



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**“VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CLOROFILA *a* Y ALGUNOS
PIGMENTOS ACCESORIOS DEL FITOPLANCTON EN EL DELTA DEL RIO
COLORADO.”**

TESIS
Que para obtener el título de
OCEANOLOGO
Presenta:
Ofir Molina González.

Ensenada, B.C., Agosto de 2012.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**“VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CLOROFILA *a* Y ALGUNOS
PIGMENTOS ACCESORIOS DEL FITOPLANCTON EN EL DELTA DEL RIO
COLORADO.”**

TESIS
Que para obtener el título de
OCEANOLOGO
Presenta:
Ofir Molina González.

Ensenada, B.C., Agosto de 2012.

**“VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CLOROFILA *a* Y
ALGUNOS PIGMENTOS ACCESORIOS DEL FITOPLANCTON EN
EL DELTA DEL RIO COLORADO.”**

TESIS

QUE PRESENTA:

OFIR MOLINA GONZÁLEZ.

APROBADA POR:



Dr. Roberto Millán Núñez
PRESIDENTE DEL JURADO.



Dra. Adriana G. González Silvera.
SINODAL



Dr. Manuel Salvador Galindo Bect.
SINODAL

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer primeramente a mi Dios, quien no me ah dejado por solo un momento, gracias Dios por las bendiciones que eh recibido.

Gracias Papá, Mamá y Elias, por ser parte indispensable de mi vida durante estos 23 años, y que ahora que Dios me concede el poder terminar una etapa más, aquí siguen conmigo.

Gracias al Dr. Roberto Millán, gracias porque me apoyó aún a sabiendas que desconocía totalmente el tema al iniciar este trabajo.

Gracias.
Ofir.

RESUMEN.

La medición de la concentración de la clorofila-a y de los pigmentos accesorios del fitoplancton, ha sido de gran importancia, ya que a partir de ella se obtiene información sobre la biomasa fitoplanctónica, e identificación de algunos grupos fitoplanctónicos. Con el propósito de conocer la variabilidad de la concentración de clorofila-a y algunos pigmentos del fitoplancton en diferentes épocas del año, se realizaron cuatro campañas de muestreo en el Delta del Rio Colorado (Abril, Agosto y Diciembre de 2009, Marzo de 2010). La estimación de la concentración de clorofila-a fue realizada mediante el uso de espectrofotómetro y cromatografía líquida de alta precisión (HPLC). La concentración de clorofila-a fue mayor para abril de 2009 y presentó una marcada diferencia temporal el resto de las campañas. Además la concentración de clorofila-a mostró diferentes valores entre las diferentes estaciones en el área del delta en cada campaña de muestreo.

Palabras Clave: Fitoplancton, Pigmentos, Delta del Rio Colorado.

INDICE GENERAL.

	Pág.
INDICE GENERAL.....	I
LISTA DE TABLAS.....	II
FIGURAS.....	III
FOTOGRAFIAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo.....	4
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
Descripción del área de estudio.....	5
Campañas de muestreo.....	8
Colecta de muestras.....	10
Análisis de pigmentos.....	11
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS.....	13
Análisis por espectrofotómetro.....	13
HPLC.....	22
Observaciones en el microscopio.....	27
DISCUSIÓN.....	36
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS.....	45

LISTA DE TABLAS.

TABLA I. Fechas de muestreo y estaciones muestreadas en cada día de campaña..... Pág. 9

TABLA II. Valores promedio de la concentración de clorofila a (mg/m^3) en las 4 campañas, se marcan los valores máximos en cada zona. (Analizadas por espectrofotómetro)Pág. 21

TABLA III. Valores promedio de la concentración de clorofila a (Chla), así como 4 pigmentos accesorios, Fucoxantina (Fuco), Peridinina (Per), Diadinoxantina (Diad) y Clorofila C2 (Chla C2), medidos con HPLC, correspondientes a la campaña de Agosto de 2009.....Pág.45

TABLA IV. Valores promedio de la concentración de clorofila a (Chla), así como 4 pigmentos accesorios, Fucoxantina (Fuco), Peridinina (Per), Diadinoxantina (Diad) y Clorofila C2 (Chla C2), medidos con HPLC, correspondientes a la campaña de Marzo de 2010.Pág.45

FIGURAS.

Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo, así como las subdivisiones (Norte, Sur, Este, Oeste).....Pág. 6

Figura 2. Distribución de la turbidez de acuerdo a la profundidad del disco de Secchi: Abril círculo negro, Agosto círculo claro, Diciembre triángulo claro y Marzo triángulo negro.....Pág. 7

Figura 3. Concentraciones de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa) medidas por espectrofotómetro para cada una de las estaciones en los cuatro muestreos.....Pág. 15

Figura 4. Promedios de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa), obtenida en cada campaña de muestreo por espectrofotómetro.....Pág. 16

Figura 5. Concentración de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa), presentes en la zona norte, analizada por espectrofotómetro.....Pág. 17

Figura 6. Concentración de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa), presentes en la zona sur, analizada por espectrofotómetro.....Pág. 18

Figura 7. Concentración de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa), presentes en la zona central este, analizada por espectrofotómetro.....Pág. 19

Figura 8. Concentración de Clorofila *a* (Chla) y Feofitina *a* (Feoa), presentes en la zona central oeste, analizada por espectrofotómetro.....Pág. 20

Figura 9. Concentraciones de Clorofila-*a* (chla), Clorofila C2 (chl c2), Peridinina (peridin), Fucoxantina (fuco), Hexanoloxyfucoxantina (hex), Prasincoxantina (pras), Violaxantina (viol), Diadinoxantina (diad), Alloxantina (allo), Diatoxantina (diato), Zeaxantina (zea), Clorofila *b* (chl b), analizadas por HPLC, para dos campañas de muestreo.....Pág. 24

Figura 10. Valores promedio de los pigmentos Clorofila C2 (chl c2), Peridinina (peridin), Fucoxantina (fuco), Diadinoxantina (diad) y Clorofila-*a* (chla), datos obtenidos durante las campañas de agosto de 2009, y marzo de 2010, medidos con HPLC.....Pág. 25

Figura 11. Valores de la concentración de Clorofila-a (chl a) y algunos pigmentos accesorios, Clorofila C2 (chl c2), Peridinina (peridin), Diadinoxantina (diad) y Fucoxantina (fuco), medidos con HPLC.....Pág. 26

FOTOGRAFÍAS.

Fotografía 1. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 10. ¹*Coscinudiscus* sp., ²*Thalassionema* sp., ³*Triceratium* sp.....Pág. 28

Fotografía 2. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 2. ¹*Protoperidinium* sp., ²*Coscinudiscus* sp., ³*Thalassiothrix* sp.....Pág. 29

Fotografía 3. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 15. ¹*Pleurosigma* sp., ²*Coscinudiscus* sp., ³*Thalassiothrix* sp.....Pág. 30

Fotografía 4. Organismo perteneciente al muestreo realizado durante marzo en la estación 15. ¹*Chaetoceros* sp. y ²*Thalassiosira* sp.....Pág. 31

Fotografía 5. . Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 13. ¹*Ceratium* sp., ²*Triceratium* sp., ³*Coscinudiscus* sp.....Pág. 32

Fotografía 6. Organismo perteneciente al muestreo realizado durante abril en la estación 7. ¹*Triceratium* sp.....Pág.33

- Fotografía 7.** Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante abril en la estación 7. ¹*Coscinudiscus* sp., ²*Thalassionema* sp.....Pág. 34
- Fotografía 8.** Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 14. ¹*Ceratium* sp., ²*Ditylum* sp. y ³*Odontella* sp.....Pág. 35

INTRODUCCION.

La concentración de clorofila es ampliamente utilizada como un indicador de biomasa del fitoplancton. Los pigmentos del fitoplancton incluyen a la clorofila-a (Chl_a) y los pigmentos accesorios, éstos son indispensables para la captura de la energía solar para poder realizar la fotosíntesis (Kirk, 1987).

Existen una gran variedad de pigmentos accesorios, los cuales varían dependiendo de la especie, estado fisiológico y grado de aclimatación a la luz (Falkowsky & Raven, 1997). Además, estos se pueden clasificar de acuerdo a su función en fotosintéticos o fotoprotectores (Barocio-León, 2006).

La distribución del fitoplancton en el océano está gobernada por las condiciones ambientales como temperatura, nutrientes, irradiancia y la estabilidad de la columna de agua (Margalef. 1978). Generalmente, grandes células del fitoplancton tienden a dominar en aguas turbulentas donde la concentración de nutrientes es alta, mientras células más pequeñas son dominantes en aguas estratificadas, en las cuales están presentes formas regeneradas de nitrógeno (Chisholm, 1992; Cullen *et al.* 2002).

El Delta del Rio Colorado (DRC), es una zona de crianza para algunos organismos como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), además de que es una zona importante para la pesca de camarón (Edwards, 1978). El Delta también está catalogado como un área Importante de aves en México (AICA), y un sitio de prioridad para la conservación de la biodiversidad como fue decretado por la Comisión Nacional en la Biodiversidad (CONABIO; Cervantes *et al.*, 1999). Dado a esta importancia es necesario llevar a cabo estudios sobre los cambios en la biomasa de los productores primarios durante diferentes épocas del año.

Resulta de gran importancia el considerar el factor luz, en términos de calidad e intensidad, en la relación a la productividad orgánica primaria, ya que las tasas fotosintéticas aumentan linealmente con la irradiancia hasta aproximarse a una meseta en las intensidades luminosas de saturación (De la Peña, 1991).

Las altas intensidades luminosas suelen actuar como inhibidores de la fotosíntesis, fenómeno conocido como fotoinhibición, tal como lo describió Jenkin (1937) en Bougis (1976), esto, como resultado de un experimento realizado con un cultivo de *Coscinudiscus excentricus*. La presencia de plancton y detritus además de las características propias del agua, provocan atenuación de la luz en el medio marino (Kirk, 1987).

La variación de la concentración de Chla en el fitoplancton, es un reflejo de las adaptaciones del fitoplancton a la luz (Falkowsky & Raven, 1997). Un ejemplo de esto lo describió Neale (1985), el cual reportó que el contenido total de Chla fue el doble para bajas intensidades de luz, que para las de una alta intensidad de luz, esto lo realizó en un cultivo de *Chlamydomonas reinhardtii*.

La región del DRC, se caracteriza por un amplio intervalo de mareas hasta de 9 m durante mareas vivas (Mathews, 1969) y una corriente de marea muy fuerte lo que produce una intensa resuspensión de sedimentos, lo cual a su vez produce una alta turbidez (Millán-Núñez *et al.*, 1999). En estos casos, aunque la zona eufótica sea muy somera, todas las células del fitoplancton presentes en la columna de agua reciben luz. El contenido orgánico de estas aguas es muy alto, lo que ocasiona que sean aguas ricas en bacterias, plancton, peces así como crustáceos (Bourillón-Moreno *et al.*, 1988).

Hipótesis.

Zonas como el DRC con aguas turbias y de alta energía, y que presentan una amplia amplitud de mareas e intensas corrientes de marea, provocan homogenización de la columna de agua que hace que se presenten altas concentraciones de Chla en diferentes épocas del año.

Objetivo.

Estimar la variación espacial y temporal de la Chla y algunos pigmentos accesorios del fitoplancton en la zona del DRC para los meses abril, agosto y diciembre de 2009 y marzo de 2010.

MATERIALES Y METODOS.

Descripción del área de estudio.

El DRC (Fig. 1), se encuentra localizado entre los 31.68 y 31.90 de latitud Norte y los 114.52 y 114.97 de longitud Oeste, entre los estados de Baja California al Oeste y Sonora al Este. La zona, presenta un clima semi-arido, muy seco, con temperaturas de 0°C a 55°C, con un promedio anual de 23°C (Contreras, 1998).

El Alto Golfo de California, en el cual se encuentra el DRC, posee una forma más o menos triangular (Lepley et al; 1975). El contenido de sedimentos de origen terrígeno ha sido acarreado en su mayoría por el Rio Colorado, constituyendo un amplio delta sumergido en su mayor parte, el cual parece estar relacionado a la última transgresión post-Pleistocénica, con rocas ígneas intrusivas y extrusivas del cenozoico medio (Carranza-Edwards et al; 1975).

Cerca a la boca del canal del río, la cuenca consta de 3 canales separados por las islas Montague y Pelicano (Meckel 1975). Los canales fluctúan en un ancho aproximado de ~0.5 km en la parte norte de la Isla Montague, hasta ~3km a los lados de las islas Montague y Pelicano, alcanzando ~30 km entre las costas de Baja California y Sonora, al sur de las islas. La distancia entre la parte sur de las islas y la región más interna influenciada por la marea, alcanza ~50 Km de largo (Fig. 1). La vegetación es esparcida y restringida a lo largo del fondo lodoso que hay en la planicie deltaica, estando constituida principalmente por *Distichlis sp.* (Meckel, 1975).

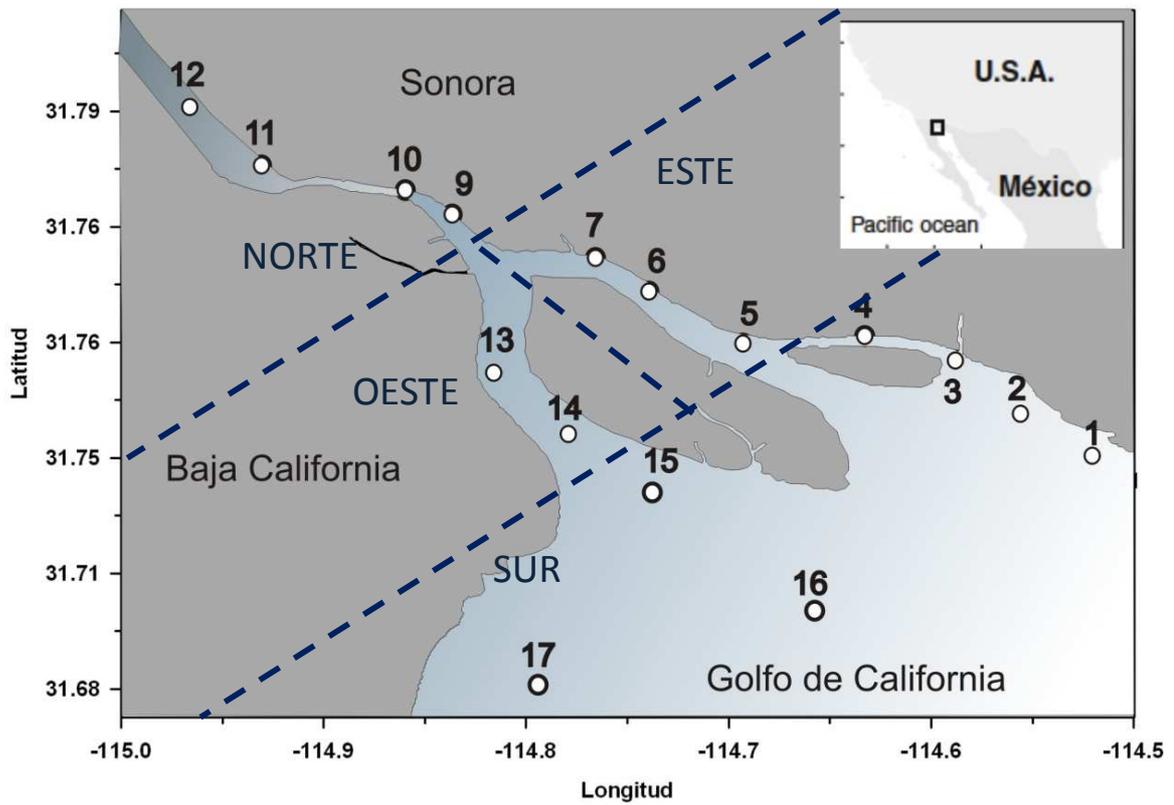


Figura 1. Estaciones de muestreo y subdivisiones (Norte, Sur, Este, Oeste).

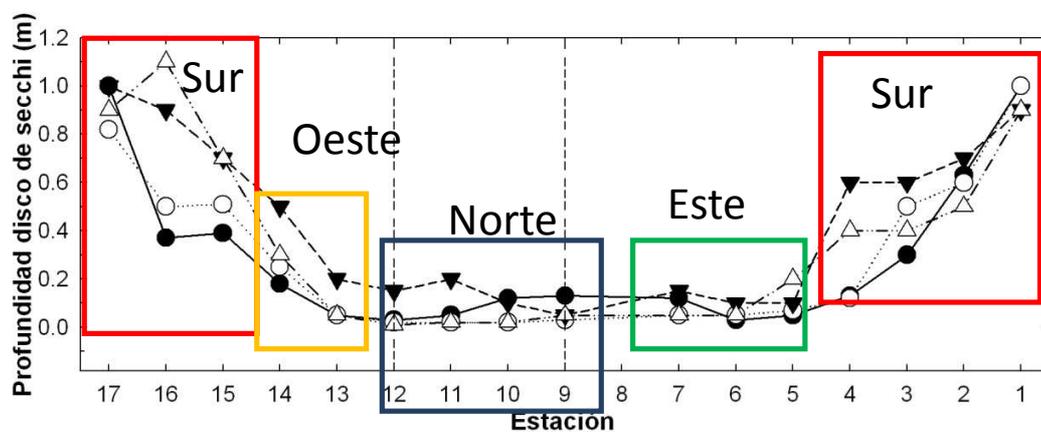


Figura 2. Distribución de la turbidez de acuerdo a la profundidad del disco de Secchi: Abril círculo negro, Agosto círculo claro, Diciembre triángulo claro y Marzo triángulo negro.

Campañas de muestreo.

Se realizaron cuatro muestreos en la zona del DRC, en el periodo 2009-2010, durante tres días consecutivos en periodos de mareas vivas en los meses de abril, agosto y diciembre de 2009, y marzo de 2010 (Tabla I).

La zona de estudio está compuesta por un total de 16 estaciones (Fig. 1) de manera de tener una malla de estaciones representativa del lugar.

	Delta Río Colorado	
	Día	Estaciones
Abril 2009	24	7,9,10,11,12.
	26	13,14,15,16,17.
	27	1,2,3,4,5,6.
Agosto 2009	18	14,15,16,17.
	19	2,3,4,5,6,7.
	20	1,9,10,11,12,13.
Diciembre 2009	01	16, 17,15, 14, 13, 7.
	02	4,6,9,10,11,12.
	03	1,2,3,4.
Marzo 2010	13	16,17,15,14,13.
	14	12,11,10,9,7,6.
	15	1,2,3,4,5.

Tabla I. Fechas de muestreo y estaciones muestreadas en cada día de campaña.

Colecta de muestras.

Durante cada una de las campañas de muestreo, se colectaron muestras de agua con recipientes plásticos a partir de los cuales se obtuvieron alícuotas de un litro de agua de mar, a la cual se le adicionó aproximadamente 1 mL de una solución saturada de $MgCO_3$, para reducir la degradación de la Chla a Feofitina-a (Feoa). Posteriormente se filtró con una bomba de vacío manual a una presión menor a una atmosfera, con equipo de filtración Millipore y filtros de membrana de nitrocelulosa de 0.45 μm de luz de poro y 47 mm de diámetro (Creitz y Richards, 1955., Millán Núñez *et al.*, 1982). Cada filtro se colocó por separado en papel aluminio, y se almacenaron en un congelador para su posterior análisis de la concentración de pigmentos.

Análisis de pigmentos.

El análisis de clorofila *a*, *b* y *c* se realizó mediante un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 10, siguiendo la metodología descrita por Millán Núñez y Álvarez Borrego (1978). Además, la concentración de pigmentos del fitoplancton se analizó mediante un HPLC Varian Prostar. El análisis en el HPLC, se realizó extrayendo los pigmentos en acetona al 100%, con el pigmento Trans-B-apo-caroteno como estándar interno por un periodo de 24 horas. Se siguió la metodología de Barlow *et al.* (1997).

Con el propósito de conocer los principales grupos del fitoplancton en el área de estudio, se colectaron 250 mL de agua de mar en botellas oscuras plásticas, adicionando 2.5 mL de lugol con base de acetato de sodio (Descolas-Gros, 1978) como preservador hasta su análisis en microscopio invertido.

La cuantificación del fitoplancton presente en la muestra se realizó según la técnica Utermohl, (1958), utilizando un microscopio invertido Carl Zeiss. Erb. Instrumet Co.

Los volúmenes de sedimentación se determinaron con base a la metodología en Santamaría-del-Ángel (1989), la cual contempla la estimación de los taxa bien representados en un volumen pequeño, en este caso de 5 cc con aumentos de 200x, para taxa grandes, y para los taxa pequeños, se empleo el aumento de 400x, en transectos horizontales.

Análisis estadístico.

Se obtuvieron los promedios de la concentración de Chla y de los demás pigmentos, a los cuales se les aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras independientes al 5%, para probar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las 16 estaciones, para cada uno de los muestreos y entre muestreos.

RESULTADOS.

Análisis por espectrofotómetro.

La concentración de Chla y Feoa presentaron valores máximos en la campaña de abril de 2009, alcanzando concentraciones hasta de 28 mg/m³ para la Chla y de 15.4 mg/m³ para la Feoa. Ambos, presentaron una tendencia a decrecer en los siguientes meses de muestreo. Las concentraciones de agosto y diciembre de 2009 fueron similares mientras que para marzo de 2010 las concentraciones fueron aún menores que las anteriores (Fig. 4).

Al realizar el análisis de los datos, y la separación de cada uno de los resultados de los pigmentos, se estimó la concentración promedio de cada una de las campañas de muestreo, de lo cual se observó que la Chla presentó una clara tendencia a decrecer de abril 2009 a marzo de 2010, mientras que los valores de Feoa muestran un máximo en abril de 2009 y una tendencia general a disminuir en las siguientes campañas de agosto y diciembre de 2009 y marzo 2010 (Fig. 4).

Con el propósito de conocer si existen diferencias en las concentraciones de Chla y los pigmentos accesorios en las diferentes zonas del DRC, durante las estaciones muestreadas. El DRC se dividió en cuatro zonas tomando en cuenta la localización de las estaciones y la turbidez del agua, medida con la profundidad del disco de Secchi. La Zona Norte, incluye las estaciones 9, 10, 11 y 12, localizadas en el canal de la parte Norte, antes de la división de los dos canales. La zona Sur, incluye las estaciones 1, 2, 3, 4, 15, 16 y 17, localizadas en la parte menos turbia del delta, antes de los canales. La zona Este incluye las estaciones 5, 6 y 7, localizadas en el canal Este del delta, y la zona Oeste

incluye las estaciones 13 y 14 localizadas en el canal Oeste del delta. Se calcularon los promedios de cada una de ellas (Figuras 5, 6, 7 y 8).

En la zona Norte (Fig. 5) los valores en la concentración de Chla y Feoa presentaron una clara tendencia a decrecer de abril 2009 a marzo de 2010. La concentración de Chla presentó concentraciones hasta de 28 mg/m^3 en abril 2009, y disminuyendo hasta valores de 2 mg/m^3 para marzo 2010. Las concentraciones de Feoa mostraron la misma tendencia que la Chla, pero con concentraciones menores. Para abril de 2009 fue hasta de 15.3 y decreció hasta valores cercanos a cero o no detectables en los siguientes tres muestreos (Fig. 5).

Los valores promedios correspondientes a la zona Sur tienen un comportamiento distinto a los valores de la zona Norte, observamos que los valores más altos son de 16 y 13 mg/m^3 , dichos valores encontrados durante los meses de agosto de 2009 y marzo de 2010, respectivamente (Fig. 6). Cabe resaltar que aun con esto, el muestreo de abril registró el segundo valor promedio más alto de las cuatro campañas (Tabla II), siendo el valor más bajo en el mes de diciembre en el 2010.

En la zona Este se observa una tendencia similar a la de la zona Norte, presentando valores máximos hasta de 21 mg/m^3 , en el mes de abril, además muestra una tendencia a decrecer hasta llegar a valores cercanos a 2 mg/m^3 en el muestreo del mes de marzo de 2010 (Fig. 7). Se observa que el mes de marzo ha sido el mes con valores más bajos en las zonas Norte, Sur y Este, pero caso contrario en la zona Oeste, ya que en promedio es el mes con la mayor concentración de Chla con 13 mg/m^3 y un mínimo en el mes de abril, con concentración ligeramente mayor a 2 mg/m^3 (Fig. 8).

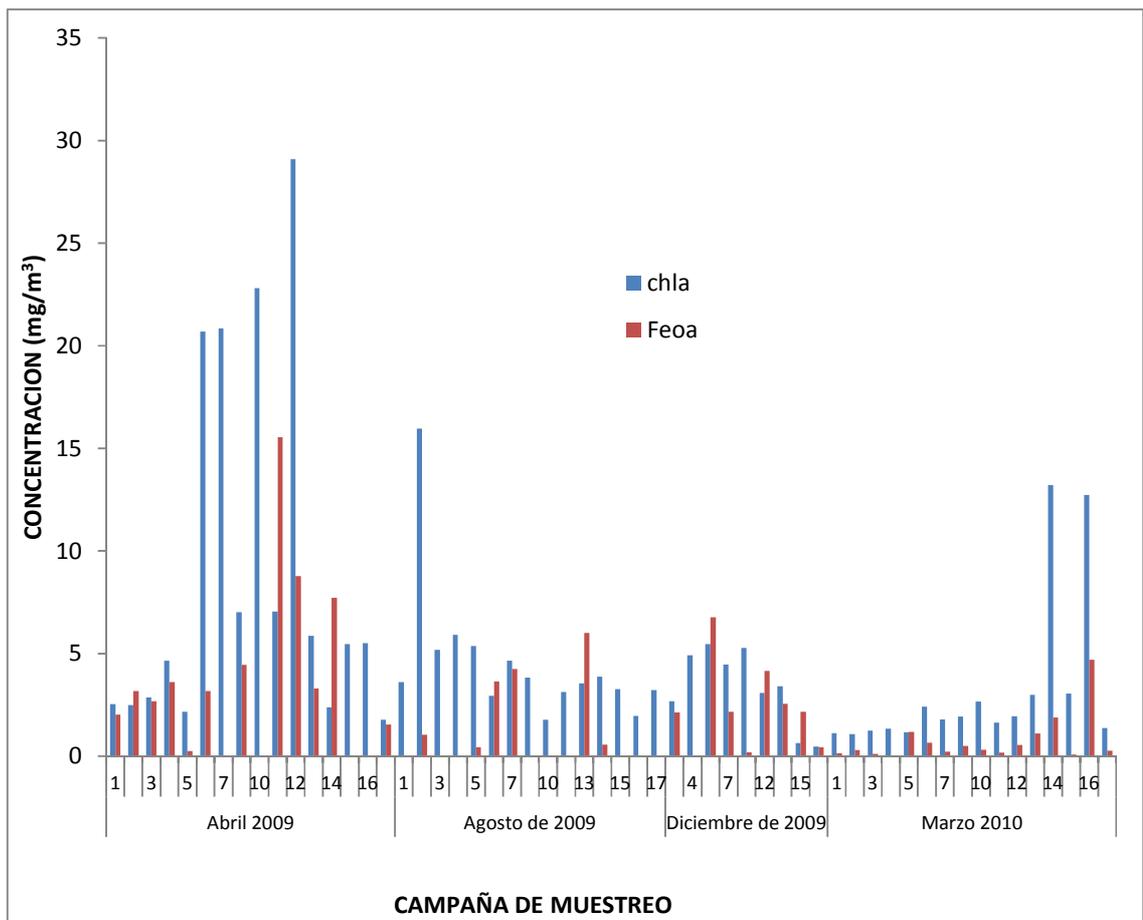


Figura 3. Concentraciones de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa) medidas por espectrofotómetro para cada una de las estaciones en los cuatro muestreos.

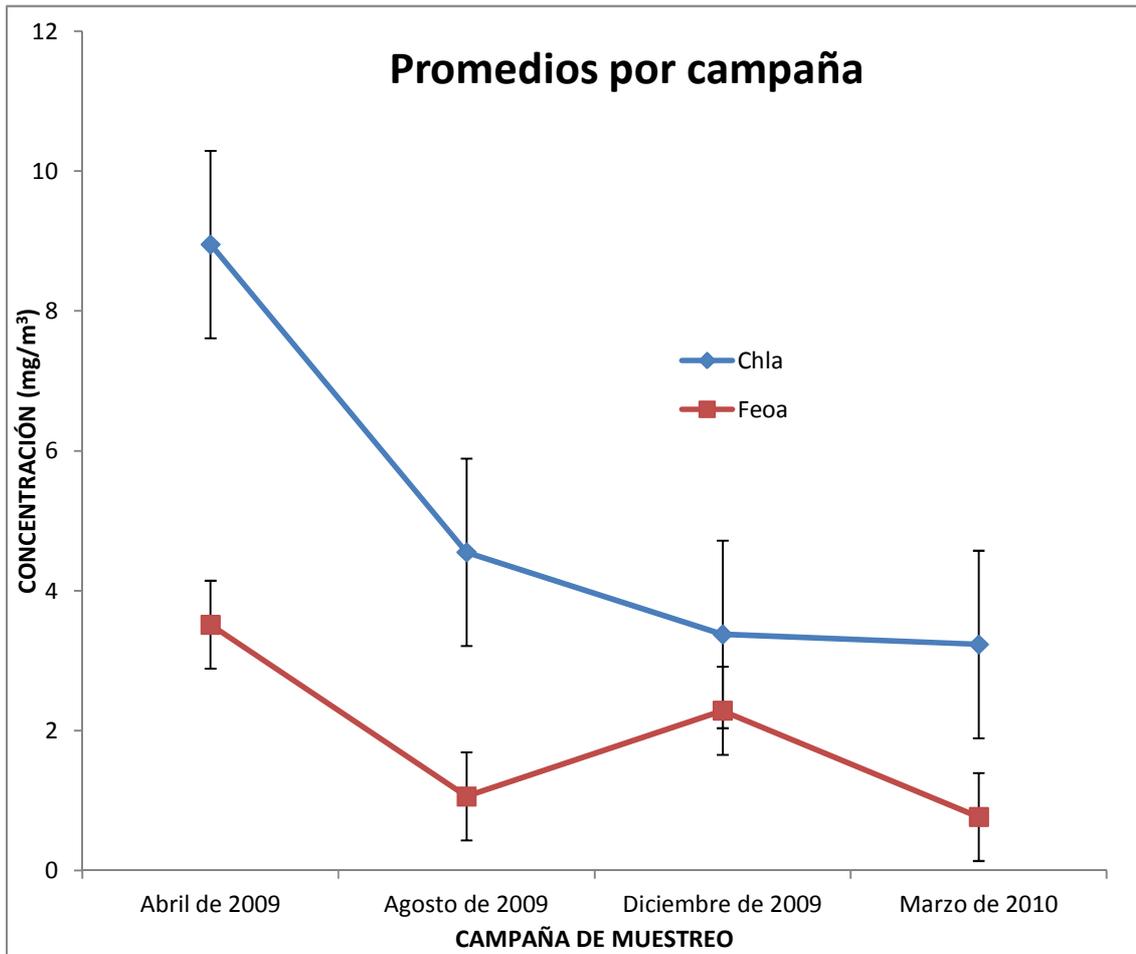


Figura 4. Promedios de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa), obtenida en cada campaña de muestreo por espectrofotómetro.

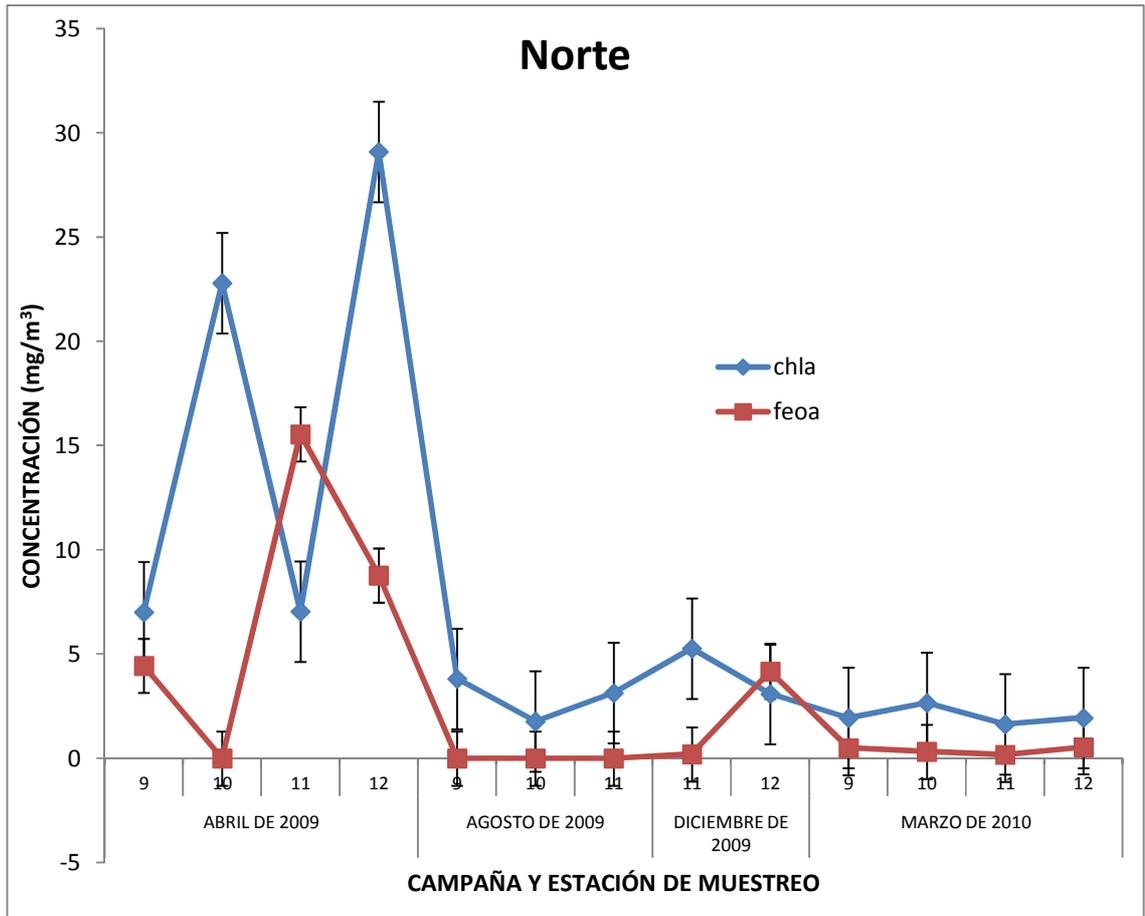


Figura 5. Concentración de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa), presentes en la zona norte, analizada por espectrofotómetro.

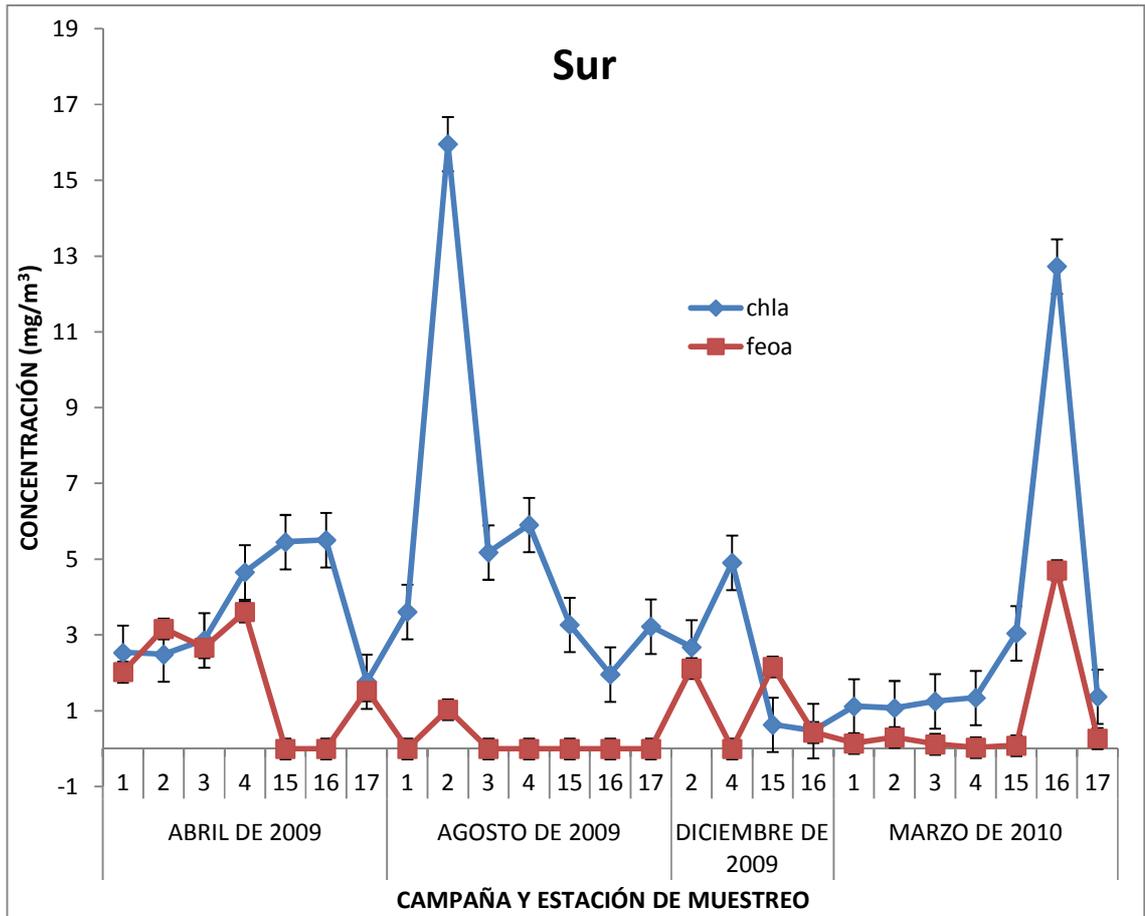


Figura 6. Concentración de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa), presentes en la zona sur, analizada por espectrofotómetro.

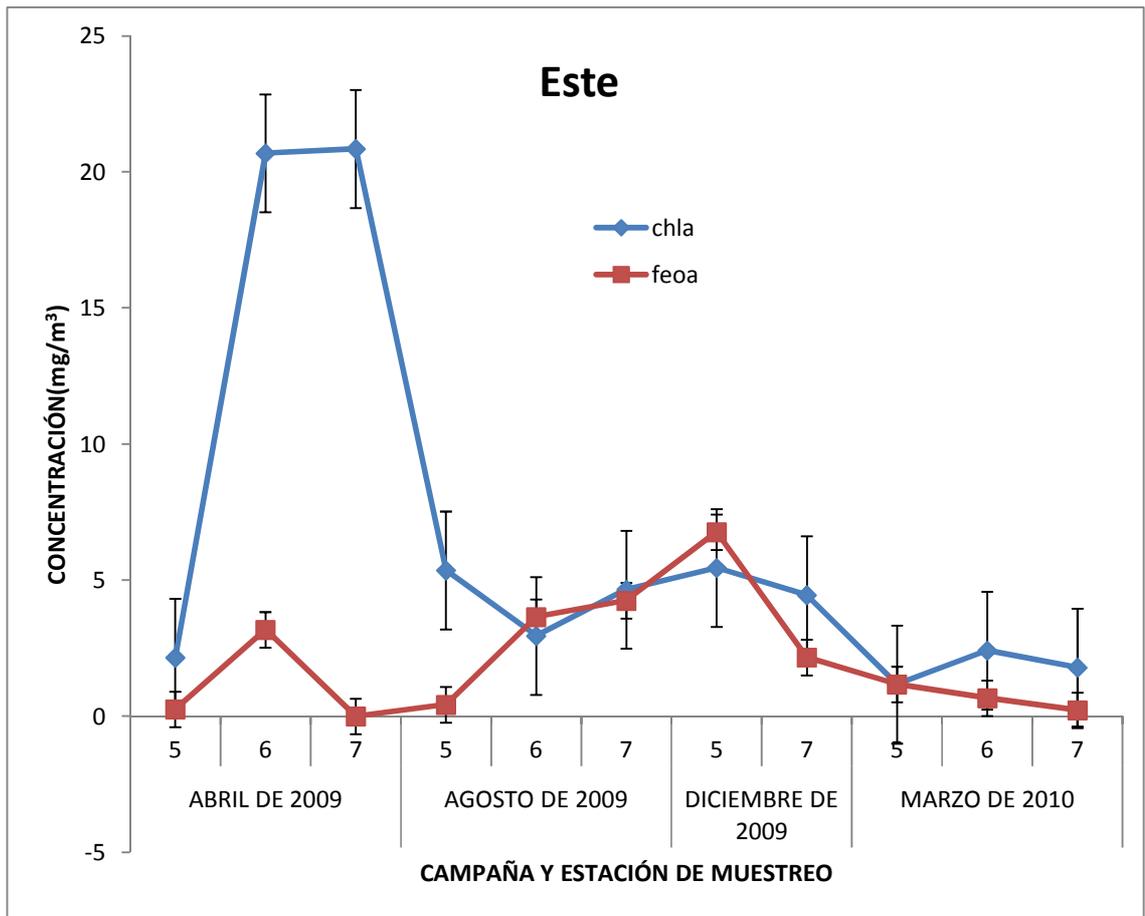


Figura 7. Concentración de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa), presentes en la zona central este, analizada por espectrofotómetro.

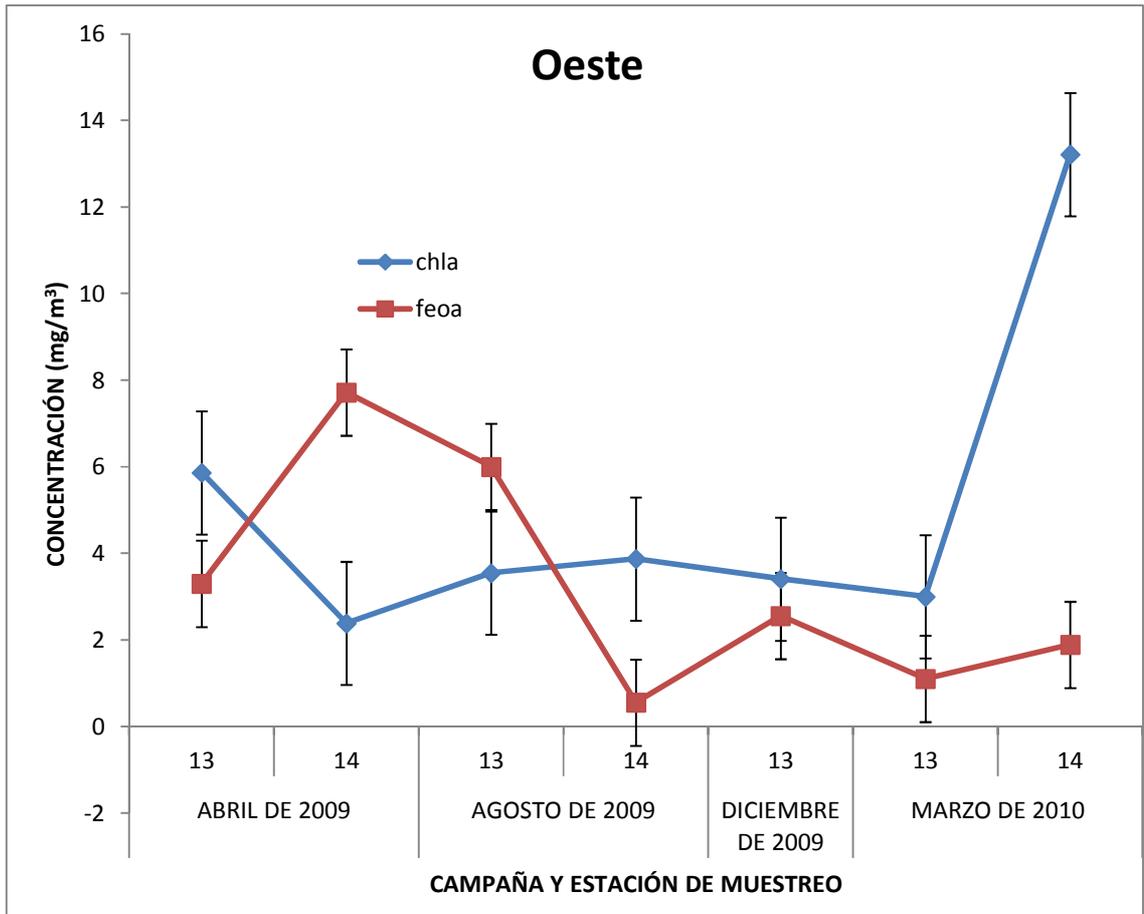


Figura 8. Concentración de Clorofila a (Chla) y Feofitina a (Feoa), presentes en la zona central oeste, analizada por espectrofotómetro.

		C A M P A Ñ A			
		ABRIL 2009	AGOSTO 2009	DICIEMBRE 2009	MARZO 2010
Z O N A	NORTE	16.49	2.91	4.18	2.05
	SUR	3.61	5.59	2.18	3.14
	ESTE	14.57	4.33	4.96	1.79
	OESTE	4.13	3.71	3.41	8.11

Tabla II. Valores promedio de la concentración de clorofila a (mg/m^3) en las 4 campañas, se marcan los valores máximos en cada zona. (Analizadas por espectrofotómetro).

HPLC.

Las muestras analizadas por HPLC, son las correspondientes a las campañas realizadas en agosto de 2009 y marzo de 2010. Mientras que las campañas de abril y diciembre de 2009 no se analizaron por este método, esto debido al exceso en la cantidad de sedimento y el poco volumen filtrado para cada muestra.

Esta es la primera vez que se realiza un análisis por este método en la zona del DRC, en el cual se determinaron los pigmentos en cada muestra. Pero debido al poco volumen filtrado, para el análisis solo se detectaron los pigmentos de mayor concentración siendo los siguientes: Clorofila a (**Chla**), Clorofila C2 (**Chl c2**), Peridina (**Peri**), Fucoxantina (**Fuco**), 19'Hexanoloxifucoxantina (**Hex**), Prasinoxantina (**Pras**), Violaxantina (**Viol**), Diadinoxantina (**Diad**), Alloxantina (**Allo**), Diatoxantina (**Diato**), Zeaxantina (**Zea**), Clorofila b (**Chl b**).

En la Figura 9, podemos observar las variaciones de todos los pigmentos detectados por HPLC en las dos campañas de muestreo antes mencionadas. En general se presenta una tendencia a decrecer para agosto 2009, mientras en marzo 2010 se observa una tendencia a incrementar en relación a las estaciones muestreadas. Los valores más altos se muestran en la zona Sur y en la zona Este, para el mes de agosto. Para el muestreo de marzo de 2010, observamos en la estación 16 (perteneciente a la zona Sur) concentraciones más altas de Chla, en las estaciones del sur que en el resto de la campaña, con Chla de 16 mg/m³.

Los cinco pigmentos de mayor concentración y de mayor frecuencia para cada una de las campañas se observan en la figura 10. Los promedios de cada pigmento en las dos campañas de muestreo muestra un comportamiento similar para Peri y Diad, sin embargo la concentración de Chla alcanzó valores hasta de 3.7 mg/m³ en agosto de 2009 y 2.7 mg/m³ en el muestreo de marzo

de 2010, mientras que la Fuco para agosto de 2009 fue 2.2 mg/m^3 y de 0.9 mg/m^3 para marzo de 2010, mientras la concentración de Peri fue ligeramente mayor en marzo de 2010 que en agosto de 2009.

En la figura 11, se muestran las concentraciones de los pigmentos de mayor concentración y de mayor frecuencia para las dos campañas analizadas por HPLC. La Chla fue la de mayor concentración en ambas campañas, con valores mayores en la parte Este de la zona Sur y en la zona Este. Fuco pigmento característico de las diatomeas, fue el segundo de mayor concentración en ambas campañas, mas sin embargo en la campaña de agosto fue generalmente mayor con valores hasta de 4 mg/m^3 , que en marzo, a excepción en la estación 16 de la zona oeste que alcanzo valores hasta de 16 mg/m^3 . Diad presentó concentraciones bajas menores a 0.5 mg/m^3 en la mayoría de las estaciones de ambas campañas, a excepción de las estaciones 12 y 17 para la campaña de agosto 2009 que alcanzó valores de 3.0 mg/m^3 y en la estación 17 con concentración de 6 mg/m^3 para la campaña de marzo 2010. La Peri se presentó con concentraciones menores a 0.6 mg/m^3 en las diferentes estaciones para agosto y de 1.0 mg/m^3 para la campaña de marzo.

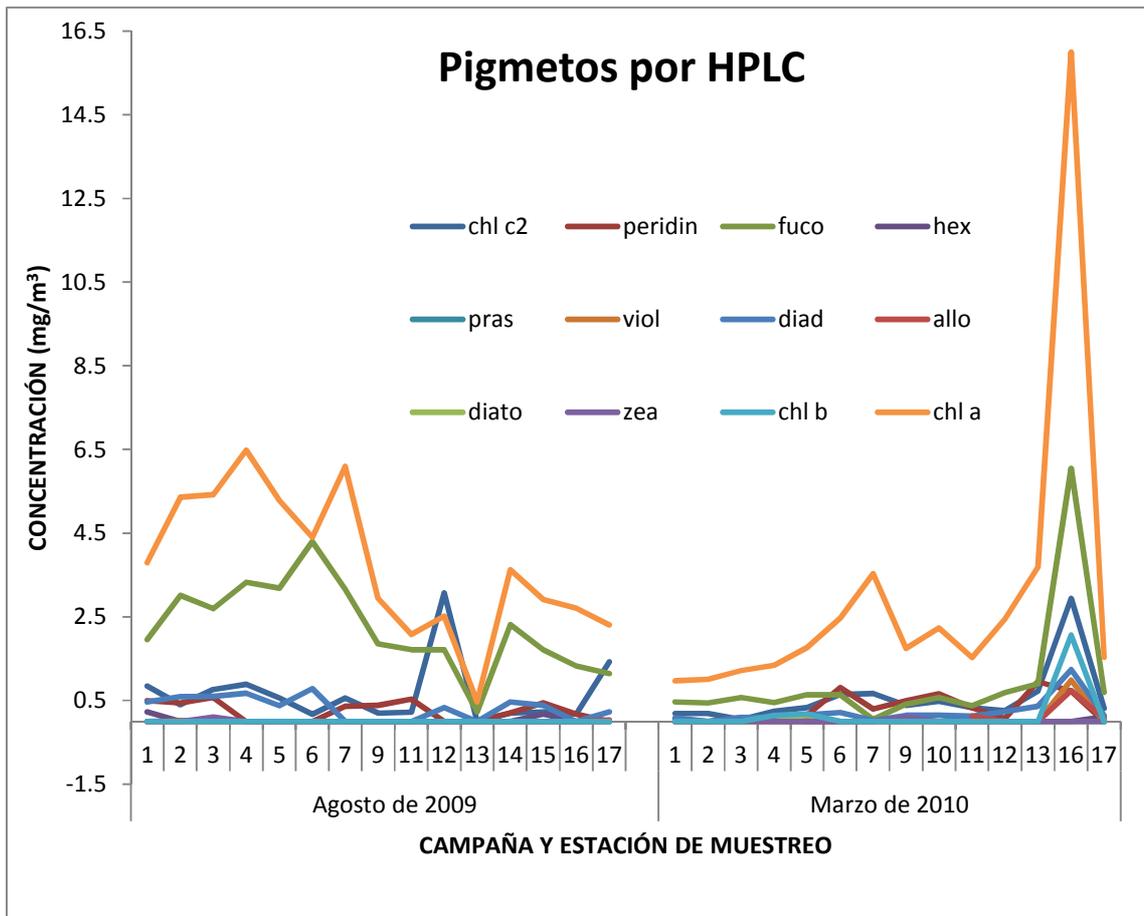


Figura 9. Concentraciones de Clorofila-a (chl a), Clorofila C2 (chl c2), Peridinina (peridin), Fucoxantina (fuco), Hexanoloxifucoxantina (hex), Prasinoloxantina (pras), Violaxantina (viol), Diadinoxantina (diad), Alloxantina (allo), Diatoloxantina (diato), Zeaxantina (zea), Clorofila b (chl b), analizadas por HPLC, para dos campañas de muestreo.

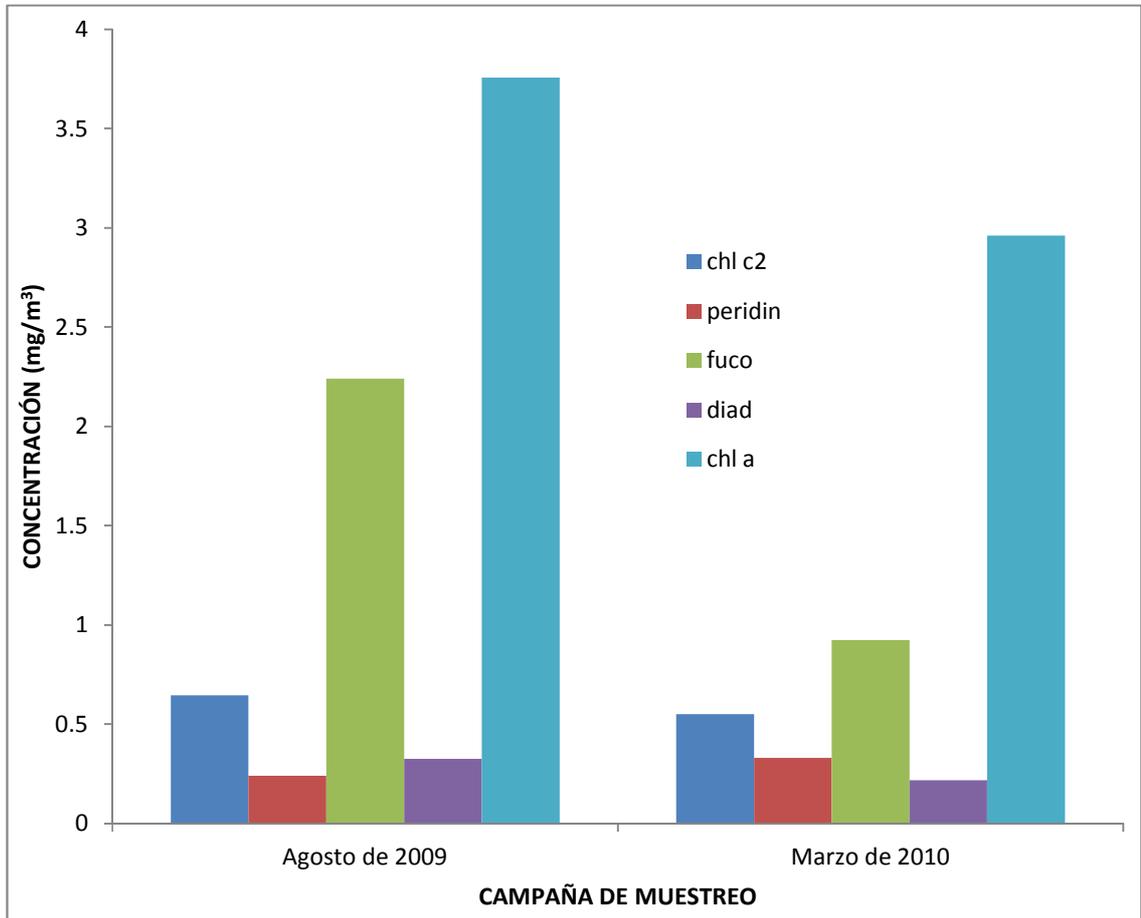


Figura 10. Valores promedio de los pigmentos Clorofila C2 (chl c2), Peridinin (peridin), Fucoxantina (fuco), Diadinoxantina (diad) y Clorofila-a (chl a), datos obtenidos durante las campañas de agosto de 2009, y marzo de 2010, medidos con HPLC.

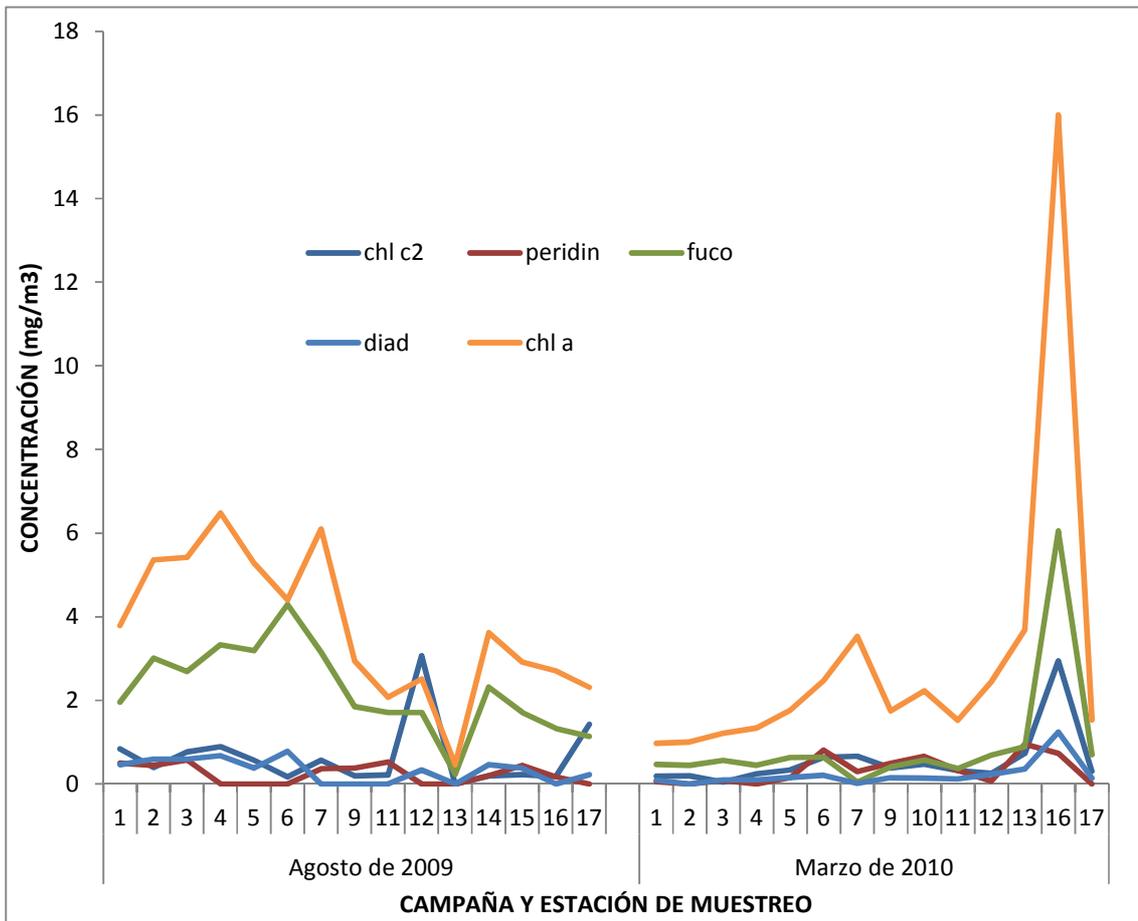
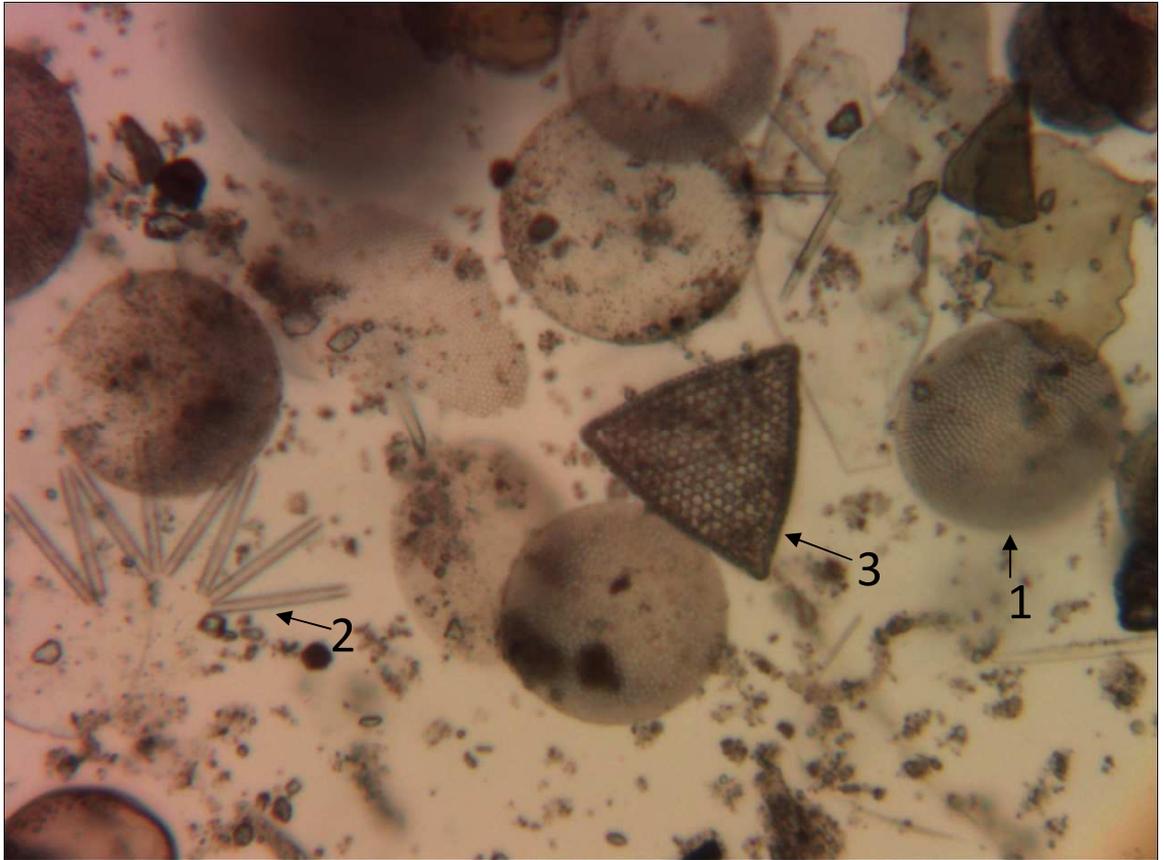


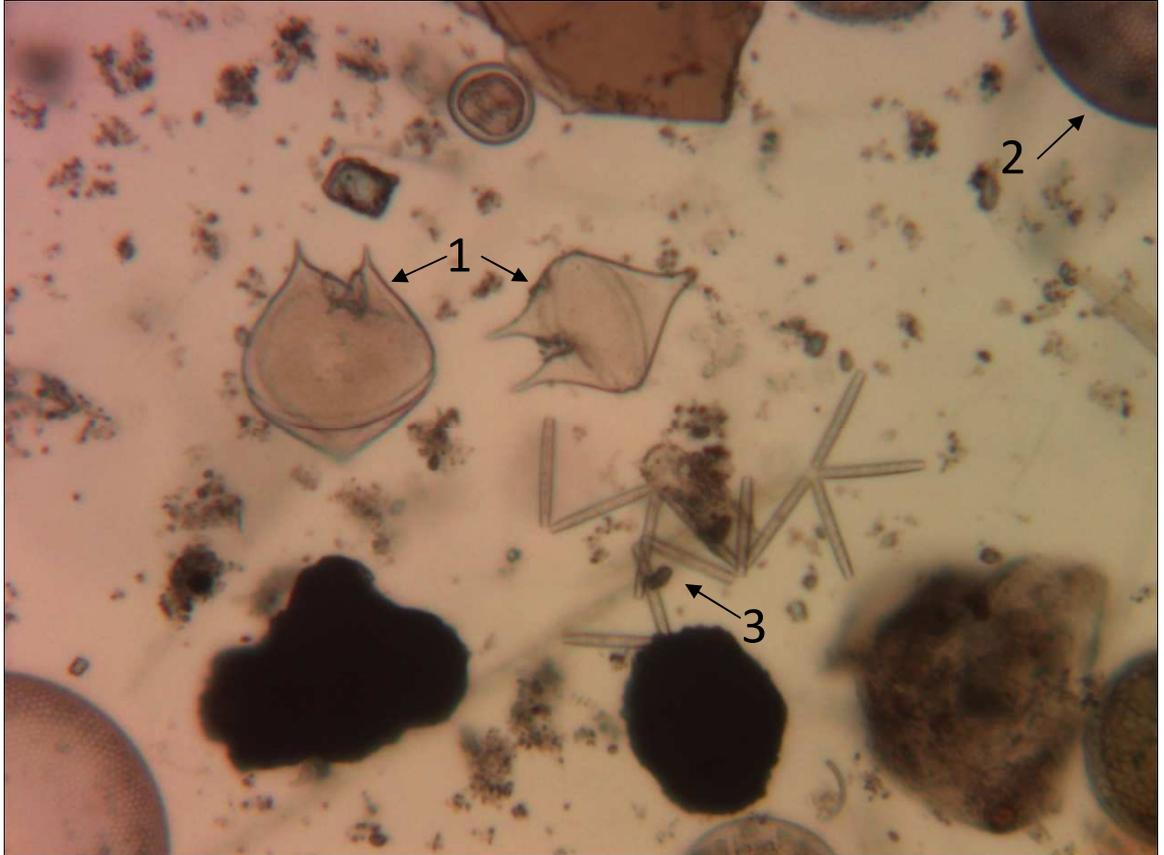
Figura 11. Valores de la concentración de Clorofila-a (chl a) y algunos pigmentos accesorios, Clorofila C2 (chl c2), Peridinin (peridin), Diadinoxantina (diad) y Fucoxantina (fuco), medidos con HPLC.

Observaciones en el microscopio.

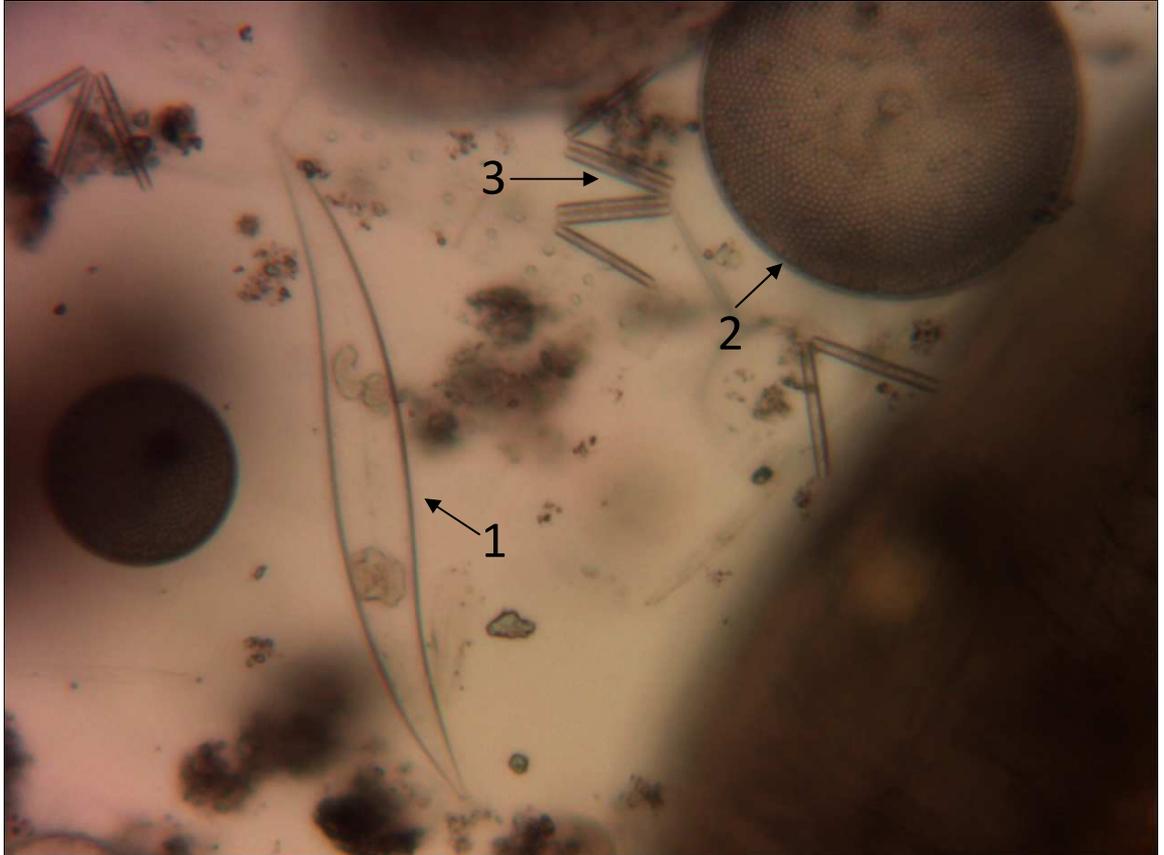
Con el propósito de conocer los principales grupos del fitoplancton que contienen las muestras correspondientes a los pigmentos analizados, se realizaron observaciones al microscopio de muestras de red de las 4 zonas del área de estudio, cubriendo con ello la mayoría de las estaciones muestreadas. En la zona Norte (estaciones 10 y 12) los principales grupos observados en el microscopio fueron diatomeas, presentándose géneros como *Coscinudiscus* sp., *Thalassionema* sp. Y *Triceratium* sp. (Fotografía 1). Para la zona Sur, se observaron diatomeas de los generos *Coscinudiscus* sp., *Pleurosigma* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassionema* sp., y dinoflagelados del genero *Protoperidinium* sp. (Fotografías 2, 3 y 4). Para la zona Este y Oeste se observaron géneros de diatomeas como *Coscinudiscus* sp., *Ceratium* sp., *Thalassionema* sp., *Triceratium* sp. y *Ditylum* sp., y por parte de los dinoflagelados, *Ceratium* sp. (Fotografías 5, 6, 7 y 8).



Fotografía 1. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 10. ¹*Coscinudiscus* sp., ²*Thalassionema* sp., ³*Triceratium* sp.



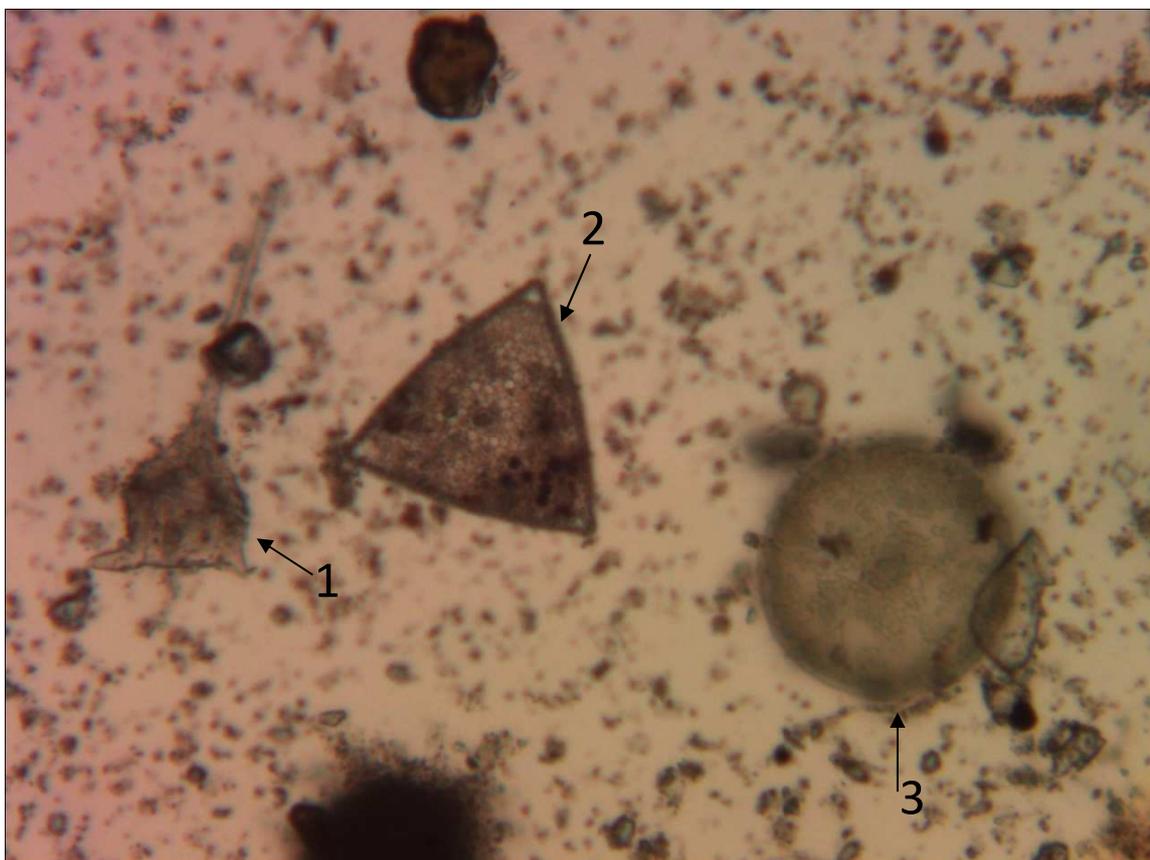
Fotografía 2. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 2. ¹*Protoperidinium* sp., ²*Coscinudiscus* sp., ³*Thalassiothrix* sp.



Fotografía 3. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 15. ¹*Pleurosigma* sp., ²*Coscinudiscus* sp., ³*Thalasiotrix* sp.



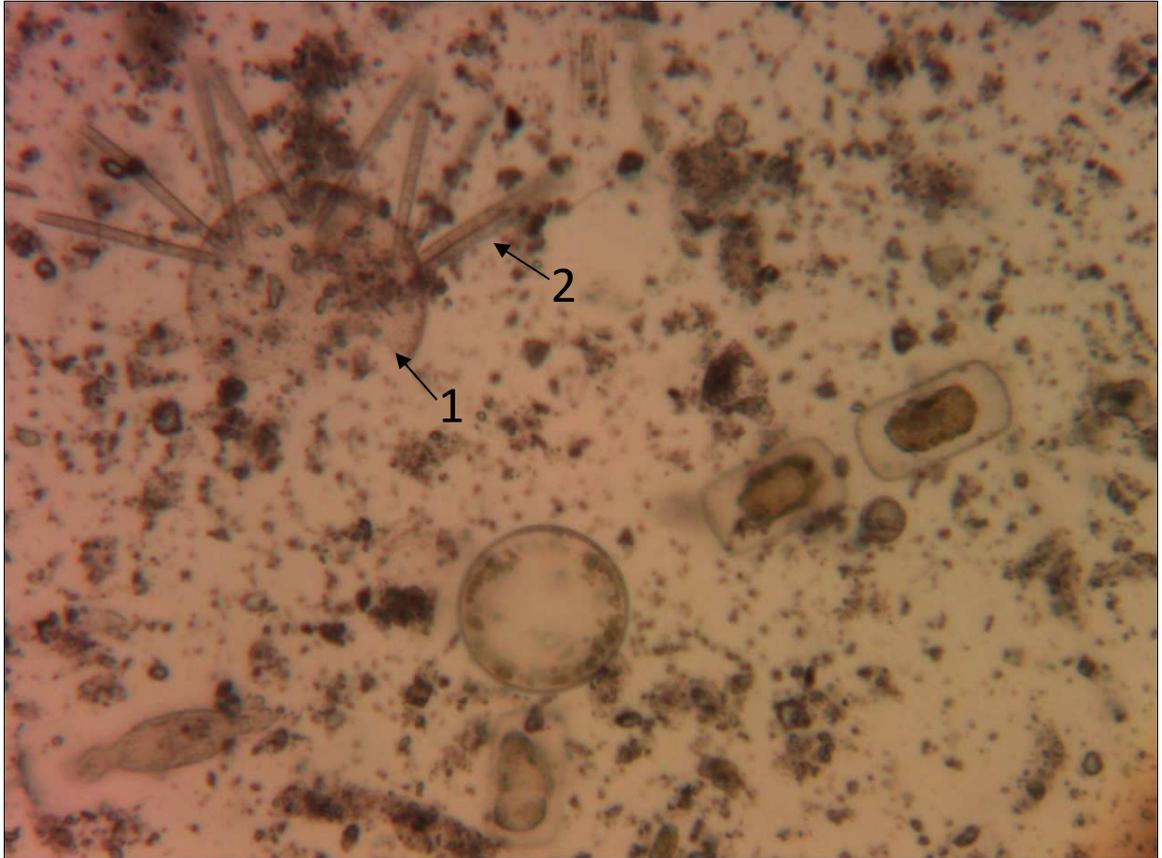
Fotografía 4. Organismo perteneciente al muestreo realizado durante marzo en la estación 15. ¹*Chaetoceros* sp. y ²*Thalassiosira* sp.



Fotografía 5. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 13. ¹*Ceratium* sp., ²*Triceratium* sp., ³*Coscinudiscus* sp.



Fotografía 6. Organismo perteneciente al muestreo realizado durante abril en la estación 7. ¹*Triceratium* sp.



Fotografía 7. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante abril en la estación 7. ¹*Coscinudiscus* sp., ²*Thalassionema* sp.



Fotografía 8. Organismos pertenecientes al muestreo realizado durante marzo en la estación 14. ¹*Ceratium* sp., ²*Ditylum* sp. y ³*Odontella* sp.

DISCUSIÓN.

La Chla, es un pigmento que se encuentra en todos los organismos del fitoplancton, excepto en proclorofitas, por su parte la Fuco característico de las diatomeas, la Peri es pigmento específico de los dinoflagelados (Jeffrey *et al* 1997).

Millán-Núñez *et al.* (1999) realizaron mediciones de Chla en la zona del DRC, en dos zonas similares a las muestreadas en este trabajo. Los valores de Chla reportados por estos autores fueron mayores a las encontradas para este trabajo en el mes de agosto, con valores promedio de 7.6 mg/m³ en las estaciones de Sonora y 6.3 mg/m³ para la zona frente a Baja California (Oeste) mientras en este trabajo se encontraron valores promedio en la zona Oeste de 3.7 mg/m³.

Las variaciones de la Chla para cada uno de los muestreos se deben principalmente a las diferencias entre las características químicas y físicas del sitio de estudio en las diferentes campañas. Por ejemplo, la temperatura fue mayor en la campaña de agosto con valores entre 28 y 32 °C, para la campaña de abril fue entre 21 y 23 °C, para la de diciembre fue entre 17 a 19°C y para marzo entre 15 a 20 °C (Santa Rios, 2012). Aunque pudiera ser la disminución por el pastoreo del zooplancton. (No se cuentan con datos de zooplancton).

La Chla fue mayor en el muestreo de abril 2009 en comparación de los otros 3 muestreos. Una posible causa de este incremento se debió a que la temperatura estaba cercana al óptimo para el crecimiento del fitoplancton a diferencia de las otras tres campañas, además, para esta campaña se registraron tormentas de arena antes y durante el muestreo. Esto hace que una gran cantidad de arena y sedimento terrestre llegue a la zona del delta llevando nutrientes de los campos agrícolas circunvecinos y además de la resuspensión del sedimento por el efecto del viento, lo que también provoca un incremento

en la concentración de los nutrientes (Segovia 2012) y por consiguiente mayor biomasa fitoplanctónica. Por ejemplo, Barocio-León (1991), en un estudio en la misma zona, indicó que el promedio de Chla en el mes de febrero de 1991 fue de 2.11 mg/m³, valor que resulta menor al encontrado en abril de 2009 del presente trabajo.

Otra posible causa de las variaciones en las concentraciones de Chla, se puede deber a la estacionalidad ya que los muestreos corresponden a primavera (abril y marzo), otoño (agosto) e invierno (diciembre). Estas épocas del año tienen diferentes condiciones físicas, químicas y climáticas, que provoca diferentes ambientes óptimos o mejores para el desarrollo del fitoplancton, siendo el mes abril de 2009 el que presentó las mejores condiciones que los otros tres.

Los valores de nitratos reportados por Santa-Ríos (2012) para los diferentes muestreos fueron de 1 µM y muy similares para las estaciones 1 a 5 y 13 a 17, mientras que para las otras estaciones fueron mayores, entre 6 µM para abril de 2009 y 20 µM para agosto de 2010.

El pigmento accesorio más abundante fue Fuco, característico de las diatomeas (Jeffrey *et al.* 1997), el cual coincide con los análisis por microscopio, donde los géneros más abundantes de diatomeas fueron *Coscinodiscus* sp., *Triceratium* sp., *Pleurosigma* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassionema* sp. Y *Ditylum* sp.

Peridin, específico de los dinoflagelados (Jeffrey *et al.* 1997) no se presentó en altas concentraciones aunque se observaron algunos dinoflagelados al microscopio, pertenecientes al género *Ceratium* y *Protoperidinium*.

Millán Núñez *et al.* (1999) reportaron la presencia de diatomeas y dinoflagelados, coincidiendo con nuestros resultados. Los géneros más

abundantes en su trabajo, de las diatomeas penadas fueron *Thalassiosira* y *Nitzschia* y de las diatomeas céntricas *Coscinodiscus* y *Thalassionema*. Ellos reportaron como géneros más importantes de los dinoflagelados a *Gymnodinium* y *Prorocentrum*, mientras que para nuestros muestreos *Ceratium* y *Protoperidinium* fueron los más abundantes. Algunos grupos son muy pequeños menores a 5 μm , y estos organismos son muy difíciles de observar en el microscopio, por ejemplo, organismos que contienen Allo son las criptofitas, así como Zea son cianobacterias, lo cual no fue posible observarlos por microscopio pero su pigmento fue detectado en los análisis y reportadas en la figura (9).

CONCLUSIONES.

La tendencia de la Chla a decrecer, de abril de 2009 a marzo de 2010 se debe principalmente a los cambios estacionales tales como temperatura, salinidad y nutrientes de la zona.

Los grupos fitoplanctónicos más abundantes durante los muestreos de abril de 2009 a marzo de 2010, fueron las diatomeas, siendo las más abundantes *Coscinodiscus* sp., *Chaetoceros* sp. , *Triceratium* sp. Y por parte de los dinoflagelados *Ceratium* sp. y *Protoperdinium* sp.

El análisis de pigmentos por HPLC nos da información de ciertos grupos del fitoplancton que son difíciles de observar en microscopio debido al tamaño muy pequeño, pero que cuentan con un pigmento específico que caracteriza al grupo del fitoplancton, tales como Alloxantina para las criptofitas.

RECOMENDACIONES.

Para poder tener una idea más clara y amplia acerca de la dinámica de los pigmentos en la zona del delta del Rio Colorado, es necesario dar seguimiento a los análisis de pigmentos mediante HPLC en las diferentes épocas de año y diferentes años, así como buscar la manera de filtrar más agua para incrementar la señal en el análisis. Llevar a cabo estudio del zooplancton, para estimar el impacto sobre el fitoplancton.

REFERENCIAS.

- Bougis, Paul. 1976. Marine plankton ecology. American Elsevier publishing Co. New York. pp. 27-34.
- Barlow, R.G., D. G. Cummings, S. W. Gibb. 1997. Improved resolution of mono- and divinyl chlorophylls a and b and zeaxanthin and lutein in phytoplankton extracts using reverse phase C-8 HPLC. Mar. Ecol. Prog. Ser. vol. 161: 303-307.
- Barocio-León Oscar Alcides. Diciembre de 1991. Productividad orgánica primaria en la región del delta del Rio Colorado. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.
- Bourillón-Moreno, L. Cantú-Díaz Barriga, A., Ambrosi-Eccardi, F., Lira-Fernández, E., Ramírez-Ruiz, J., Velarde-González, E. y Zavala-González, A. 1988. Islas del Golfo de California. Coedición Secretaría de Gobernación/U.N.A.M. México. pp. 59-75.
- Chisholm, S. W. 1992. Phytoplankton size In: Falkowski, P. G. Woodhead, A. D. (Eds) Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum Press. New York pp. 213-237.
- Carranza-Edwards, A; Gutiérrez-Estrada, M. & Rodríguez, T.R.1975. Unidades morfoestructurales continentales de las costas mexicanas. An Centr. Cienc. Del mar y Limnol. U.N.A.M. 2 (1):81-88.
- Contreras, Francisco. 1978. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México. pp. 263.

- Creitz, G.I. & F.A. Richards. 1955. The estimation and characterization of plankton population by pigments analysis III. A note on the use of "Millipore" membrane filter in the estimation of plankton pigments. *Journal Marine Res.* 14:211-215.
- Cullen, J.J. Franks, P.J.S. Karl D.M. Lonhurst, A. 2002. Physical influences of marine ECOSYSTEM DYNAMICS. In Robinson, A.R. McCarthy, J.J. Rothschild, B.J. (Eds) *The sea*, vol 12, Wiley, New York pp. 297-335.
- De la Peña N. Gabriela. Influencia de la turbidez sobre la producción orgánica primaria en la región del delta del Rio Colorado. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. pp. 1- 5.
- Descolas-Gros, G. 1978. Role de certaines espèces de diatomées dans la structure des communautés phytoplanctoniques. Thèse de doctorat de 3^e cycle. Université de Paris VI. pp. 85.
- Edwards, R. R. C. 1978. Ecology of Coastal Lagoon complex in México. *Estuarine Coastal marine*. Sci. Academic press. New York. 6(1):75-92.
- Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W., 1997. *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines and Modern Methods*. UNESCO Publishing, Paris, 661 pp.
- Jenkin, P.M. 1983. Oxygen production by diatom *Coscinodiscus excentricus* Ehr. In relation to the submarine illumination in the English Channel. *J. Marine Biol. Ass. U. K.* 22:301-343.
- Joint, I. R. & J. Pomroy. 1981. En Joint I.R. 1983. Development of an ecosystem model of a turbid estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(suppl. 1): 341-348.

- Joint I.R. 1983. Development of an ecosystem model of a turbid estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(suppl. 1): 341-348.
- Joint I.R. 1984. The microbial ecology of the Bristol Chanel. *Mar. Pollut. Bull.* 15(2):62-66.
- Kirk, J.. 1983. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press. pp. 401.
- Lepley, L.K; S.P. Vonder Haar, J.R. Hendrickson & R.G. Calderon. 1975. Circulation in the northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Ciencias Marinas*, 2 (2) :86-93.
- Margale, R. 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta* 1: 493-510.
- Meckel, L.D. 1975. Holocene sand bodies in the Colorado Delta Area. Northern Gulf of California. In *Deltas models for exploration*. Houston Geological Society. pp. 239-266.
- Millán Núñez R. y S. Álvarez Borrego. 1978. Ecuaciones Espectrofotométricas para la determinación de clorofilas a,b,c y sus feofitinas. *Ciencias Marinas*, 5(1):47-55.
- Millán Núñez R. E. Santamaría del Ángel, R. Cajal Medrano, y O. Barocio León. 1999. El Delta del Río Colorado: Un ecosistema vivo o muerto. *Ciencias Marinas* 25(4):509-524.
- Neale, P. J., A. Melis. 1985. Algae adaptation to changes in light intensity and quality: Variation in the size and stoichiometry of photosystem complex. *J. Phycol.* 21. No suppl.
- Santa-Rios Andrea. 2012. Dinamica de nutrientes en el delta del rio colorado. Ensenada, Baja California, México.

- Santamaría-del-Ángel, E. 1989. El fitoplancton en lagunas Costeras. Memorias de la mesa redonda, "análisis de la metodología para la planctología. La Paz, B.C.S.
- Perry, M.J., M.C. Talbot, R.S. Alberte. 1981. Photoadaptation in marine phytoplankton: response of the photosynthetic unit. *Marine Biology*. 62(2-3):91-101.
- Zamora-Casas, C. 1993. Comportamiento del seston en la desembocadura del río Colorado, Sonora-Baja California. Tesis de licenciatura. FCM-UABC. pp73.

ANEXOS.

AGOSTO DE 2009				
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Chla	1.99	3.68	2.59	3.69
Fuco	0.51	1.45	0.44	0.89
Per	0.39	0.14	0.42	0.95
Diad	0.16	0.28	0.13	0.36
Chla C2	0.36	0.65	0.55	0.73

Tabla III. Valores promedio de la concentración de clorofila a (Chla), así como 4 pigmentos accesorios, Fucoxantina (Fuco), Peridina (Per), Diadinoxantina (Diad) y Clorofila C2 (Chla C2), medidos con HPLC, correspondientes a la campaña de Agosto de 2009.

MARZO DE 2010				
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Chla	2.51	4.14	5.26	2.04
Fuco	1.76	2.17	3.54	1.27
Per	0.30	0.30	0.12	0.10
Diad	0.11	0.42	0.39	0.23
Chla C2	1.16	0.67	0.43	0.10

Tabla IV. Valores promedio de la concentración de clorofila a (Chla), así como 4 pigmentos accesorios, Fucoxantina (Fuco), Peridina (Per), Diadinoxantina (Diad) y Clorofila C2 (Chla C2), medidos con HPLC, correspondientes a la campaña de Marzo de 2010.