0.017	0.025	0.085	-0.051	0.044	0.004
NOD	0.142	<b>-0.788</b>	-0.493	-0.099	0.277	0.093	-0.062	-0.095	-0.049	0.047	0.053	-0.005	<b>-0.979</b>	-0.176	0.061	-0.041	0.056	-0.026	-0.001	0.027	-0.095	-0.197	<b>-0.733</b>	-0.458	0.428	-0.050	-0.072	0.012	-0.055	0.132	-0.006	0.049	0.009
PTD	<b>0.804</b>	0.073	-0.477	0.203	-0.001	-0.134	-0.017	0.193	-0.117	-0.093	-0.039	0.027	<b>-0.791</b>	-0.080	-0.574	-0.169	-0.096	0.021	-0.008	-0.011	0.193	0.182	<b>-0.829</b>	0.176	-0.444	-0.073	-0.140	-0.147	-0.019	-0.065	0.011	-0.002	0.001
POD	<b>0.933</b>	0.063	-0.207	0.132	0.017	-0.084	-0.046	0.081	-0.169	-0.128	-0.047	0.041	-0.532	-0.395	-0.742	-0.067	-0.036	0.045	0.010	-0.039	0.081	0.271	<b>-0.750</b>	0.192	-0.450	-0.157	-0.285	-0.131	0.023	-0.039	-0.001	-0.003	0.002
Clorofila a	-0.542	0.441	-0.442	0.191	-0.308	-0.178	0.030	-0.215	-0.279	0.159	0.048	0.006	<b>-0.790</b>	0.418	0.408	-0.079	-0.131	0.099	0.032	-0.028	-0.215	<b>-0.757</b>	0.023	0.597	-0.015	-0.013	0.009	-0.122	0.118	0.136	0.101	0.082	-0.079
Feopigmentos	<b>-0.845</b>	-0.236	-0.155	-0.259	-0.010	0.094	0.175	0.042	-0.183	-0.167	-0.174	-0.078	-0.567	<b>0.762</b>	0.236	0.022	-0.126	-0.126	0.084	-0.050	0.042	<b>-0.832</b>	-0.074	0.476	-0.122	0.120	0.052	0.051	0.144	0.078	0.046	0.006	0.107

Tabla A. 6 Eiguenvectores y porcentaje de varianza explicada a partir del análisis de componente principales

Factor	Secas				Lluvias					Nortes					
	0	Eiguenvector	% de Varianza	Eiguenvector Acumulativo	% Varianza Acumulativa	0	Eiguenvector	% de Varianza	Eiguenvector Acumulativo	% Varianza Acumulativa	0	Eiguenvector	% de Varianza	Eiguenvector Acumulativo	% Varianza Acumulativa
1	0	4.963182	35.45130	4.96318	35.4513	1	7.207911	51.48508	7.20791	51.4851	1	4.287302	30.62358	4.28730	30.6236
2	0	2.861214	20.43724	7.82440	<b>55.8885</b>	2	4.326962	30.90687	11.53487	<b>82.3919</b>	2	2.922182	20.87273	7.20948	<b>51.4963</b>
3	0	2.169140	15.49386	9.99354	71.3824	3	1.499418	10.71013	13.03429	93.1021	3	2.258797	16.13426	9.46828	67.6306
4	0	1.138137	8.12955	11.13167	79.5119	4	0.479054	3.42181	13.51334	96.5239	4	1.464471	10.46051	10.93275	78.0911
5	0	0.936943	6.69245	12.06862	86.2044	5	0.267573	1.91124	13.78092	98.4351	5	1.081550	7.72535	12.01430	85.8164
6	0	0.651646	4.65461	12.72026	90.8590	6	0.137760	0.98400	13.91868	99.4191	6	0.842357	6.01684	12.85666	91.8333
7	0	0.341960	2.44257	13.06222	93.3016	7	0.069937	0.49955	13.98862	99.9187	7	0.462508	3.30363	13.31917	95.1369
8	0	0.311578	2.22556	13.37380	95.5271	8	0.011385	0.08132	14.00000	100.0000	8	0.324868	2.32048	13.64403	97.4574
9	0	0.257034	1.83596	13.63083	97.3631	-	-	-	-	-	9	0.181875	1.29910	13.82591	98.7565
10	0	0.198723	1.41945	13.82956	98.7825	-	-	-	-	-	10	0.092494	0.66067	13.91840	99.4172
11	0	0.132800	0.94857	13.96236	99.7311	-	-	-	-	-	11	0.061824	0.44160	13.98023	99.8588
12	0	0.037644	0.26888	14.00000	100.0000	-	-	-	-	-	12	0.019775	0.14125	14.00000	100.0000



Tabla A. 7 Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) de las variables físico-químicas entre las zonas de la laguna.

<b>Secas</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Grados de Libertad Res.</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>F</b>	<b>Nivel de Probabilidad</b>
Temperatura	3	31	2.67	0.89	3.52	<b>0.026317</b>
Oxígeno	3	31	0.1577	0.0526	0.87	0.466566
Salinidad	3	31	725.97	241.99	32.572	<b>0.000000</b>
NTD	3	31	67.492	22.497	15.118	<b>0.000003</b>
NOD	3	31	72.498	24.166	14.889	<b>0.000004</b>
PTD	3	31	0.157133	0.052378	5.1163	<b>0.005432</b>
POD	3	31	0.244367	0.081456	9.7992	<b>0.000106</b>
Feopigmentos	3	31	6.90296	2.30099	9.7700	<b>0.000108</b>
<b>Lluvias</b>						
Temperatura	2	14	1.43	0.71	4.82	<b>0.025578</b>
Oxígeno	2	14	0.8526	0.4263	1.634	0.230281
Turbidez	2	14	143.4032	71.7016	7.5681	<b>0.005914</b>
Salinidad	2	14	33.94	16.97	35.60	<b>0.000003</b>
PO <sub>4</sub>	2	14	0.012784	0.006392	7.7110	<b>0.005523</b>
SiO <sub>2</sub>	2	14	18458.87	9229.44	89.0300	<b>0.000000</b>
NTD	2	14	239.074	119.537	178.108	<b>0.000000</b>
NOD	2	14	340.941	170.470	244.242	<b>0.000000</b>
PTD	2	14	0.10228	0.05114	6.158	<b>0.012060</b>
Clorofila a	2	14	17.2360	8.6180	8.7828	<b>0.003376</b>
Feopigmentos	2	14	1.45075	0.72538	4.91642	<b>0.024136</b>
<b>Nortes</b>						
Turbidez	3	30	880.288	293.429	17.5265	<b>0.000001</b>
Salinidad	3	30	359.24	119.75	16.441	<b>0.000002</b>
NO <sub>3</sub>	3	30	5.60072	1.866908	2.84403	0.054319
NOD	3	30	30.434	10.145	1.4024	0.261330
PTD	3	30	0.156352	0.052117	4.1797	<b>0.013815</b>
POD	3	30	0.161834	0.053945	4.9405	<b>0.006617</b>
Clorofila a	3	30	98.4566	32.8189	5.75313	<b>0.003118</b>
Feopigmentos	3	30	6.97258	2.32419	7.8809	<b>0.000505</b>

Tabla A. 8 Resultado de las pruebas del pos hoc de Tukey entre las zonas de la laguna

SECAS				LLUVIAS				NORTES																					
<b>Temperatura</b>				<b>Salinidad</b>				<b>Temperatura</b>				<b>Turbidez</b>				<b>Turbidez</b>				<b>Salinidad</b>									
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
0.000	0.211	0.377	1.873	0.000	2.899	4.216	4.622	0.000	0.000	1.410	0.000	1.859	0.166	0.000	4.836	1.953	0.847	0.000	3.514	1.568	1.094	0.000	3.514	1.568	1.094				
2	0.211	0.000	0.619	2.226	2.899	0.000	2.178	2.856	2	0.000	0.000	1.409	1.859	0.000	2.497	2	4.836	0.000	3.248	2.570	3.514	0.000	2.198	3.644	3.514	0.000	2.198	3.644	
3	0.377	0.619	0.000	1.462	4.216	2.178	0.000	0.857	3	1.410	1.410	0.000	0.166	2.497	0.000	3	1.953	3.248	0.000	0.493	1.568	2.198	0.000	2.256	1.568	2.198	0.000	2.256	
4	1.873	2.226	1.462	0.000	4.622	2.856	0.857	0.000									4	0.847	2.570	0.493	0.000	1.094	3.644	2.256	0.000	1.094	3.644	2.256	0.000
<b>NTD</b>				<b>NOD</b>				<b>Salinidad</b>				<b>Orfofosfatos</b>				<b>PTD</b>				<b>POD</b>									
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
0.00	2.03	4.19	1.94	0.000	2.333	4.292	1.673	0.000	3.396	2.128	0.000	2.632	1.218	0.000	1.3753	0.9717	1.6811	0.000	1.223	1.522	1.446	0.000	1.223	1.522	1.446				
2	2.03	0.00	2.94	0.58	2.333	0.000	2.774	0.044	2	3.396	0.000	2.128	2.632	0.000	2.081	2	1.3753	0.000	2.5934	0.7662	1.223	0.000	3.025	0.631	1.223	0.000	3.025	0.631	
3	4.19	2.94	0.00	1.66	4.292	2.774	0.000	2.003	3	2.128	2.128	0.000	1.218	2.081	0.000	3	0.9717	2.5934	0.000	2.4502	1.522	3.025	0.000	2.593	1.522	3.025	0.000	2.593	
4	1.94	0.58	1.66	0.00	1.673	0.044	2.003	0.000									4	1.6811	0.7662	2.4502	0.000	1.446	0.631	2.593	0.000	1.446	0.631	2.593	0.000
<b>PTD</b>				<b>POD</b>				<b>Silicatos</b>				<b>NTD</b>				<b>Clorofila a</b>				<b>Feopigmentos</b>									
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
0.000	0.219	1.453	2.052	0.000	1.141	0.587	3.147	0.000	3.396	2.128	0.000	3.398	2.130	0.000	3.689	0.807	0.111	0.000	4.141	1.632	0.111	0.000	4.141	1.632	0.111				
2	0.219	0.000	1.455	2.430	1.141	0.000	0.363	2.588	2	3.396	0.000	2.128	3.398	0.000	2.130	2	3.689	0.000	3.224	2.747	4.141	0.000	2.825	3.070	4.141	0.000	2.825	3.070	
3	1.453	1.455	0.000	3.162	0.587	0.363	0.000	2.495	3	2.128	2.128	0.000	2.130	2.130	0.000	3	0.807	3.224	0.000	0.687	1.632	2.825	0.000	1.271	1.632	2.825	0.000	1.271	
4	2.052	2.430	3.162	0.000	3.147	2.588	2.495	0.000									4	0.111	2.747	0.687	0.000	0.111	3.070	1.271	0.000	0.111	3.070	1.271	0.000
<b>Feopigmentos</b>				<b>NOD</b>				<b>PTD</b>				<b>Clorofila a</b>				<b>Feopigmentos</b>													
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
0.000	2.477	2.138	3.745	0.000	3.396	0.000	2.128	0.000	0.970	2.488	0.000	2.668	1.594	0.000	1.779	0.175	0.000	1.779	0.175	0.000	1.779	0.175	0.000	1.779	0.175				
2	2.477	0.000	0.195	2.216	2	3.396	0.000	2.128	0.970	0.000	1.271	2	2.668	0.000	1.751	1.779	0.000	2.055	1.779	0.000	2.055	1.779	0.000	2.055	1.779	0.000	2.055		
3	2.138	0.195	0.000	1.764	3	2.128	2.128	0.000	2.488	1.271	0.000	3	1.594	1.751	0.000	0.175	2.055	0.000	0.175	2.055	0.000	0.175	2.055	0.000	0.175	2.055	0.000		

## 14.2 Figuras

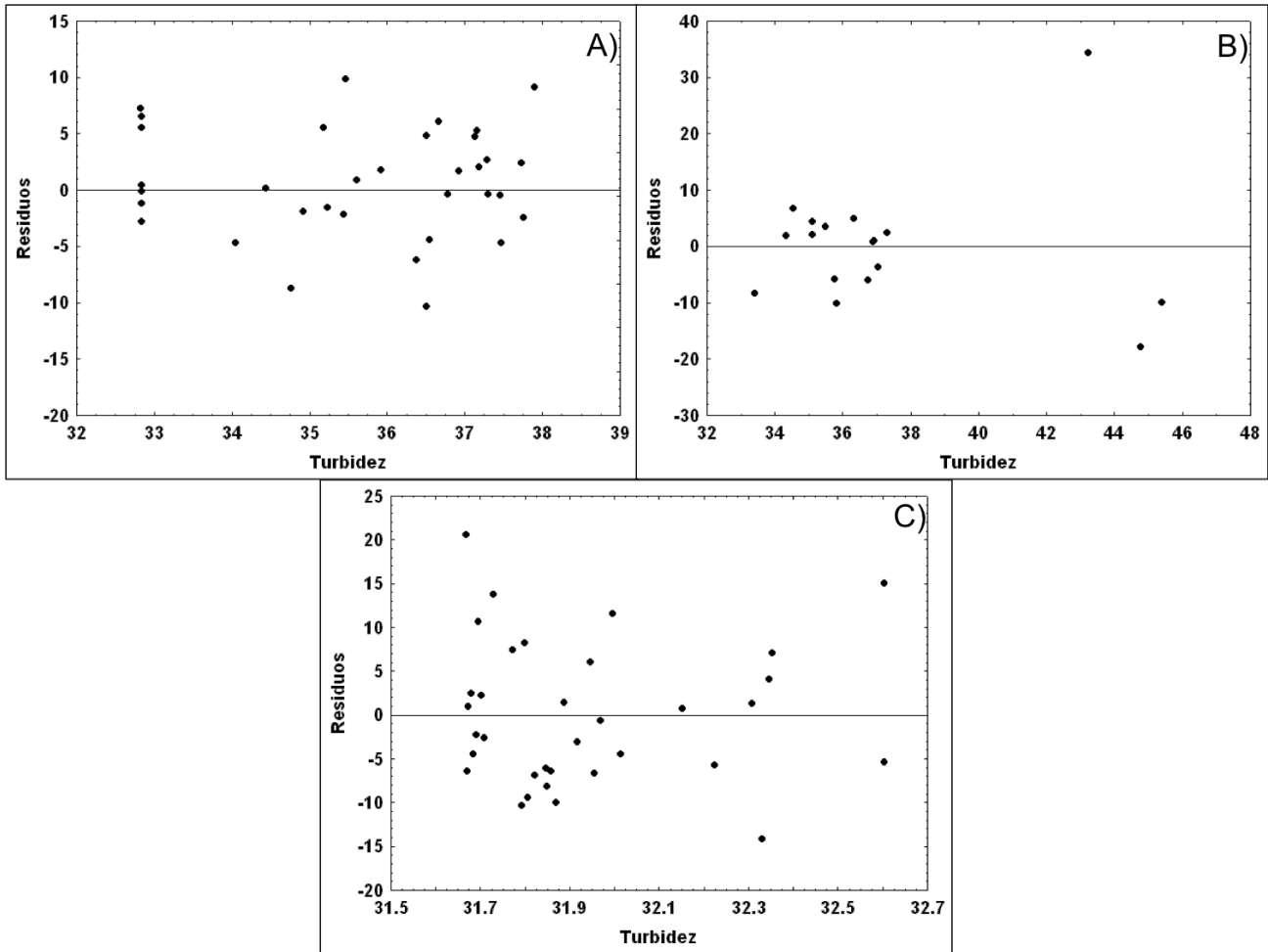


Figura A. 1. Análisis de residuos entre feopigmentos y turbidez, para la temporada de secas (A), lluvias (B) y nortes (C).

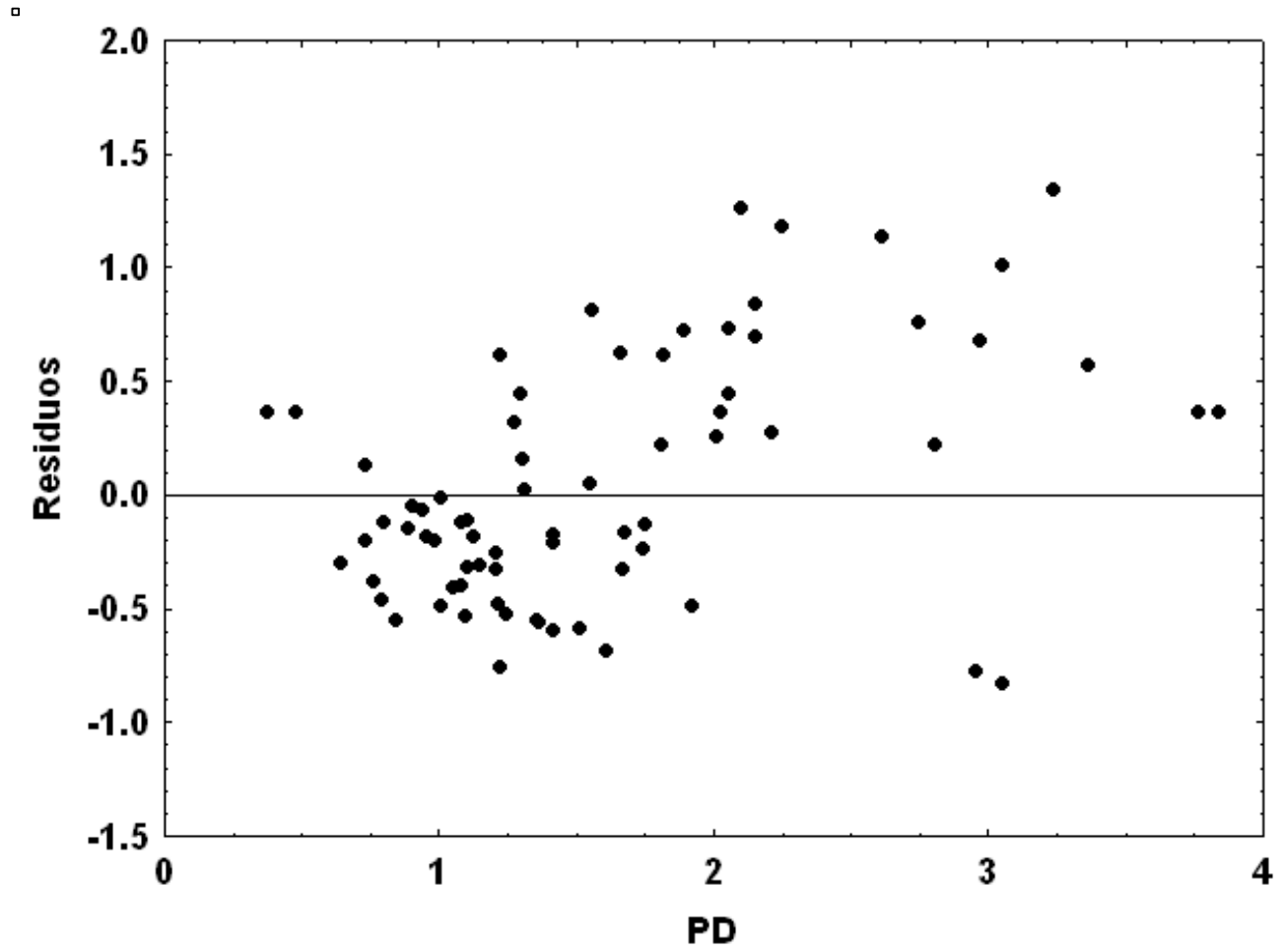


Figura A. 2. Análisis de residuos entre la clorofila a total y los pigmentos diagnósticos.

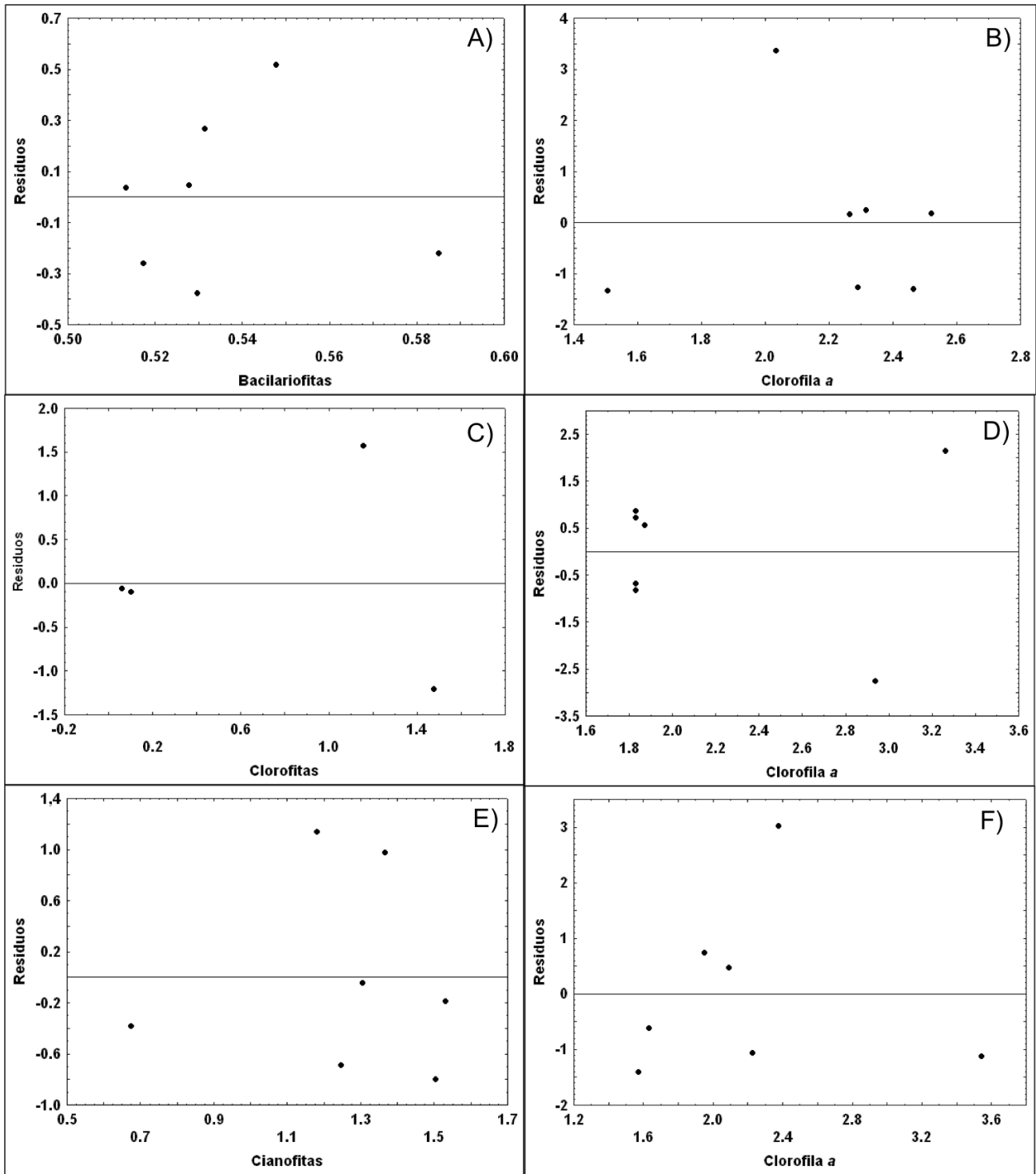


Figura A. 3. Análisis de residuos entre bacilariofitas vs fucoxantina (A), bacilariofitas vs clorofila a total (B), clorofitas vs clorofila b (C), clorofitas vs clorofila a total (D), cianofitas vs zeaxantina (E) y cianofitas vs clorofila a total (F), para la temporada secas.

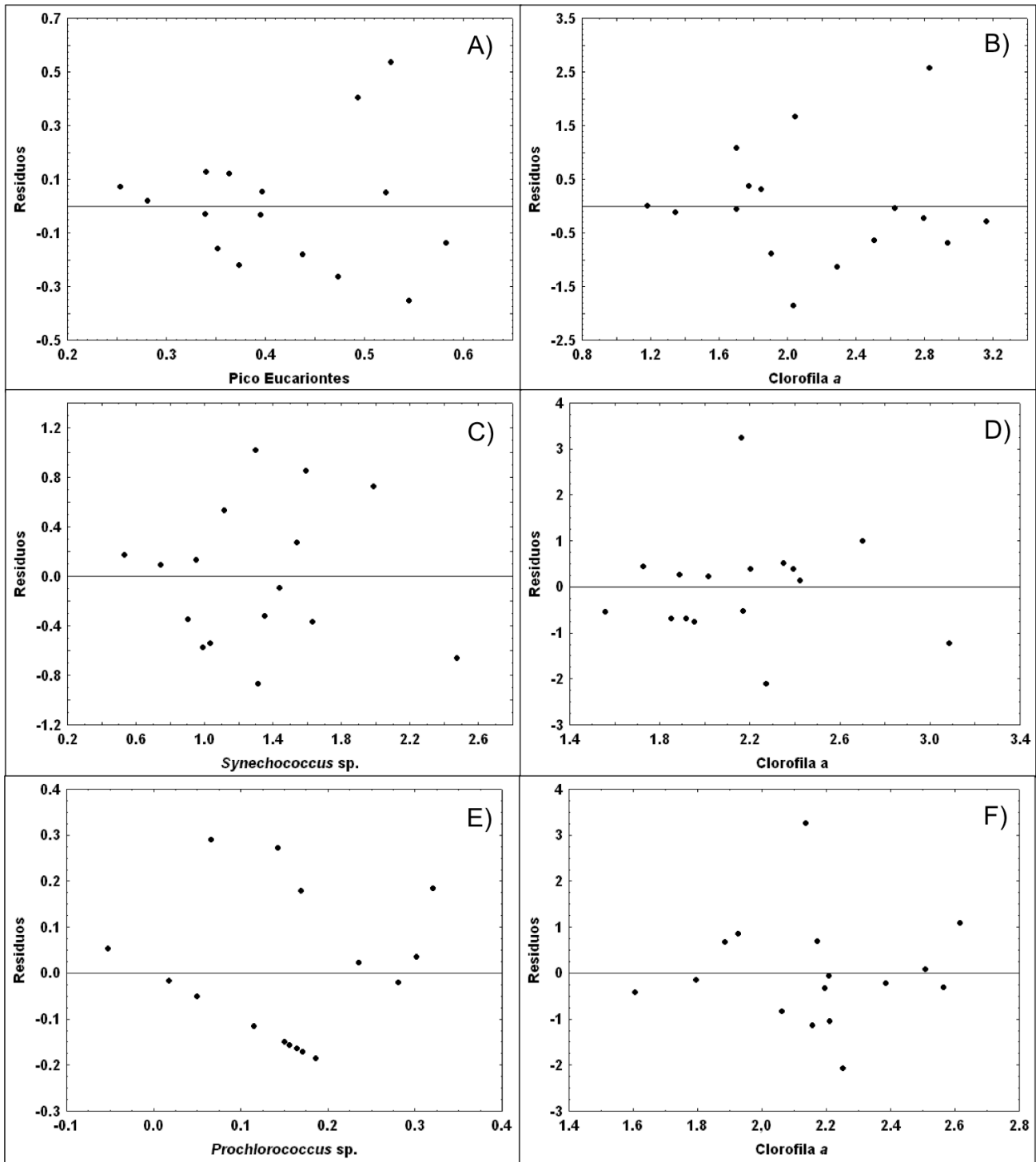


Figura A. 4. Análisis de residuos entre pico eucariontes vs fucoxantina (A), pico eucariontes vs clorofila a total (B), *Synechococcus* sp. vs zeaxantina (C), *Synechococcus* sp. vs clorofila a total (D), *Prochlorococcus* sp. vs divinil clorofila a (E) y *Prochlorococcus* sp. vs clorofila a total (F), para la temporada de secas.

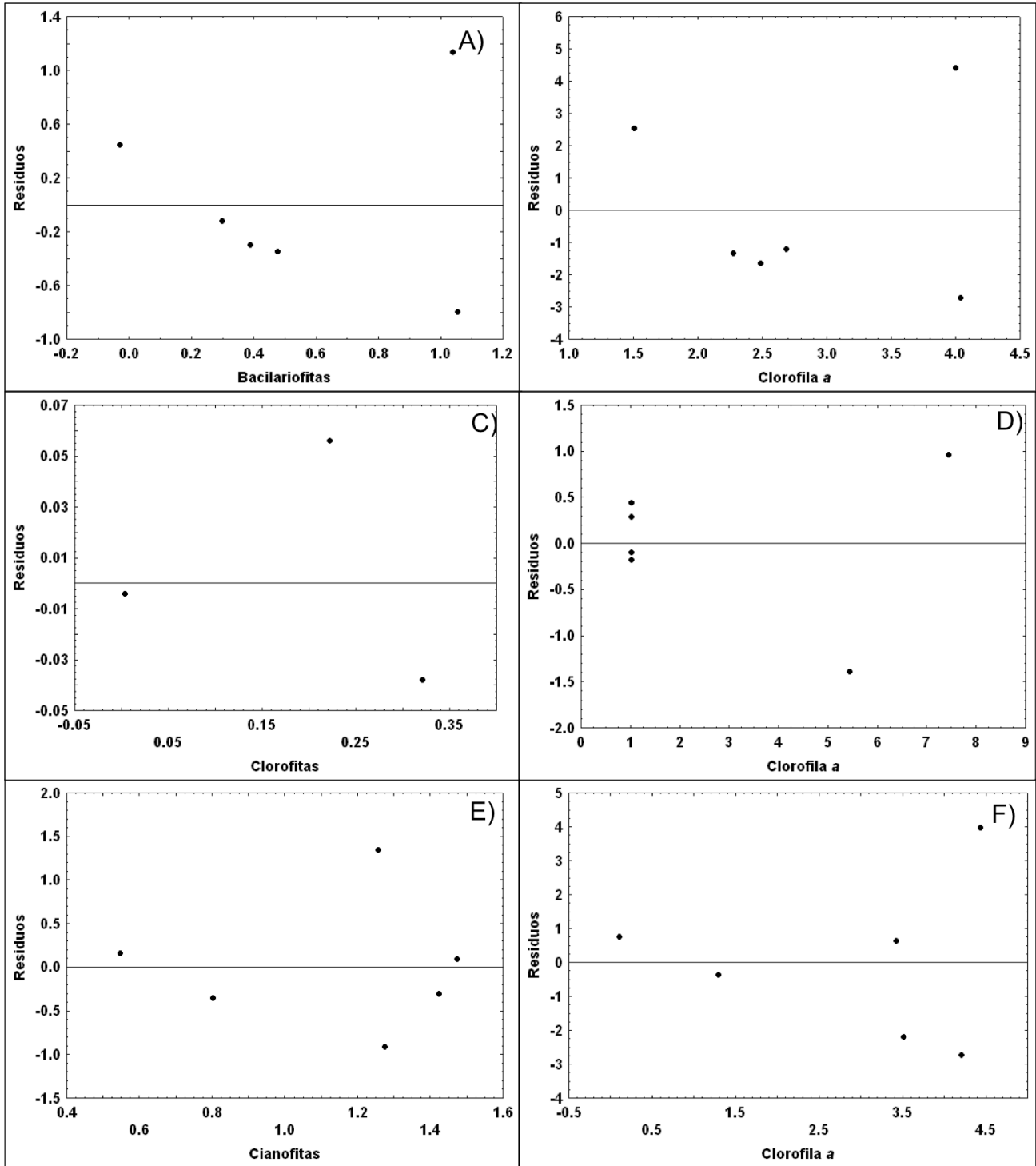


Figura A. 5. Análisis de residuos entre bacilariofitas vs fucoxantina (A), bacilariofitas vs clorofila a total (B), clorofitas vs clorofila b (C), clorofitas vs clorofila a total (D), cianofitas vs zeaxantina (E) y cianofitas vs clorofila a total (F), para la temporada lluvias.

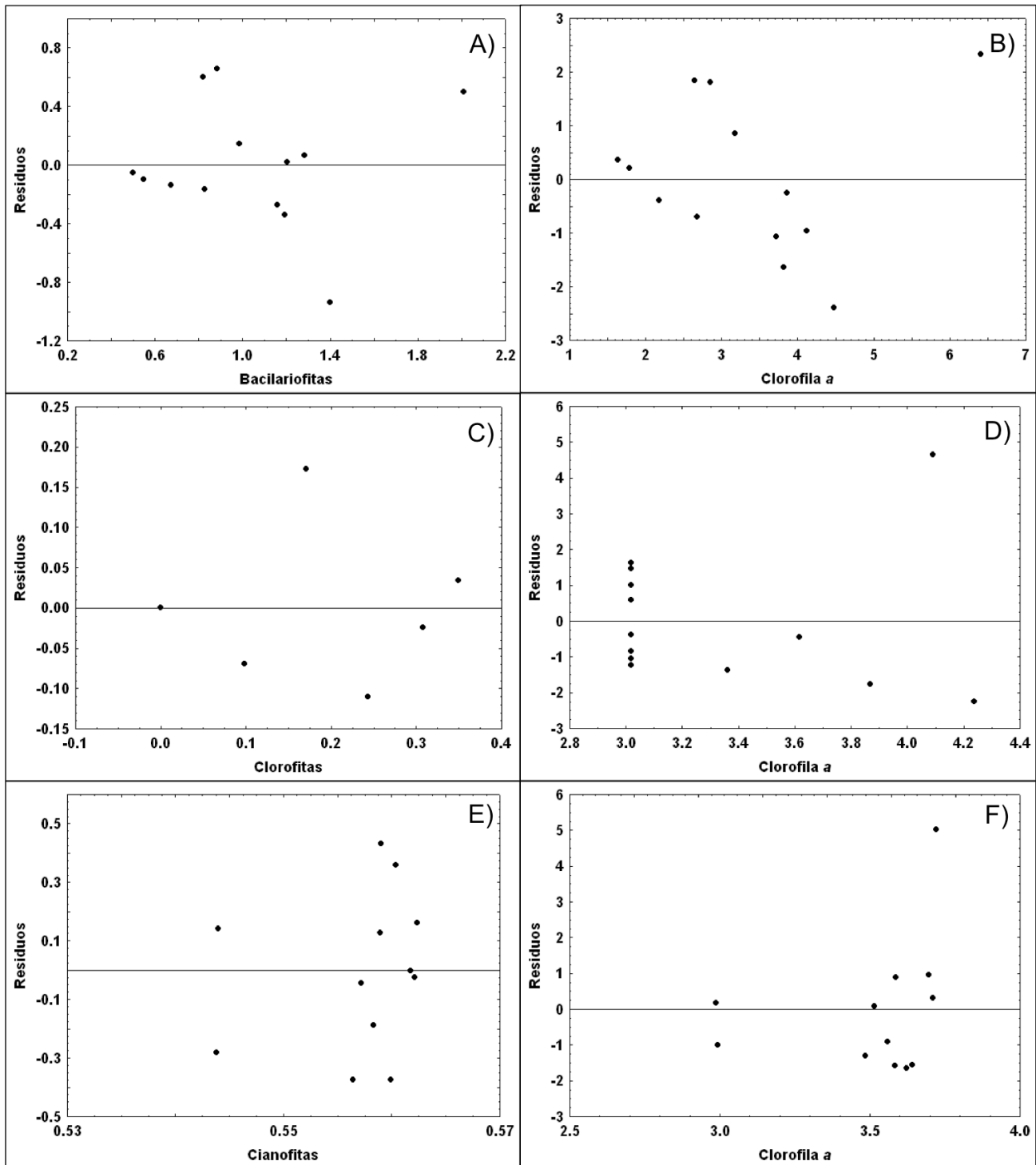


Figura A. 6. Análisis de residuos entre bacilariofitas vs fucoxantina (A), bacilariofitas vs clorofila a total (B), clorofitas vs clorofila b (C), clorofitas vs clorofila a total (D), cianofitas vs zeaxantina (E) y cianofitas vs clorofila a total (F), para la temporada nortes.



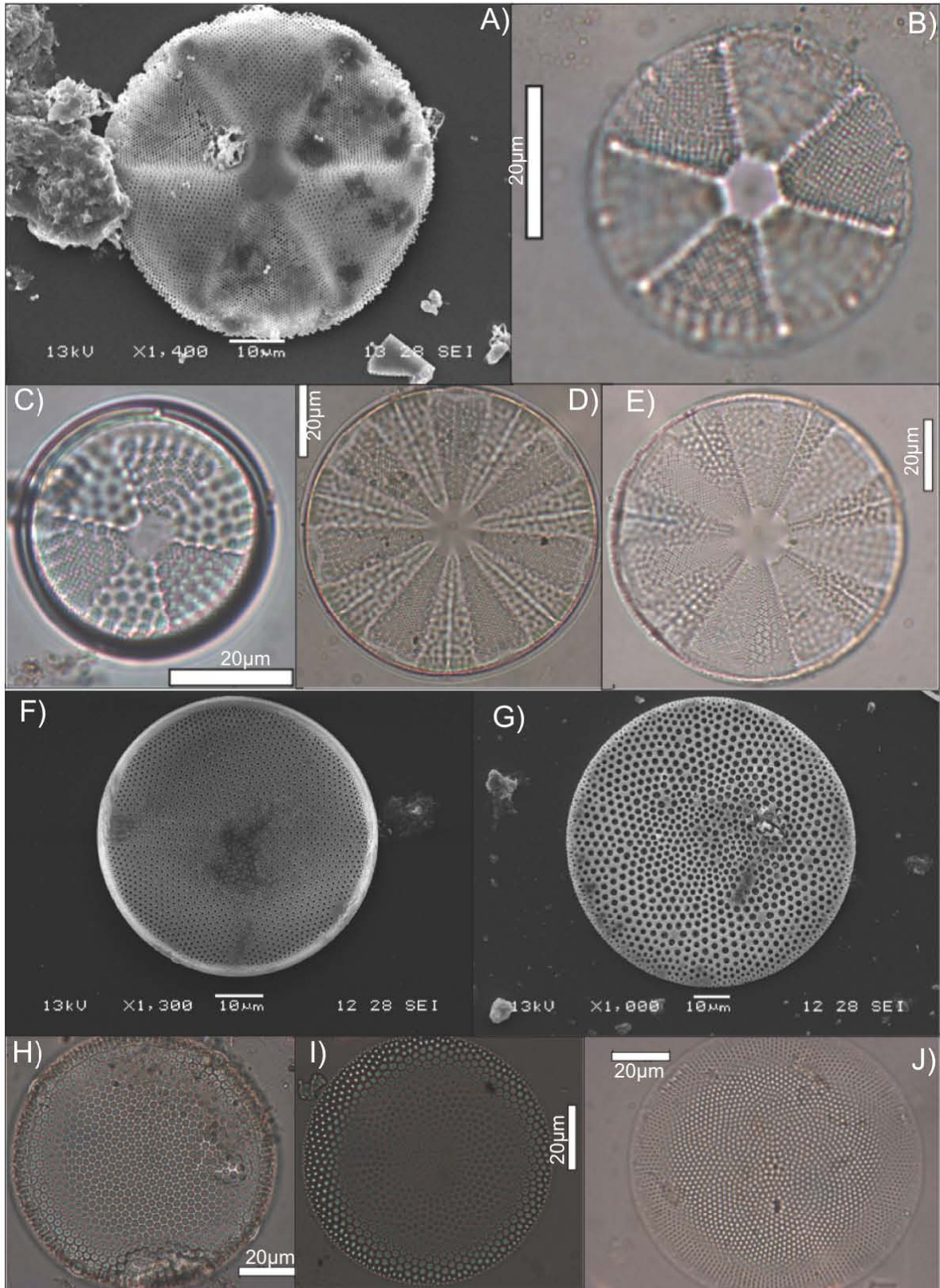


Figura A. 7. Bacilarifitas, diatomeas centricas: *Actinopterychus senarius* (A,B y C), *Actinopterychus splendens* (D y E) y *Coscinodiscus* spp. (F,G,H,I y J) .

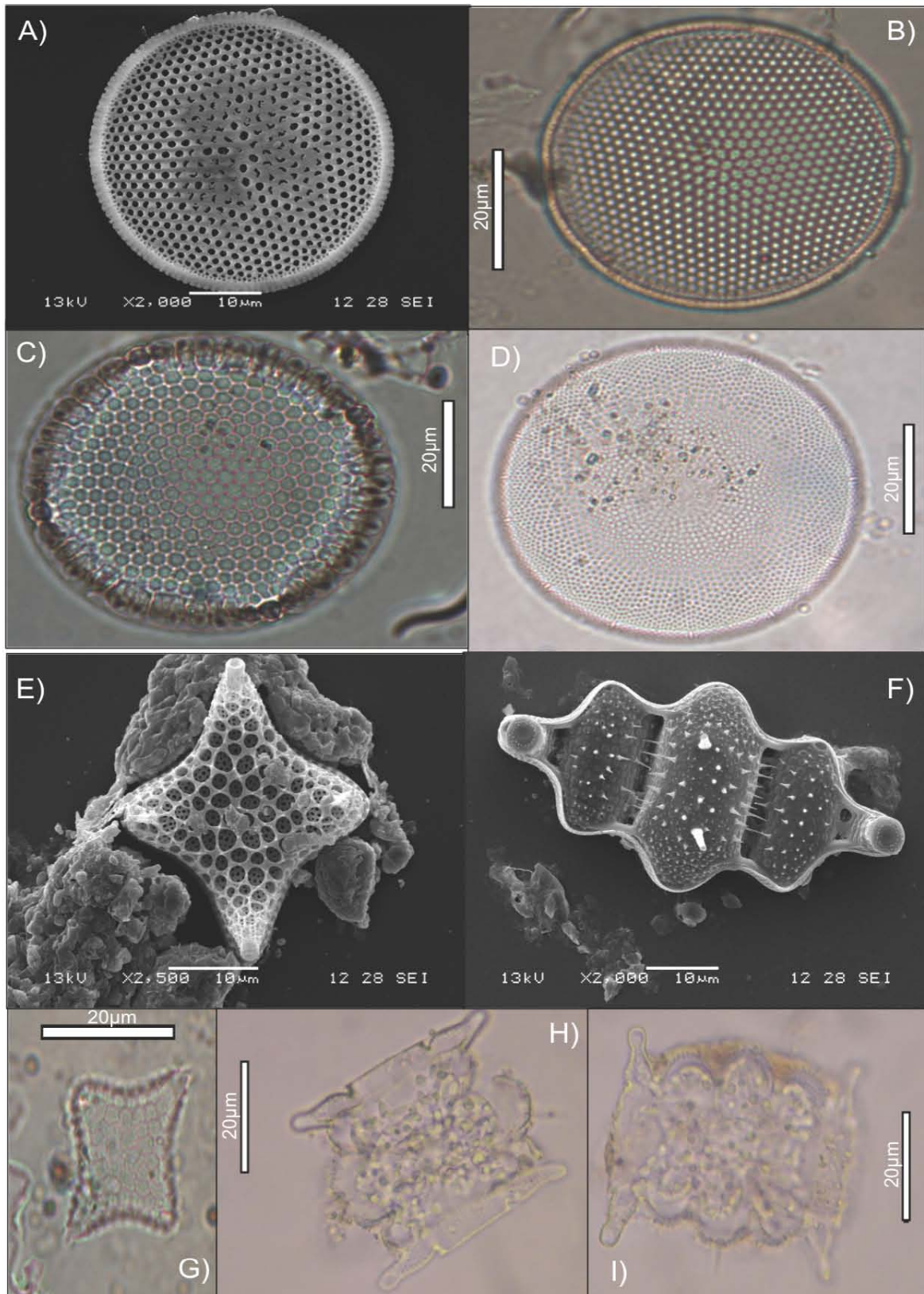


Figura A. 8. Bacilarifitas, diatomeas centricas: *Thalassiosira* spp. (A,B,C,D) y *Odontella* spp. (E,F,G,H,I).



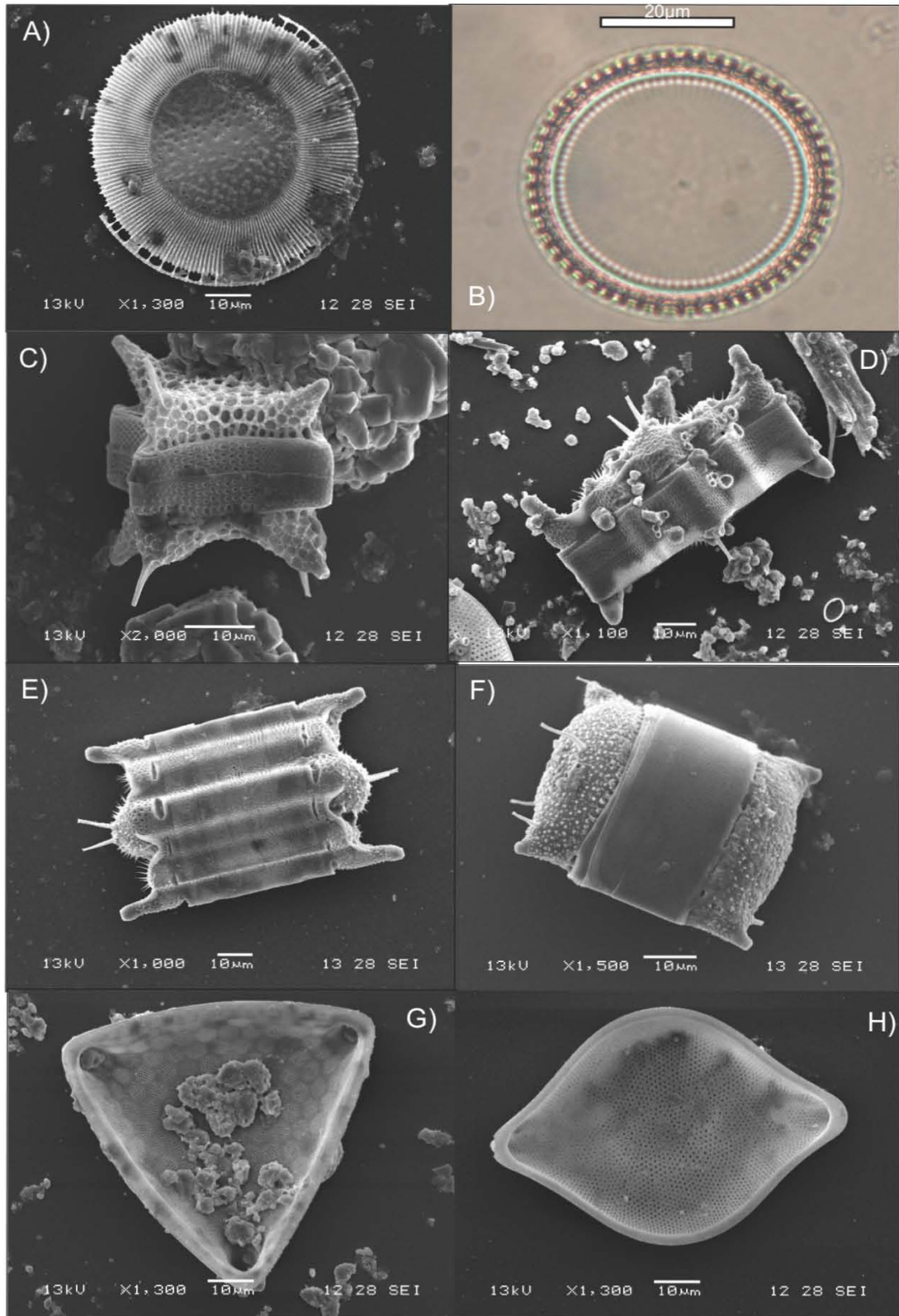


Figura A. 9. Bacilariofitas: *Paralia sulcata* (A,B), *Odontella* spp. (C,D,E,F), *Triceratium* sp. (G) y *Biddulphia rhombus* (H).

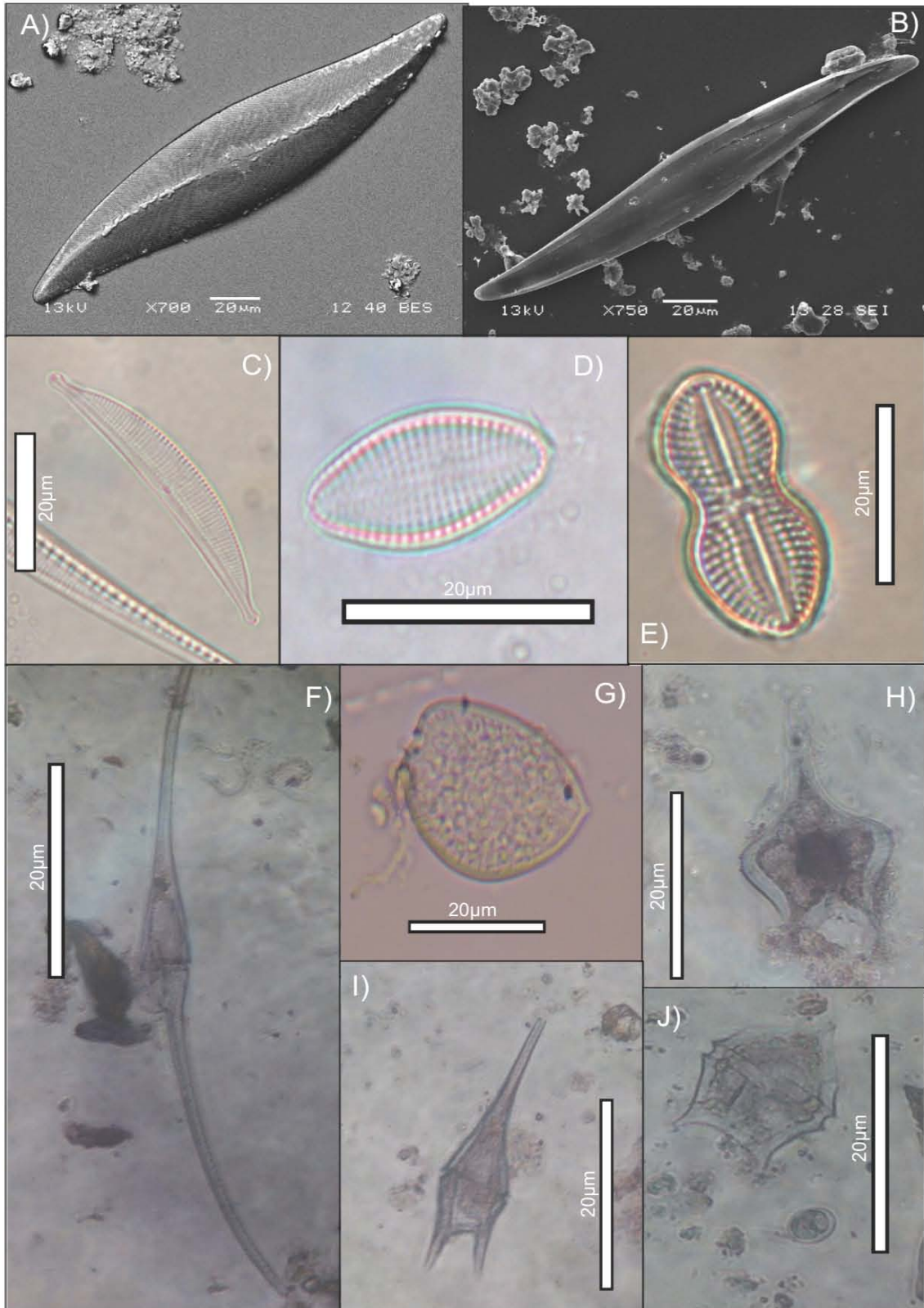


Figura A. 10. Bacilariofitas: *Pleurosigma* sp. (A,B), *Amphora* sp. (C), *Cocconeis* sp. (D), *Diploneis* sp. (E), Dinofitas: *Tripos* spp. (F, I), *Prorocentrum* sp. (G) y *Protoperidinium* sp. (H - J).

### 14.3 Cromatogramas

Data File C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\TERM0000029.D  
 Sample Name: T17T NOV89

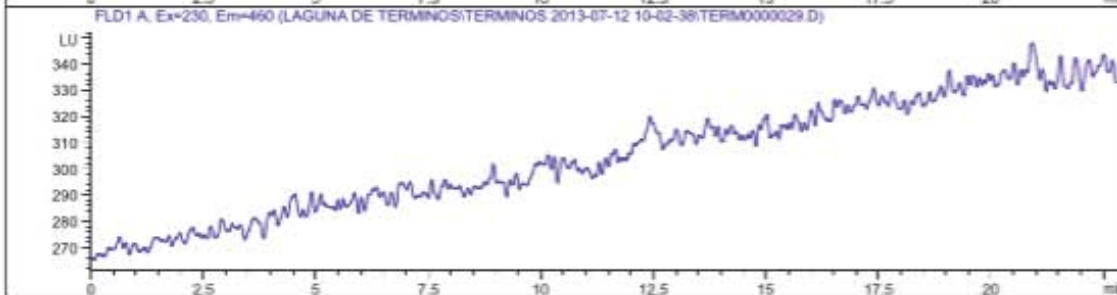
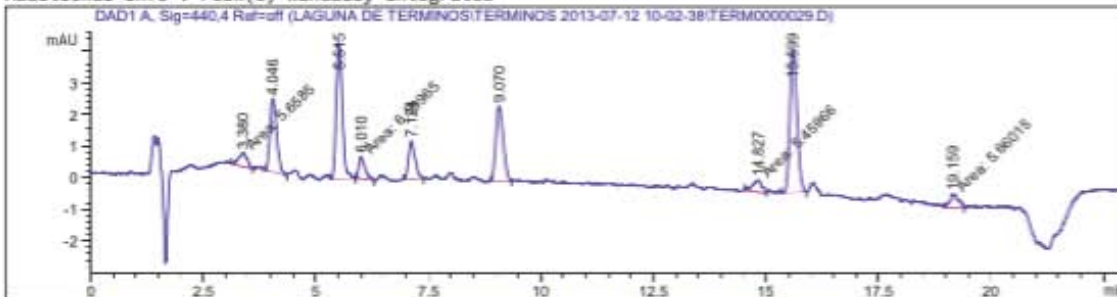
```

=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan           Seq. Line :    2
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100         Location  : Vial 1
Injection Date  : 7/12/2013 10:30:56 AM Inj       :    1
                                           Inj Volume: 100.000 µl

Method         : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\
                RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)
Last changed   : 7/12/2013 10:02:38 AM by Erick, Ivan
Method Info    : RAQUELB-Erick

Sample Info    : 571
  
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	3.380	MM	0.2281	5.65850	4.28499e-1	3.2058
2	4.046	BB	0.1574	24.26262	2.33124	13.7425
3	5.515	BB	0.1468	40.52334	4.29674	22.9526
4	6.010	MM	0.1581	6.59965	6.95866e-1	3.7381

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
5	7.124	BB	0.1549	12.53719	1.20958	7.1011
6	9.070	BB	0.1793	26.56403	2.36054	15.0460
7	14.827	MM	0.2429	5.45966	3.74592e-1	3.0924
8	15.599	BB	0.1721	49.28703	4.48712	27.9164
9	19.159	MM	0.2249	5.66015	4.19542e-1	3.2059

Totals :                    176.55216   16.60373

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*



```

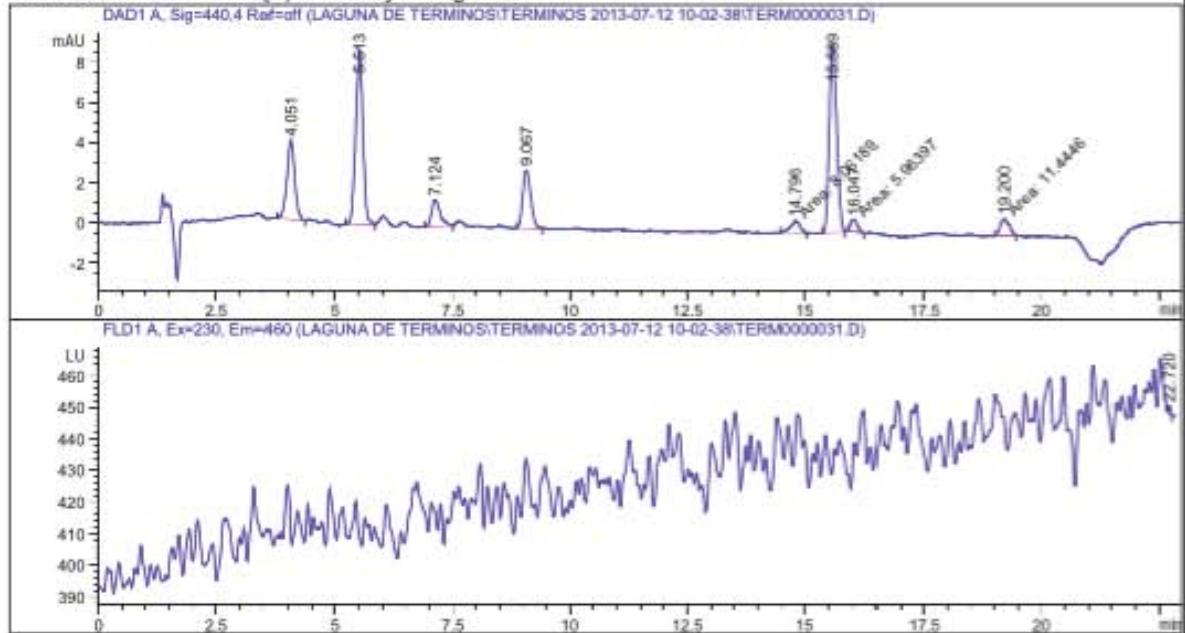
=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan                      Seq. Line :    4
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100                   Location  : Vial 3
Injection Date  : 7/12/2013 11:23:40 AM           Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 100.000 µl

Method          : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\
                RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)

Last changed    : 7/12/2013 10:02:38 AM by Erick, Ivan
Method Info     : RAQUELB-Erick

Sample Info     : Vial 573
  
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	4.051	BB	0.1746	45.25166	3.92111	14.2277
2	5.513	BB	0.1587	92.75880	8.68087	29.1646
3	7.124	BB	0.1849	16.62207	1.31987	5.2262
4	9.067	BB	0.1804	34.77272	2.88984	10.9338

Data File C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\TERM0000031.D  
Sample Name: T35T NOV09

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
5	14.796	MM	0.2262	8.06189	5.93878e-1	2.5348
6	15.589	BB	0.1767	103.17669	9.35350	32.4402
7	16.047	MM	0.1701	5.96397	5.84245e-1	1.8752
8	19.200	MM	0.2248	11.44458	8.48653e-1	3.5983

Totals : 318.05237 28.19195

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [LU*s]	Height [LU]	Area %
1	22.720	VBA	0.0621	9.77355	2.67255	100.0000

Totals : 9.77355 2.67255

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*



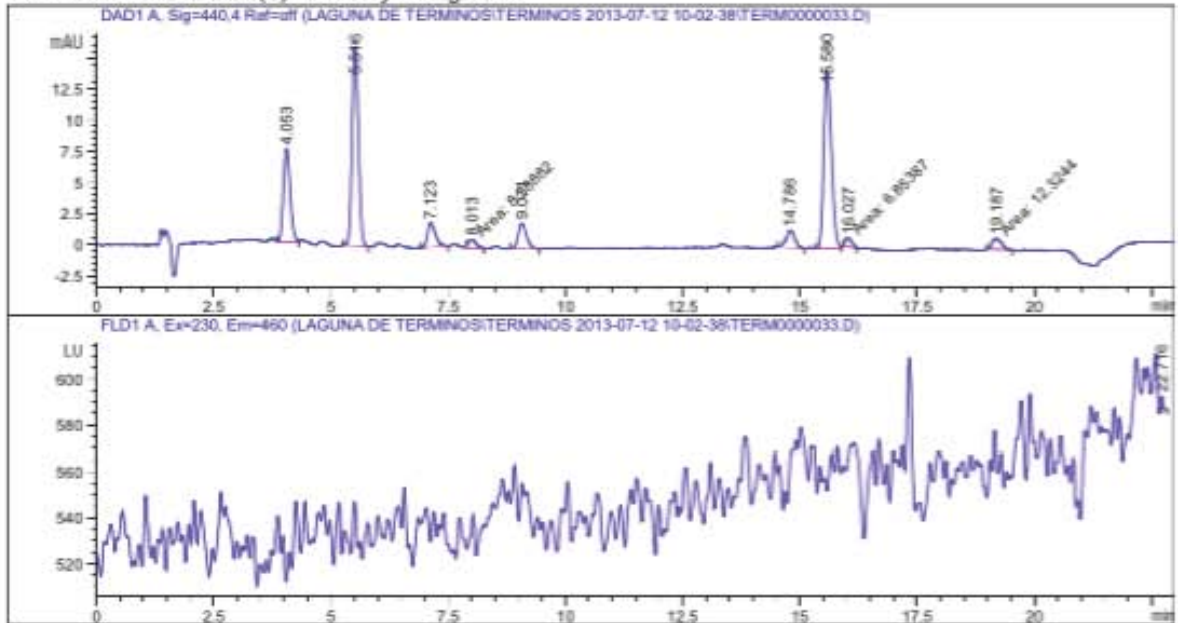
```

=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan                      Seq. Line :    6
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100                   Location  : Vial 5
Injection Date  : 7/12/2013 12:16:25 PM           Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 100.000 µl

Method         : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\
                RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)
Last changed   : 7/12/2013 10:02:38 AM by Erick, Ivan
Method Info    : RAQUELB-Erick

Sample Info    : Vial 575
  
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	4.053	BB	0.1544	74.04480	7.42282	15.3799
2	5.516	BB	0.1450	149.68214	16.02553	31.0907
3	7.123	BB	0.1825	23.54148	1.95530	4.8898
4	8.013	MM	0.2126	8.38882	6.57730e-1	1.7425

Data File C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 10-02-38\TERM0000033.D  
Sample Name: T04T NOV09

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
5	9.071	BB	0.1899	25.67701	2.05297	5.3334
6	14.786	BB	0.1850	18.52028	1.41202	3.8469
7	15.500	BV	0.1844	162.40442	14.31340	33.7332
8	16.027	MM	0.1582	6.85387	7.22293e-1	1.4236
9	19.187	MM	0.2352	12.32441	8.73294e-1	2.5599
Totals :				481.43724	45.43536	

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [LU*s]	Height [LU]	Area %
1	22.716	BBA	0.0473	20.25578	6.88236	100.0000
Totals :				20.25578	6.88236	

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*

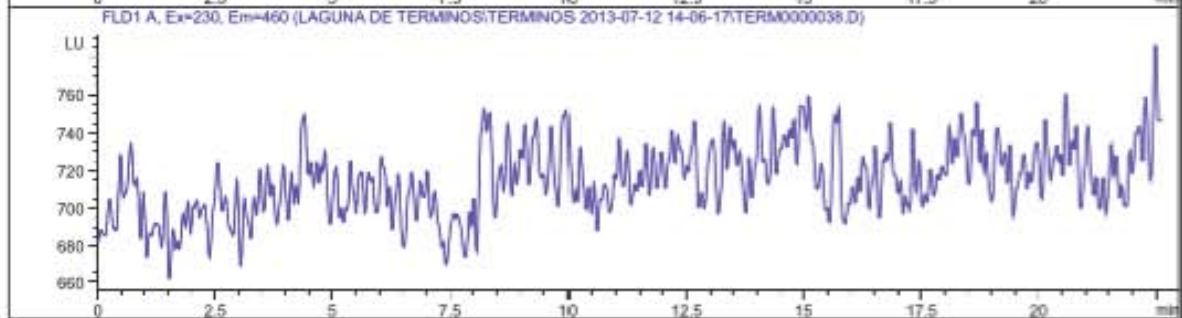
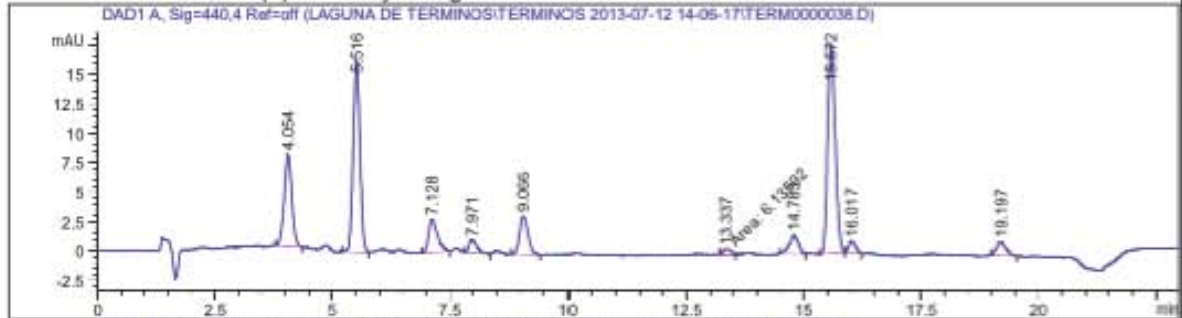
```

=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan                      Seq. Line :    2
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100                   Location  : Vial 10
Injection Date  : 7/12/2013 2:34:41 PM           Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 100.000 µl

Method         : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\
                RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)
Last changed   : 7/12/2013 2:06:17 PM by Erick, Ivan
Method Info    : RAQUELB-Erick

Sample Info    : Vial 580
  
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	4.054	BB	0.1703	87.32662	7.81652	14.6799
2	5.516	BB	0.1550	163.46410	16.29964	27.4789
3	7.128	BB	0.1885	36.58728	2.79953	6.1505
4	7.971	BB	0.1664	13.16719	1.09427	2.2135

Data File C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\TERM000038.D  
Sample Name: T06T NOV09

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
5	9.066	BB	0.1956	40.51690	3.24606	6.8118
6	13.337	MM T	0.1989	6.13592	5.14216e-1	1.0315
7	14.783	BB	0.1841	21.11282	1.61925	3.5491
8	15.572	BB	0.1813	200.11536	17.77702	33.6402
9	16.017	BB	0.1294	10.01787	1.01237	1.6840
10	19.197	BB	0.1928	16.42628	1.17710	2.7613

Totals :                      594.87034    53.35599

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*

```
=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan                      Seq. Line :    8
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100                   Location  : Vial 16
Injection Date  : 7/12/2013 5:13:00 PM           Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 100.000 µl

Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\
                RAQUELBERICKBB.M

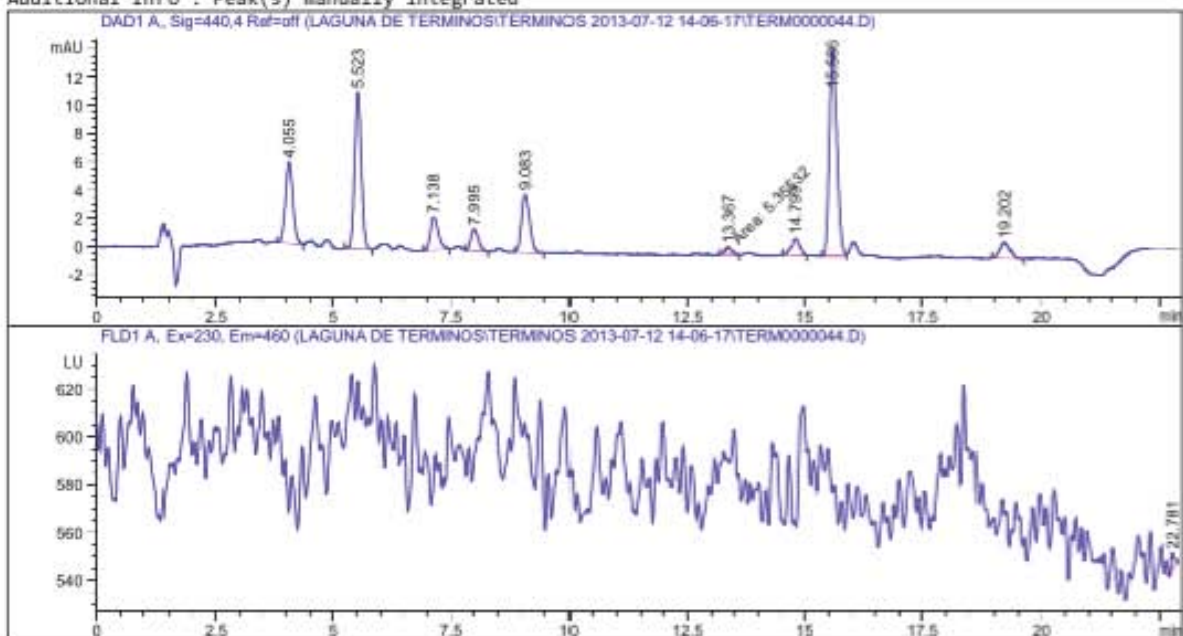
Last changed   : 7/12/2013 2:06:17 PM by Erick, Ivan
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\
                RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)

Last changed   : 8/26/2013 12:25:48 PM by Erick, Ivan
                (modified after loading)

Method Info    : RAQUELB-Erick

Sample Info    : Vial 586
=====
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Area Percent Report

```
=====
Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
=====
```

Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	4.055	BB	0.1673	62.88223	5.76518	13.4595
2	5.523	BB	0.1535	109.74566	11.08595	23.4904
3	7.138	BB	0.1801	27.25071	2.33597	5.8328
4	7.995	BB	0.1671	16.99171	1.53577	3.6370
5	9.083	BB	0.1882	49.27101	4.10137	10.5461
6	13.367	MM T	0.1837	5.35532	5.16360e-1	1.1463
7	14.799	BB	0.1732	14.76898	1.17037	3.1612
8	15.586	BV	0.1792	163.57814	14.54202	35.0129
9	19.202	BB	0.2164	17.35058	1.12218	3.7138

Totals : 467.19435 42.17516

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [LU*s]	Height [LU]	Area %
1	22.781	BBA	0.0641	30.11768	6.87710	100.0000

Totals : 30.11768 6.87710

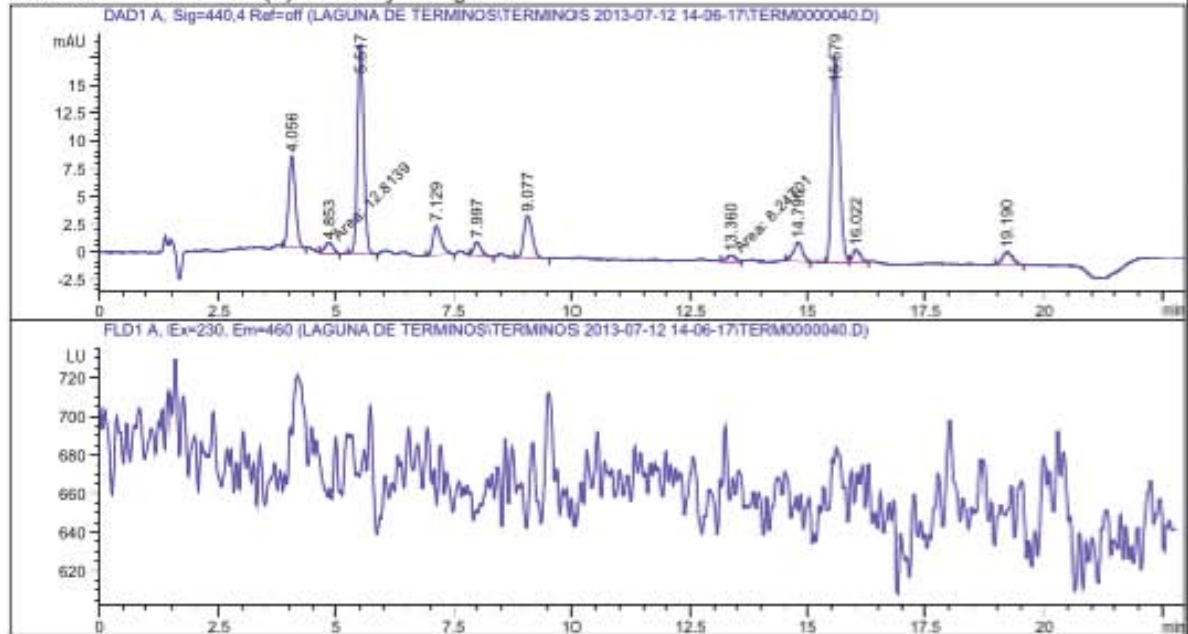
=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*

Data File C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\TERM0000040.D  
Sample Name: T07T MOV09

```
=====
Acq. Operator   : Erick, Ivan                      Seq. Line :    4
Acq. Instrument : LEC-HPLC-1100                   Location  : Vial 12
Injection Date  : 7/12/2013 3:27:24 PM            Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 100.000 µl

Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\
RAQUELBERICKBB.M
Last changed    : 7/12/2013 2:06:17 PM by Erick, Ivan
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\LAGUNA DE TERMINOS\TERMINOS 2013-07-12 14-06-17\
RAQUELBERICKBB.M (Sequence Method)
Last changed    : 8/26/2013 12:10:34 PM by Erick, Ivan
                 (modified after loading)
Method Info     : RAQUELB-ERICK
Sample Info     : Vial 582
=====
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



=====  
Area Percent Report  
=====

```
Sorted By      :      Signal
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```



Signal 1: DAD1 A, Sig=440,4 Ref=off

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Area %
1	4.056	BB	0.1550	82.97882	8.27085	12.9351
2	4.853	MM T	0.2187	12.81394	9.76593e-1	1.9975
3	5.517	BB	0.1486	179.70534	18.96373	28.0132
4	7.129	BB	0.1826	32.70130	2.67625	5.0976
5	7.997	BB	0.1642	13.88817	1.20740	2.1649
6	9.077	BB	0.1857	48.13337	3.85461	7.5032
7	13.360	MM T	0.2316	8.24701	5.93579e-1	1.2856
8	14.796	BB	0.1934	23.16122	1.71696	3.6105
9	15.579	BV	0.1782	211.08356	18.63207	32.9046
10	16.022	VB	0.1589	12.45074	1.14479	1.9409
11	19.190	BB	0.1981	16.33900	1.13377	2.5470

Totals : 641.50246 59.17060

Signal 2: FLD1 A, Ex=230, Em=460

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*