

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

PRODUCCIÓN PRIMARIA EN LA BAHÍA EL COLORADO, SONORA

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CON OPCIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

CARLOS MANUEL ROBLES TAMAYO

1942

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



## FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la tesis de Carlos Manuel Robles Tamayo, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptado para obtener el grado de Licenciado en Biología con Opción en Ecología Marina.

---

Dr. José Eduardo Valdez Holguín

Director de Tesis

---

M.C. Luz Maria Yépiz Velázquez

Sinodal Secretario

---

Dr. Luis Fernando Enriquez Ocaña

Sinodal

---

Biól. Norberto Miguel Ángel Pastén Miranda

Suplente

*"Muchas personas atacan al mar, yo le hago el amor".*

*Jacques-Yves Cousteau.*

*Carlos Manuel Robles Tamayo*

*Noviembre de 2015*

## DEDICATORIA

*A mi familia.*

*A mis maestros.*

*A mis amigos.*

*A mis compañeros de la Licenciatura en Biología.*

*Carlos Manuel Robles Tamayo*

*Noviembre de 2015*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora al igual que al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS) por aceptarme como alumno de la licenciatura en biología y brindarme el apoyo otorgado durante mi formación académica y la realización del trabajo de tesis.

A mi familia, que es lo más importante que tengo, por darme apoyo incondicional, comprensión y cariño, principalmente mis padres, Carlos Alberto y Emma Patricia por guiar mi camino de formación personal enseñándome buenos valores y principios, siempre he sentido una gran admiración hacia ustedes, son un orgullo para mí. A mi hermano Santiago Francisco que le agradezco que siempre hemos sido unidos y me ha apoyado en los buenos y malos momentos. A mi abuela Emma por su cariño único y enseñanza, es usted una maravillosa persona.

A mi Director de Tesis y profesor, Dr. José Eduardo Valdez Holguín. Muchas gracias por guiarme en este camino, por mostrarme el maravilloso mundo de la Ecología Marina y la Oceanografía, por brindarme tiempo y paciencia en la preparación y revisión de este trabajo con entusiasmo. Gracias por ser una gran persona, por brindarme excelentes clases y por el apoyo brindado a lo largo de la licenciatura. Ha sido un gran honor conocerlo y trabajar con usted. Siento una gran admiración hacia su persona.

Muchas gracias a mi sinodales, M.C. Luz María Yépiz Velázquez, Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña y Biól. Norberto Miguel Ángel Pastén Miranda por haberle dedicado tiempo en la revisión de este trabajo al igual que por sus observaciones y correcciones para mejorarlo.

Al técnico académico general, Ocean. Adolfo Bustamante Monge por su ayuda durante los muestreos y con el manejo de equipo correspondiente al trabajo de campo.

A todos los profesores que me llegaron a formar académicamente a lo largo de la licenciatura, en particular quiero agradecer a los profesores María Cristina Peñalba Garmendia, Francisco Elizandro Molina Frenner, Alf Enrique Meling López y de nuevo a Norberto Miguel Ángel Pastén Miranda por sus enseñanzas y calidad humana.

A todos mis amigos y compañeros que llegue a conocer en la carrera y que forman una parte importante en mi vida, en especial a Pedro Daniel Alcázar Ortega por su apoyo incondicional, sus consejos tanto personales como académicos y buena compañía brindada. Muchas gracias; y a Adriana Isabel Encinas Miranda por pasar grandiosos ratos con buenas platicas y risas, darme apoyo incondicional y por brindarme alegría cuando más lo necesitaba, se ve que eres una gran persona en la que puedo confiar. Estaré siempre agradecido.

*Carlos Manuel Robles Tamayo*

*Noviembre de 2015*



## CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>RESUMEN</b>	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. ANTECEDENTES</b>	3
II.1. Características Oceanográficas del Golfo de California	3
II.2. Importancia de las Zonas Costeras	4
II.3. Estudios de Variabilidad Hidrobiológica en Zonas Costeras del Golfo de California y el Estado de Sonora	5
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b>	7
<b>IV. HIPÓTESIS CIENTÍFICA</b>	8
<b>V. OBJETIVOS</b>	9
V.1. Objetivo General	9
V.2. Objetivos Específicos	9
<b>VI. METODOLOGÍA</b>	10
VII.1. Área de estudio	10
VII.2. Muestreos	11
VII.3. Procesamiento de muestras	12
VII.4. Análisis de datos	13

<b>VII. RESULTADOS</b>	14
VII.1. Variables	14
VII.1.1. Temperatura	14
VII.1.2. Salinidad	15
VII.1.3. Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> )	17
VII.1.4. Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> ) integrada	18
VII.1.5. Turbidez	20
VII.1.6. Oxígeno disuelto	21
VII.1.7. Materia Total en Suspensión (MTS)	24
VII.1.8. Materia Orgánica Particulada (MOP)	26
VII.1.9. Materia Inorgánica Particulada (MIP)	29
VII.2. Diagrama de relación Turbidez-Chl <i>a</i>	31
VII.3. Estado trófico	33
<b>VIII. DISCUSIÓN</b>	34
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	38
<b>X. LITERATURA CITADA</b>	39

## LISTA DE TABLAS

Tabla I	Lista de coordenadas de cada una de las estaciones de muestreo de la Bahía El Colorado.	11
Tabla II	Niveles tróficos en base al contenido de clorofila $a$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en base a la escala de Morel y Berthon (1989).	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localización de la Bahía El Colorado. Municipio de Hermosillo, Sonora.	10
Figura 2	Localización de las diferentes estaciones de muestreo en la Bahía El Colorado.	11
Figura 3	Valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	14
Figura 4	Distribución promedio de los intervalos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de cada muestreo.	15
Figura 5	Valores de salinidad de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	16
Figura 6	Distribución promedio de los intervalos de salinidad de cada muestreo.	16
Figura 7	Valores de clorofila $a$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	17
Figura 8	Distribución promedio de los intervalos de clorofila $a$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de cada muestreo.	18
Figura 9	Valores de clorofila $a$ integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) de ambos muestreos en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	19
Figura 10	Distribución promedio de los intervalos de clorofila $a$ integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) de cada muestreo.	19
Figura 11	Valores de turbidez ( $\text{m}^{-1}$ ) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	20
Figura 12	Distribución promedio de los intervalos de turbidez ( $\text{m}^{-1}$ ) de cada muestreo.	21
Figura 13	Valores de oxígeno disuelto ( $\text{ml}/\text{L}$ ) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	22
Figura 14	Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto ( $\text{ml}/\text{L}$ ) de superficie y fondo del primer muestreo (junio)	22

Figura 15	Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto (ml/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).	23
Figura 16	Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto (ml/L) de cada muestreo.	23
Figura 17	Valores de Materia Total en Suspensión (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	24
Figura 18	Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).	25
Figura 19	Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).	25
Figura 20	Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de cada muestreo.	26
Figura 21	Valores de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	27
Figura 22	Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).	27
Figura 23	Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).	28
Figura 24	Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo.	28
Figura 25	Valores de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles.	29
Figura 26	Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).	30
Figura 27	Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).	30
Figura 28	Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo.	31
Figura 29	Regresión lineal del diagrama Turbidez -Chl <i>a</i> del primer muestreo en la Bahía El Colorado.	32
Figura 30	Regresión lineal del diagrama Turbidez -Chl <i>a</i> del segundo muestreo en la Bahía El Colorado.	32

## RESUMEN

El estudio de la producción primaria es importante para comprender el flujo trófico en los ecosistemas marinos y determinar el papel que tienen en los ciclos biogeoquímicos y el cambio climático. El Golfo de California es un mar marginal con altos niveles de producción primaria debido a procesos de mezcla causados por vientos y mareas, principalmente en las zonas costeras, sin embargo, los estudios de estas zonas en la costa de Sonora son escasos. El objetivo de este trabajo es describir la variabilidad oceanográfica, producción primaria y materia total en suspensión en la Bahía El Colorado. Se realizaron dos muestreos oceanográficos, uno en la época de primavera (junio) y otro en verano (septiembre) del año 2013 en un total de nueve estaciones. Para cada estación se realizó un lance de CTD con un sensor de fluorescencia y turbidez y se tomaron muestras de agua a 0 a 5 metros de profundidad para determinar el contenido de clorofila  $\alpha$ , materia total en suspensión (orgánica e inorgánica) y oxígeno disuelto. Se obtuvo una variación de la temperatura de 26.57°C a 29.52°C y de 35.45 a 35.34 de salinidad de un muestreo a otro. Durante la estación de primavera los valores promedio fueron de 0.71 mg/m<sup>3</sup> de clorofila  $\alpha$ , 5.21 mg/m<sup>2</sup> para la distribución integral de la clorofila  $\alpha$  y 0.32 ml/L para oxígeno disuelto; los valores promedio en verano de estas variables fueron 0.70 mg/m<sup>3</sup> para clorofila  $\alpha$ , 4.46 mg/m<sup>2</sup> en la distribución integral de la clorofila  $\alpha$ , 0.28 ml/L para oxígeno disuelto. La zona de estudio presentó una columna de agua homogénea en ambos muestreos y se determinó que la Bahía El Colorado presenta un nivel meso trófico en base al contenido de clorofila  $\alpha$  (mg/m<sup>3</sup>) a pesar de que reflejan un nivel bajo en la producción primaria comparado con otras zonas costeras.



## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras se definen como las áreas donde existe una interacción entre el medio marino y el medio terrestre, considerándose por lo tanto una parte "húmeda" y otra parte "seca" las cuales están en contacto en la zona denominada litoral. Estas características fomenta a una zona costera como una amplia región donde se presentan diversos fenómenos, tales como los fenómenos físicos, químicos, geológicos, atmosféricos, biológicos e incluso socioculturales que prueban una complicada relación que existe entre ambas parte de la zona costera (Ortiz-Lozano et al., 2010).

Las zonas costeras presentan una dinámica que se encuentra determinada por la interfase entre el continente, océano y atmósfera. Esta interfase presenta diversos rasgos que conforman la línea de costa como lagunas, estuarios, esteros, marismas, bahías, caletas, ensenadas, cenotes, aguadas, sartenejas, entre otros (Lara-Lara et al., 2008). La zona costera juega un papel importante en los ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos al igual que en el cambio climático sin embargo, desde una perspectiva global los estudios han sido escasos donde se reconozca que las zonas costeras tienen un rol en los flujos de carbono y en los ciclos de nutrientes (Hernández-Ayón et al., 2007).

Para comprender los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, se requiere realizar modelos en donde se logren combinar diferentes variables oceanográficas y fisicoquímicas junto con los organismos de diferentes niveles, desde los productores primarios hasta los de mayor nivel trófico. Dentro del conjunto de productores primarios se encuentra el fitoplancton, que es el conjunto de organismos de tipo vegetal que viven en las aguas dulces o marinas ya sea flotando o dotados de escasos elementos de locomoción; generalmente presentan tamaño microscópico (Cifuentes-Lemus et al., 1987).

Estos organismos conforman la cadena trófica del ecosistema marino. El fitoplancton está encargado de realizar el proceso denominado producción primaria a través de la fotosíntesis, utilizando la energía solar y el dióxido de carbono y compuestos inorgánicos conocidos como nutrientes que se encuentran disueltos en el agua del mar (Escribano y Castro., 2004).



La producción primaria de fitoplancton es considerada la base principal de las redes tróficas que se desarrollan en el ecosistema pelágico del océano. En los sistemas acuáticos se considera como una pieza ecológica clave, ya que cuantifica la cantidad de dióxido de carbono transformado en carbono orgánico (Gaxiola-Castro et al., 2010).

Se ha establecido que la variabilidad espacial y temporal de la producción primaria en los océanos, depende de las condiciones ambientales a la que se encuentra el fitoplancton, al igual que procesos físicos como eventos de surgencias, advección, mezclas, remolinos entre otros procesos. Todos contribuyen a la variabilidad de la producción primaria del fitoplancton mediante el abastecimiento de nutrientes inorgánicos a la zona eufótica, que permite el acondicionamiento del fitoplancton a diferentes niveles de irradiancia, donde toman lugar los procesos biológicos de absorción de luz y la capacidad del fitoplancton para procesarla determinando niveles de producción primaria (Reyes-Salinas et al., 2003).

En general, las tasas más altas de producción primaria ocurren en márgenes continentales, debido a la mayor oferta de nutrientes, por los fenómenos de surgencia y aportes continentales, además de la rápida mineralización de la materia orgánica en la parte pelágica y bentónica (Chen y Borges., 2009).

Uno de los objetivos de la oceanografía actual es medir y entender los procesos que controlan las fluctuaciones en los flujos de carbono a nivel global. Por tanto, la estimación de la producción primaria del fitoplancton es de gran importancia, ya que es el proceso que transforma carbono inorgánico en materia orgánica mediante la asimilación fotosintética del CO<sub>2</sub>, introduciendo carbono atmosférico en la cadena trófica acuática (Barocio-León et al., 2007).

La Bahía El Colorado, es una zona donde se realizan diferentes actividades por el ser humano como la pesca y el turismo. Este trabajo pretende estudiar la oceanografía de la Bahía El Colorado, Sonora, su influencia en los procesos de producción primaria y la materia orgánica particulada en la columna de agua.

## **II. ANTECEDENTES**

### **II.1 Características Oceanográficas del Golfo de California**

El Golfo de California es una mar marginal que se encuentra en el Océano Pacífico Oriental, localizado en un ambiente árido que abarca la península de Baja California y los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. Presenta una serie de cuencas separadas por umbrales con profundidades mayores de 3000 metros en la región de la boca hasta muy someras en la parte norte siendo igual o menores de 200 metros (Álvarez-Borrego., 2007). Se caracteriza por ser una cuenca de evaporación con una longitud y anchura promedio de 1000 y 150 km aproximadamente, y se puede dividir dos provincias hidrográficas separadas por las islas Ángel de la Guarda e isla Tiburón (Millán y Lara., 1995).

Es un mar dinámico debido a las corrientes de marea, la transferencia de momento del viento, las surgencias y el elevado calentamiento solar (Álvarez-Borrego., 2007).

Los vientos del noroeste que ocurren de diciembre a mayo producen los efectos de surgencias frente a la costa oriental. Durante estas "condiciones de invierno", la entrada de nutrientes favorece el incremento de biomasa de las comunidades fitoplanctónicas. Mientras que de julio a octubre, se presentan vientos del sureste que no tienen energía para romper la fuerte estratificación térmica de la columna de agua, y las surgencias durante estas "condiciones de verano" no tienen un efecto en los niveles de biomasa fitoplanctónica. Los meses de junio y noviembre son considerados los períodos de transición entre ambas épocas (Álvarez-Borrego., 2010).

## II.2 Importancia de las Zonas Costeras

Desde un punto de vista en general, los ecosistemas marinos costeros como lagunas costeras, bahías y estuarios presentan una serie de procesos físicos como flujos de marea, vientos locales o estacionales, efectos de surgencias o aportes de agua dulce proveniente de ríos o precipitación que generan efectos de mezcla y estratificación en la columna de agua (Simpson et al., 1977; Viner, 1985; Kiørboe, 1993. Citado por López-Cortés et al., 2003), causando cambios en el contenido de nutrientes y estado trófico del ecosistema.

Generalmente cuando se presenta un aumento en los niveles de nutrientes en la columna de agua en bahías y esteros se asocia a procesos de mezcla (Delgadillo-Hinojosa et al., 1997; Casas et al., 1999. Citado por López-Cortés et al., 2003), mientras que condiciones de estabilidad (estratificación en la columna de agua) originan una disminución de los nutrientes superficiales debido a su utilización por los productores primarios y por efecto de hundimiento y acumulación por abajo de la termoclina en cuerpos de agua profundos (Pingree et al., 1977; Viner, 1985; Casas y Bode, 1999. Citado por López-Cortés et al., 2003).

De los ambientes marinos, las zonas costeras se consideran como áreas de gran interés socioeconómico por ser una fuente importante de recursos naturales para el ser humano. Además son importantes desde un punto de vista ecológico por ser área de refugio, alimentación y desove de diferentes organismos. Por presentar altos niveles de productividad primaria son sitios para el desarrollo de la acuicultura y por sus características morfológicas son sitios ideales para actividades recreativas. Bajo este contexto se observa que son sitios altamente vulnerables a los cambios naturales y antropogénicos (Martínez-López et al., 2001).

En el océano, el fitoplancton representa el mayor porcentaje de la materia particulada y su abundancia está controlada principalmente por la luz, la temperatura, los nutrientes y el pastoreo, en cambio en las zonas costeras la dinámica hace mucho más complejo su análisis (Martínez-López et al., 2001). Por lo que se considera importante el aporte de información de estas variables en estos ecosistemas.

### II.3 Estudios de Variabilidad Hidrobiológica en el Golfo de California y el Estado de Sonora

En el Pacífico mexicano se han realizado trabajos para describir la producción orgánica primaria fitoplanctónica y su relación con otros organismos en el ecosistema, su variabilidad espacial y temporal para entender los ciclos del carbono oceánico, los cambios en las poblaciones de recursos pesqueros, y el acoplamiento del forzamiento físico-biogeoquímicos de los ecosistemas pelágicos con una base regional (Gaxiola-Castro et al., 2010).

Se han realizado estimaciones de la distribución de la producción fitoplanctónica en el Golfo de California, biomasa de fitoplancton utilizando como índice la concentración de clorofila *a* (Chl *a*). Estas han mostrado una alta producción primaria (16.8 y 95.6 mg Chl *a*/m<sup>2</sup>), indicando una buena disponibilidad de nutrientes, presentando un gradiente sur - norte (Lara y Bazán., 2005).

Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín (2007) estimaron la variabilidad estacional de la Chl *a*, en condiciones de "El Niño" y "La Niña", observando anomalías negativas de biomasa fitoplanctónica producida por las condiciones cálidas y de estratificación durante El Niño, los valores típicamente altos se restablecen en condiciones frías (La Niña) en el ecosistema. Ellos discutieron el efecto que tiene esta variabilidad en el potencial pesquero.

Estudios similares en ecosistemas costeros como bahías y lagunas del Golfo de California, han descrito un comportamiento estacional inverso a la temperatura y transparencia del agua. Se han reportado bajas concentraciones de Chl *a* en meses cálidos, debido a una fuerte estratificación de la columna de agua, y altos niveles en épocas frías asociados con los procesos de mezcla y disponibilidad de nutrientes en la columna de agua para la Bahía de La Paz (Martínez-López et al., 2001). Cervantes-Duarte et al. (2001) reportaron para la laguna costera de Ensenada de La Paz un patrón de variación similar con bajas concentraciones de Chl *a* en meses templados y alto valor de seston indicando presencia de materia inorgánica en suspensión.

Estudios de variabilidad del estado trófico en Bahía Concepción, Baja California Sur, López-Cortés et al. (2003) observaron altos niveles de Chl *a* en el período primavera-verano asociado a un aumento en la concentración de nutrientes, los resultados indicaron condiciones eutróficas y mesotróficas en la bahía. El oleaje y la circulación juegan un papel importante en la retención de materia orgánica particulada en este ecosistema (Martínez y Gárate., 1997).

En la costa central de Sonora, los estudios de variabilidad hidrobiológica son escasos y se han realizado principalmente en lagunas costeras. Valdez-Holguín (1994) realizó una serie de tiempo diaria en La Laguna La Cruz, Sonora, para determinar su variabilidad durante un año, concluyendo que presenta altos flujos de energía causados por los ciclos de mareas generan los ciclos de variación. Por otra parte Morales-Soto et al. (2000) coincidieron con estos resultados y sugieren que los valores máximos y mínimos de Chl *a* están asociados a la disponibilidad de nutrientes. Un estudio por Félix-Gocobachi y Valenzuela-Fino en 2000 consideró la influencia de El Niño en los niveles de Chl *a* en este ecosistema.

Debido a que los estudios han sido escasos en el Estado de Sonora, principalmente enfocados en la laguna costera La Cruz, se requiere aportar más conocimiento a los ecosistemas costeros como es el caso de la Bahía El Colorado.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Los ecosistemas marinos costeros son muy variables y juegan un papel muy importante en los ciclos biogeoquímicos y en el cambio climático. Así mismo, el manejo de los ecosistemas costeros requiere de información ambiental y principalmente de la producción primaria del fitoplancton que es la base de la cadena trófica del ecosistema. Este estudio aportará elementos oceanográficos que influyen en la base de la cadena trófica de un ecosistema costero, con la finalidad de caracterizar su variabilidad y el papel de este en los ciclos biogeoquímicos al igual que determinar su potencial contribución al desarrollo de actividades humanas como pesquerías y acuicultura.

#### **IV. HIPÓTESIS CIENTÍFICA**

Las condiciones oceanográficas en la Bahía El Colorado, Sonora presentan características similares a la región central del Golfo de California, favoreciendo niveles altos de producción primaria en invierno-primavera y bajos en verano-otoño. Esta variabilidad está en función de las condiciones y procesos oceanográficos característicos de la región.

## **V. OBJETIVOS**

### **V.1. Objetivo general**

Describir la variabilidad oceanográfica, la producción primaria y la materia particulada de la Bahía El Colorado, Sonora.

### **V.2. Objetivos específicos**

Determinar las condiciones fisicoquímicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto) de la columna de agua en la Bahía El Colorado, Sonora.

Estimar la producción primaria.

Cuantificar la materia particulada (orgánica e inorgánica) en suspensión.

Determinar el estado trófico de la Bahía El Colorado en base al contenido de clorofila *a* ( $\text{mg/m}^3$ ) en la columna de agua.



## VI. METODOLOGÍA

### VI.1 Área de estudio

La Bahía El Colorado se localiza a 120 km de Hermosillo (Figura 1). Geográficamente se encuentra en las coordenadas 28°17'3" Latitud Norte y los 111°24'57" Longitud Oeste. El clima predominante es seco desértico y el sustrato es rocoso en su mayoría. Predominan actividades como el turismo y la pesca.



Figura 1. Mapa de localización de la Bahía El Colorado. Municipio de Hermosillo, Sonora.  
Fuente: Google Earth.

## VI.2 Muestreos

Se realizaron 2 muestreos en épocas diferentes del año: el primero fue durante la primavera el día 01 de junio del 2013 y el segundo muestreo se realizó en otoño el día 27 de septiembre del 2013. En cada uno de los muestreos se seleccionaron un total de 9 estaciones (Figura 2) diferentes con las siguientes coordenadas (Tabla I) de la bahía para determinar sus características oceanográficas.

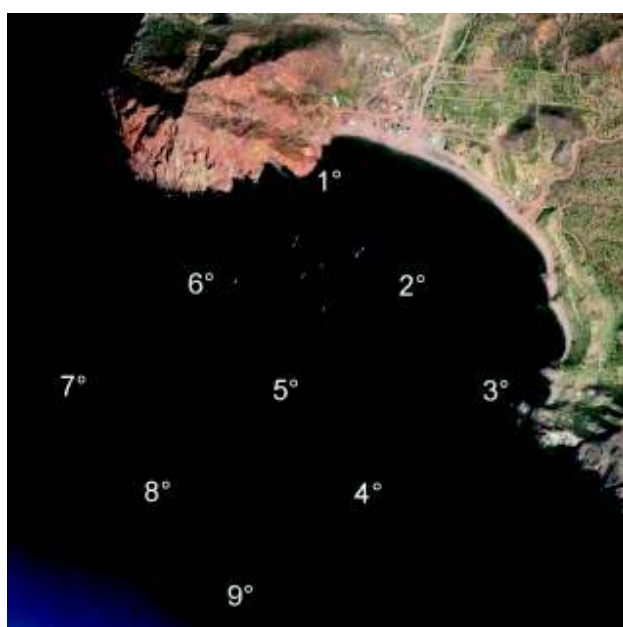


Figura 2. Localización de las diferentes estaciones de muestreo en la Bahía El Colorado.  
Fuente: Google Earth.

Tabla I. Lista de coordenadas de cada una de las estaciones de muestreo de la Bahía El Colorado.

Estación de muestreo	Coordenadas
1°	28°17'11.5" N, 111°25'09.8" O
2°	28°17'01.2" N, 111°25'00.4" O
3°	28°16'50.8" N, 111°24'51.0" O
4°	28°16'40.7" N, 111°25'05.3" O
5°	28°16'50.9" N, 111°25'14.6" O
6°	28°17'01.4" N, 111°25'24.1" O
7°	28°16'51.2" N, 111°25'38.5" O
8°	28°16'40.8" N, 111°25'29.0" O
9°	28°16'30.5" N, 111°25'19.7" O

En cada una de las estaciones de muestreo se realizó un lance de CTD para tomar medida de variables oceanográficas de temperatura, salinidad, Chl  $\alpha$  y turbidez (coeficiente de atenuación de haz) desde la superficie hasta una profundidad de 5 metros. Una vez tomadas estas variables, se tomaron muestras de agua de nivel de fondo como de nivel de superficie.

Las muestras de fondo se recolectaron con una botella Niskin, mientras que las muestras de superficie se colectaron de manera directa con un galón de agua rotulado con la estación de muestreo y el nivel de profundidad correspondiente. De cada muestra se tomó una submuestra en una Botella DBO para determinar el oxígeno disuelto por el método micro Winkler (Parsons et al., 1984). Las submuestras fueron fijadas con 1 ml de Solución A (cloruro de manganeso) y Solución B (ioduro de potasio con hidróxido de sodio) y se guardaron en frío y oscuridad en una hielera para su análisis en el laboratorio. El remanente de cada muestra se guardó en una hielera para su procesamiento en el laboratorio donde se filtró para determinar la concentración de seston (materia particulada en suspensión).

### **VI.3 Procesamiento de muestras**

Para determinar los niveles de materia total en suspensión se filtraron 500 ml de agua de cada estación de muestreo a través de filtros GF/F de 25 mm de diámetro que fueron previamente pesados a peso constante ( $P_t$ ), los filtros fueron secados a 100°C por 4 horas y pesados hasta obtener un peso constante. Cada filtro se conservó congelado hasta su análisis en el laboratorio, los filtros fueron secados en una estufa a 100°C durante 2 horas hasta tener un registro de peso constante ( $P_s$ ), después se colocaron en una mufla por 4 horas a 550°C y pesados nuevamente ( $P_i$ ).

Las concentraciones de seston y las fracciones orgánicas e inorgánicas (mg/lt) se calcularon de la siguiente manera:

$$Seston_{total} = \frac{P_s - P_t}{Volumen\ de\ agua\ filtrada}$$

$$Materia_{inorgánica} = \frac{P_i - P_t}{Volumen\ de\ agua\ filtrada}$$

$$Materia_{orgánica} = Seston_{total} - Materia_{inorgánica}$$

#### VI.4 Análisis de datos

La descripción estadística se realizó mediante una prueba de normalidad, comparación de medias y graficado de los datos obtenidos de la lectura del CTD se utilizó el programa Statistical Software. Los datos del CTD y los valores discretos de las variables estudiadas (oxígeno disuelto, materia total en suspensión (MTS), materia orgánica particulada (MOP) y materia inorgánica particulada (MIP) fueron graficados en Microsoft Excel. La estimación de la clorofila integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) en la columna de agua se realizó obteniendo el área bajo la curva en QBasic y se determinó el estado trófico de la bahía en base al contenido de clorofila *a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) siguiendo el criterio de Morel y Berthon (1989).

Para el análisis estadístico se realizó una Prueba U de Mann-Whitney para comprobar la heterogeneidad de cada variable en ambos muestreos. Esta prueba se realizó con un 95% de nivel de confianza y un 0.05 de significancia.

## VII. RESULTADOS

### VII.1 Variables

#### VII.1.1 Temperatura

Durante los dos muestreos la temperatura presentó una estructura vertical muy homogénea en todas las estaciones de muestreo. En el mes de junio la temperatura varió de 26.47 °C a 27.07 °C en la superficie, de 26.47 °C a 26.42 °C en el fondo y en septiembre los valores observados fueron de 29.35 °C a 29.66 °C en superficie y en el nivel de fondo fueron de 29.29 °C a 29.53 °C (Figura 3). El intervalo de valores durante junio fue de 26 °C a 27 °C con un valor promedio de 26.57 °C mientras que en el mes de septiembre la temperatura del mar aumentó 3°C con un intervalo de 29 °C a 30 °C con un valor promedio de 29.52 °C (Figura 4). Las temperaturas presentaron diferencias estadísticas entre ambos períodos de muestreo ( $U = 0$ ;  $Z = -8.9586$ ;  $P = 0$ ).

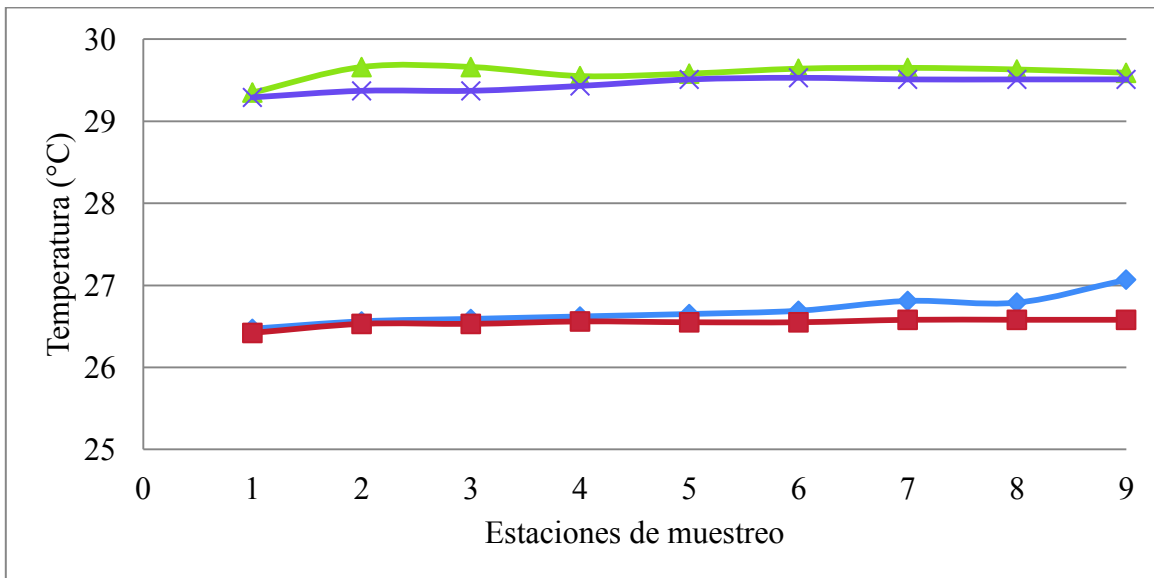


Figura 3. Valores de temperatura (°C) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

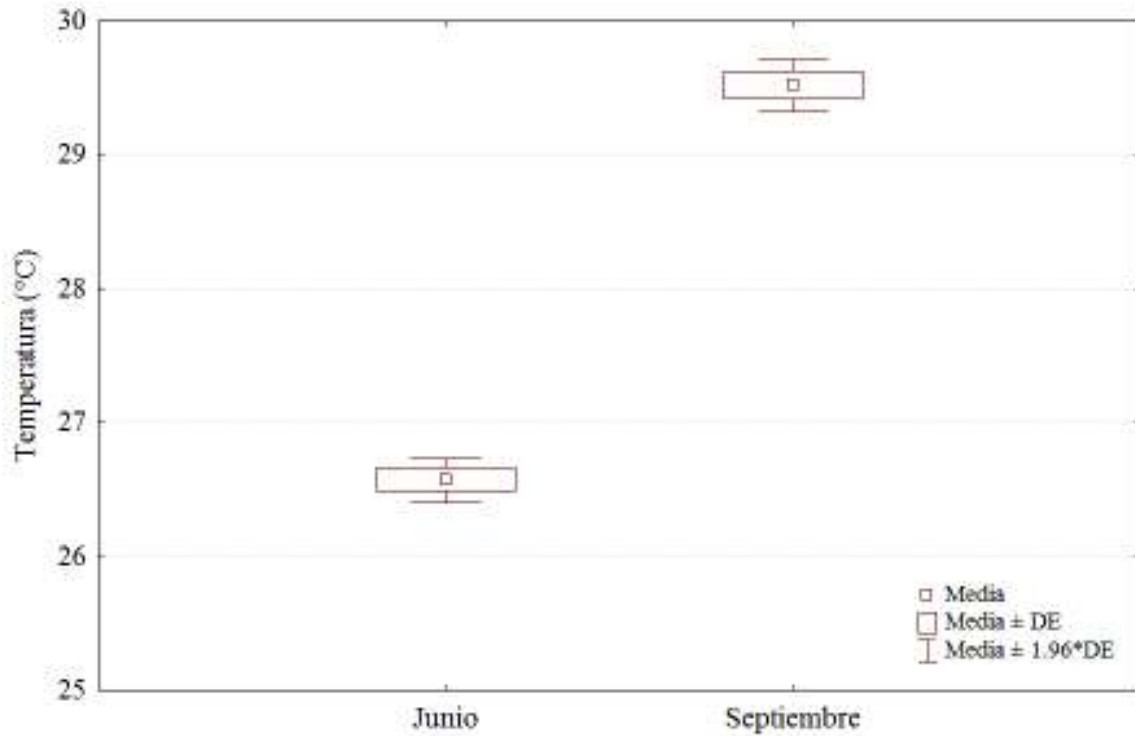


Figura 4. Distribución promedio de los intervalos de temperatura (°C) de cada muestreo.

### VII.1.2 Salinidad

En ambos muestreos al igual que en la temperatura, la salinidad presentó una distribución homogénea en la columna de agua. Durante el muestreo de junio la salinidad varió de 35.42 a 35.48 en la superficie, y de 35.45 a 35.48 en el fondo, y en el mes de septiembre se presentaron valores de 35.34 a 35.40 en la superficie y de 35.31 a 35.39 en fondo (Figura 5). En el mes de junio el intervalo de valores de salinidad fue de 35.30 a 35.60 con un valor promedio de 35.45, para el mes de septiembre el intervalo fue de 35.20 a 35.40 con un valor promedio de 35.34 (Figura 6). La salinidad presentó diferencias estadísticas entre ambos períodos de muestreo ( $U = 87.5000$ ;  $Z = 8.4209$ ;  $P = 0$ ).

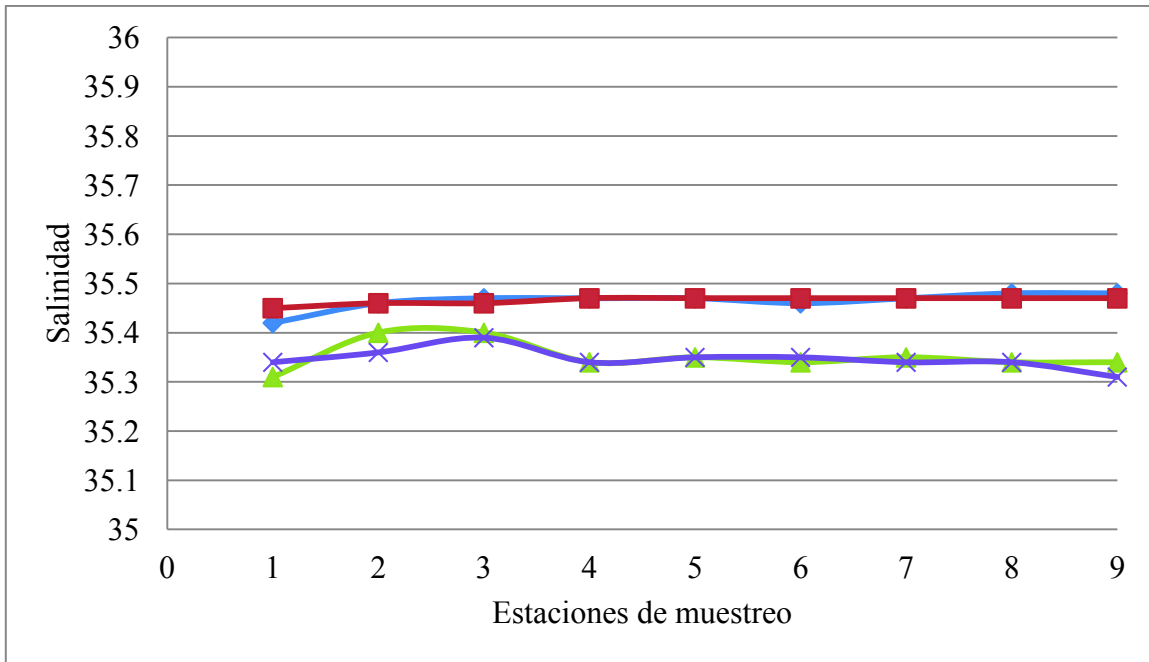


Figura 5. Valores de salinidad de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

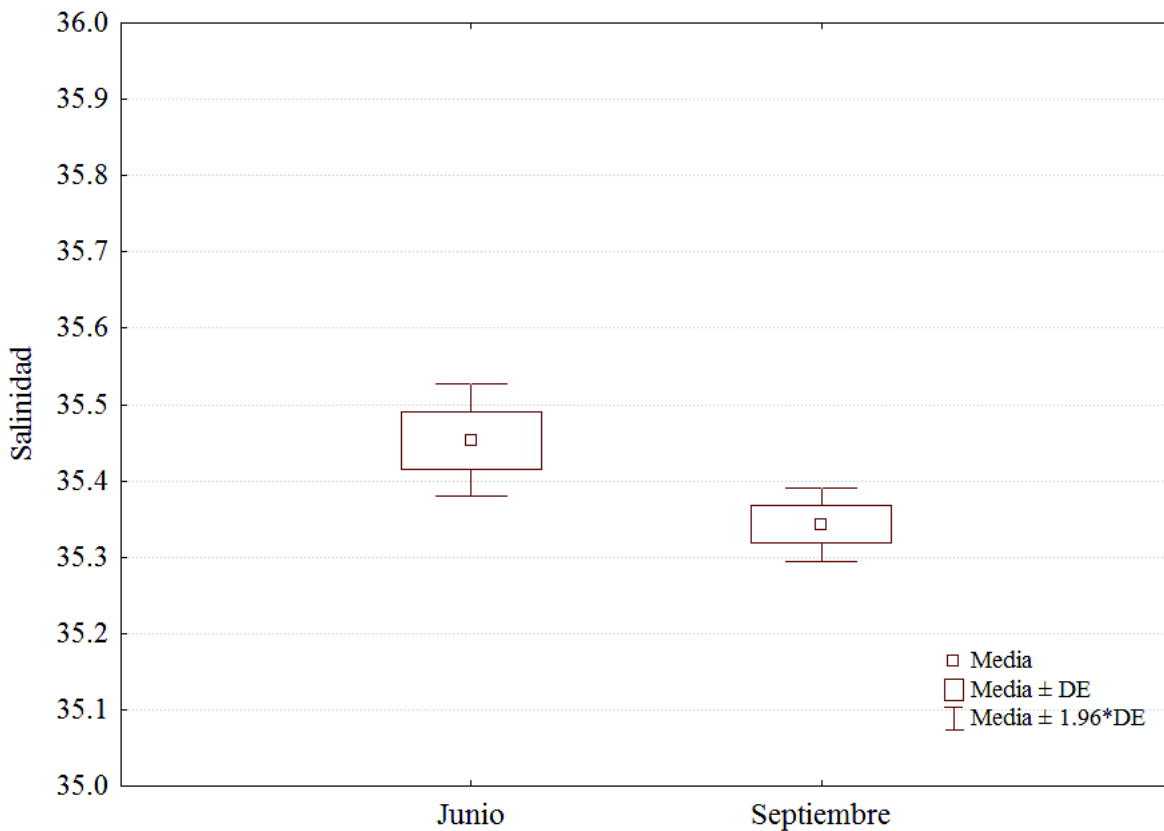


Figura 6. Distribución promedio de los intervalos de salinidad de cada muestreo.

### VII.1.3 Clorofila *a* (Chl *a*)

En el mes de junio los valores de clorofila *a* variaron de entre 0.45 a 0.94 mg/m<sup>3</sup> en superficie y de 0.41 a 1.1 mg/m<sup>3</sup> en fondo, en septiembre los valores obtenidos fueron de 0.51 a 0.71 mg/m<sup>3</sup> en superficie y de 0.64 a 1.08mg/m<sup>3</sup> en fondo (Figura 7); cabe destacar que en ambos muestreos los valores máximos se obtuvieron en las estaciones 2 y 3 en la línea de costa. El intervalo de concentraciones de la Chl *a* en la columna de agua, en junio fue entre 0 a 1.4 mg/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 0.71 mg/m<sup>3</sup> para junio y entre 0.2 a 1.2 mg/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 0.70 mg/m<sup>3</sup> para septiembre (Figura 8). La Chl *a* no presentó diferencias estadísticas entre un muestreo y otro (U = 1348.500; Z = 0.6728; P = 0.5010).

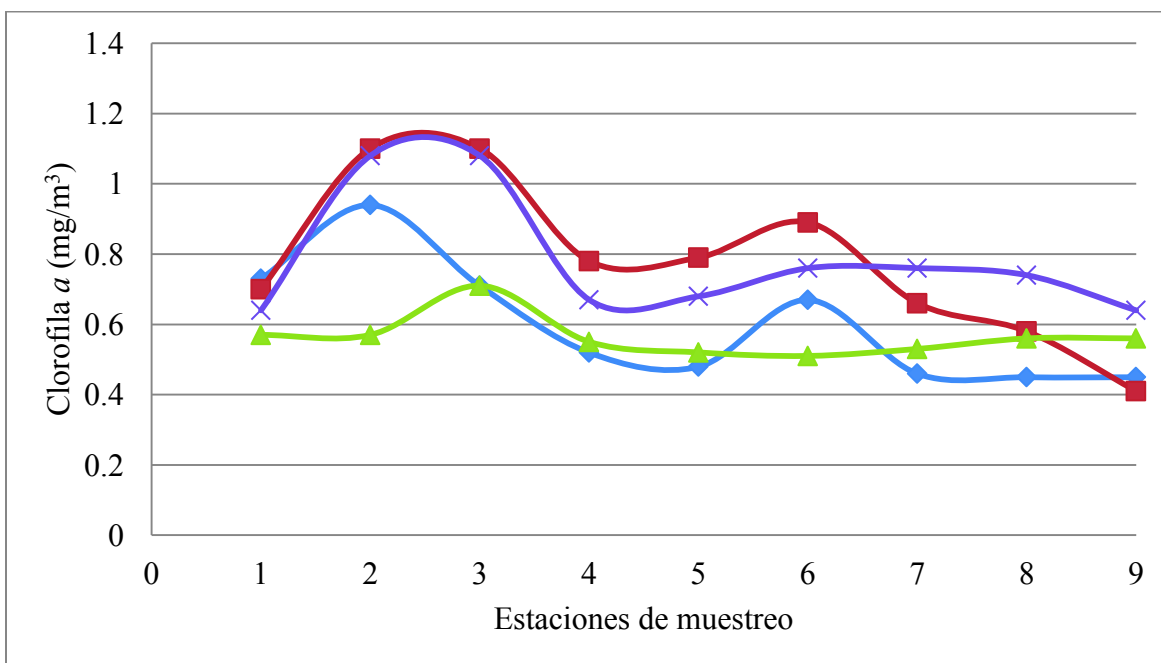


Figura 7. Valores de Clorofila *a* (mg/m<sup>3</sup>) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).



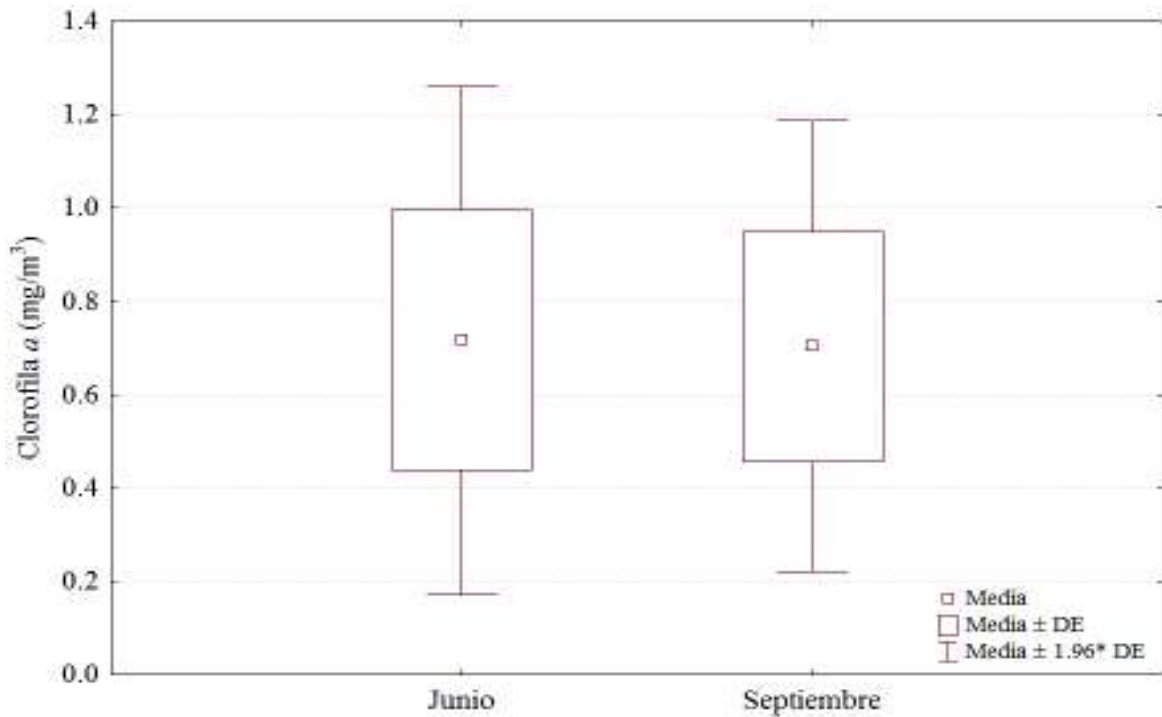


Figura 8. Distribución promedio de los intervalos de clorofila  $a$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de cada muestreo.

#### VII.1.4 Clorofila $a$ (Chl $a$ ) integrada

La distribución de la Chl  $a$  integrada en la columna de agua durante junio presentó un intervalo de valores entre 4.0 a 8.0  $\text{mg}/\text{m}^2$ , en septiembre el intervalo de valores fue de 3.0 a 7.0  $\text{mg}/\text{m}^2$  (Figura 9); las concentraciones más altas se estimaron en junio en la estación 2 con un valor de 7.79  $\text{mg}/\text{m}^2$  y la concentración más baja se presentó en septiembre en la estación 1 con un valor de 3.37  $\text{mg}/\text{m}^2$ . En junio se presentó un valor promedio de 5.21  $\text{mg}/\text{m}^2$  y en septiembre 4.46  $\text{mg}/\text{m}^2$  (Figura 10). La distribución integral de la Chl  $a$  no presentó diferencias significativas entre ambos muestreos ( $U = 27$ ;  $Z = 1.1920$ ;  $P = 0.2332$ ).

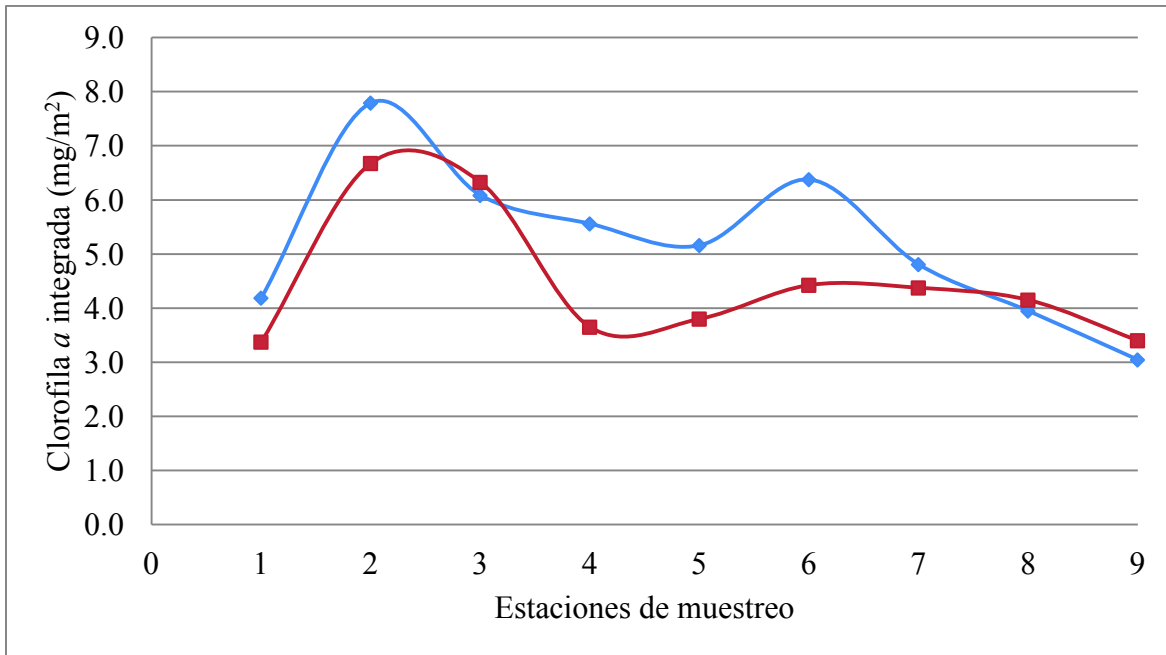


Figura 9. Valores de la Chl *a* integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) de ambos muestreos en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 —■— Septiembre 2013.

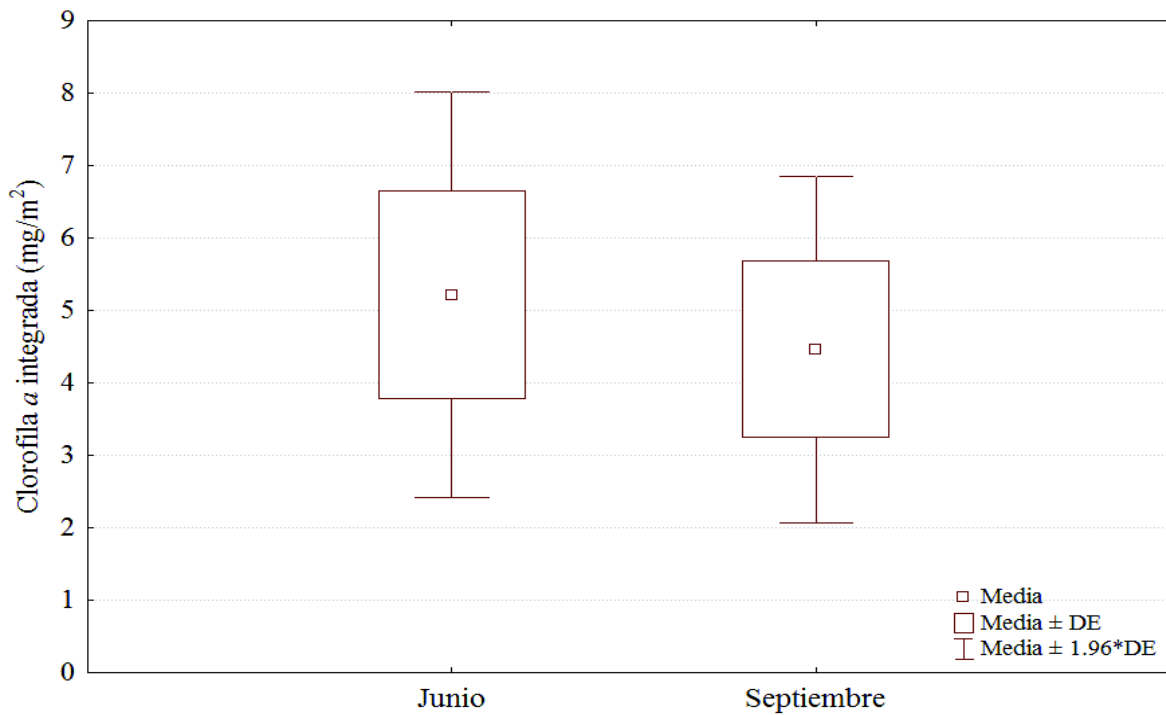


Figura 10. Distribución promedio de los intervalos de clorofila *a* integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) de cada muestreo.

### VII.1.5 Turbidez

La turbidez presentó una distribución diferente entre ambas estaciones de muestreo. En junio varió de 0.53 a 1.5  $\text{m}^{-1}$  en superficie y de 0.51 a 1.09  $\text{m}^{-1}$  en fondo mientras que, en septiembre los valores obtenidos fueron de 0.58 a 0.88  $\text{m}^{-1}$  en superficie y de 0.66 a 1.40  $\text{m}^{-1}$  en fondo (Figura 11). En ambos muestreos los valores abarcaban un rango de -0.02 a 2.0  $\text{m}^{-1}$ , con un valor promedio de 0.80  $\text{m}^{-1}$  para junio y 0.72  $\text{m}^{-1}$  para septiembre (Figura 12). Los niveles de turbidez no presentaron diferencias estadísticas entre ambos muestreos ( $U = 1396.500$ ;  $Z = -0.3778$ ;  $P = 0.7055$ ).

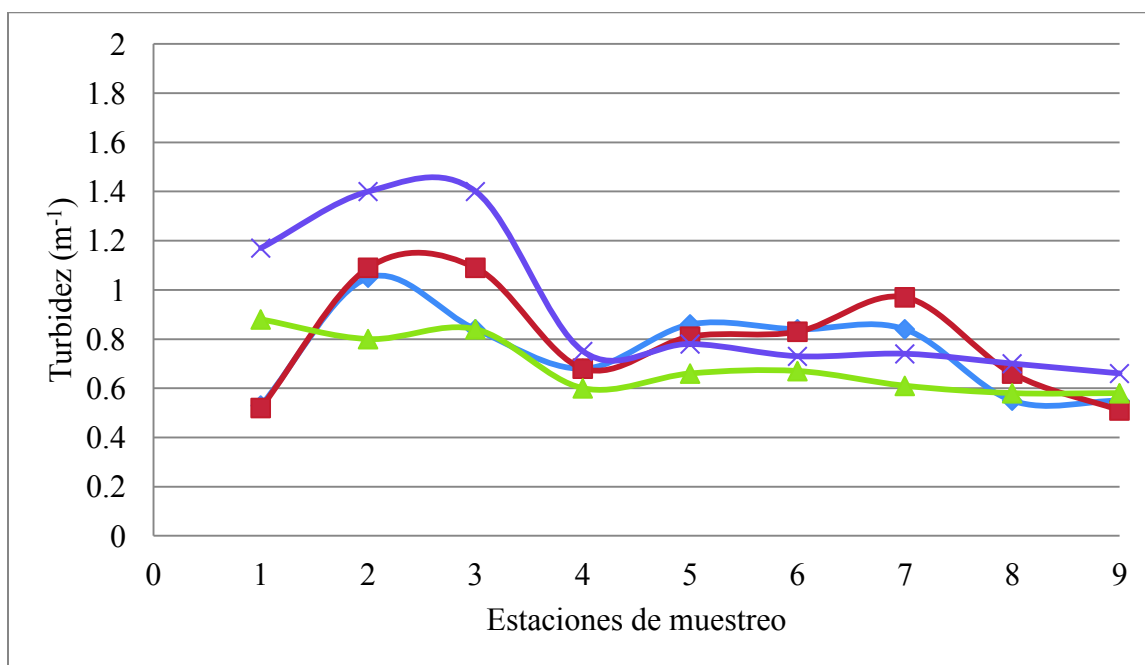


Figura 11. Valores de turbidez ( $\text{m}^{-1}$ ) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

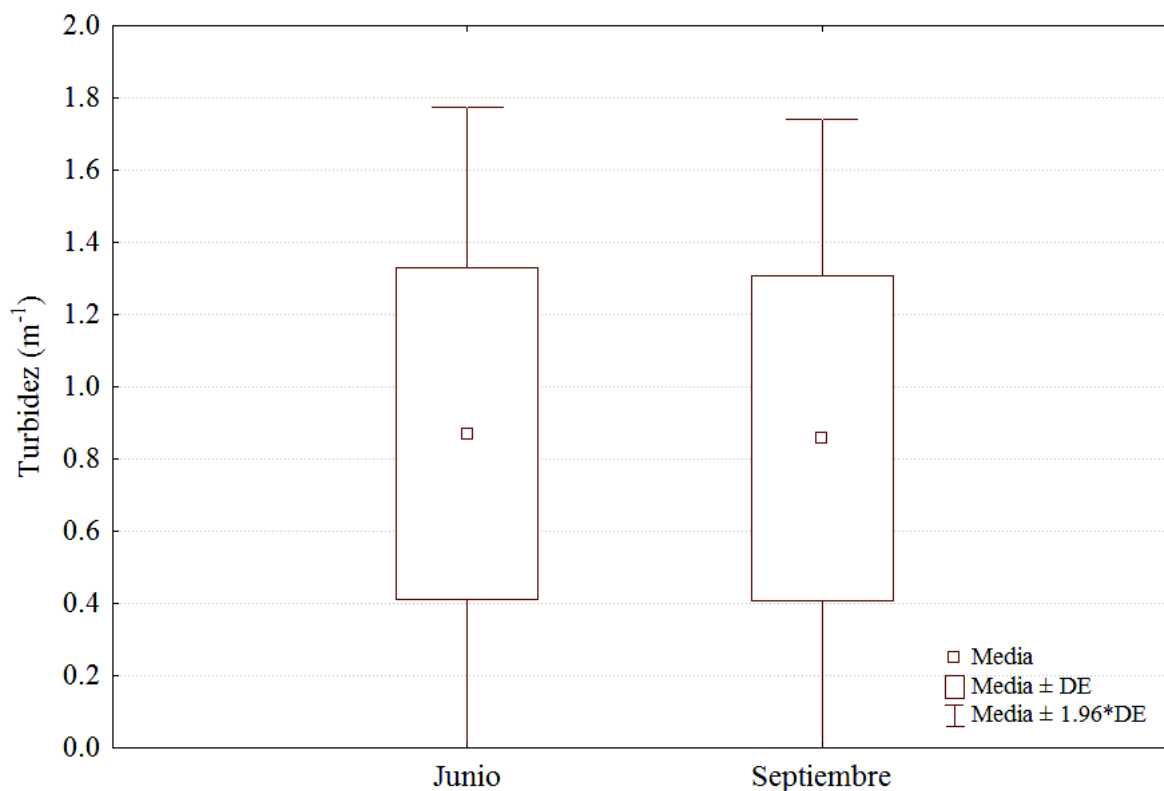


Figura 12. Distribución promedio de los intervalos de turbidez ( $m^{-1}$ ) de cada muestreo.

### VII.1.6. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto presentó un intervalo de valores similares de entre 0.31 a 0.33 ml/L en ambas profundidades (superficie y fondo) durante el mes de junio, con un valor promedio de 0.32 ml/L, mientras que en septiembre los valores presentaron un intervalo de 0.28 a 0.30 ml/L y 0.25 a 0.32 ml/L, en superficie y fondo respectivamente, con un valor promedio global de 0.28 ml/L (Figura 13). Las distribuciones promedio de los intervalos de oxígeno del primer muestreo en superficie y fondo (Figura 14) no presentaron diferencias estadísticas ( $U = 27.5$ ;  $Z = 1.1479$ ;  $P = 0.2509$ ), tampoco se presentaron estas diferencias en el segundo muestreo ( $U = 40$ ;  $Z = -0.0441$ ;  $P = 0.9647$ ) (Figura 15); sin embargo entre ambos muestreos (Figura 16) si se presentaron diferencias significativas entre los valores ( $U = 11$ ;  $Z = 4.7774$ ;  $P = 0$ ).

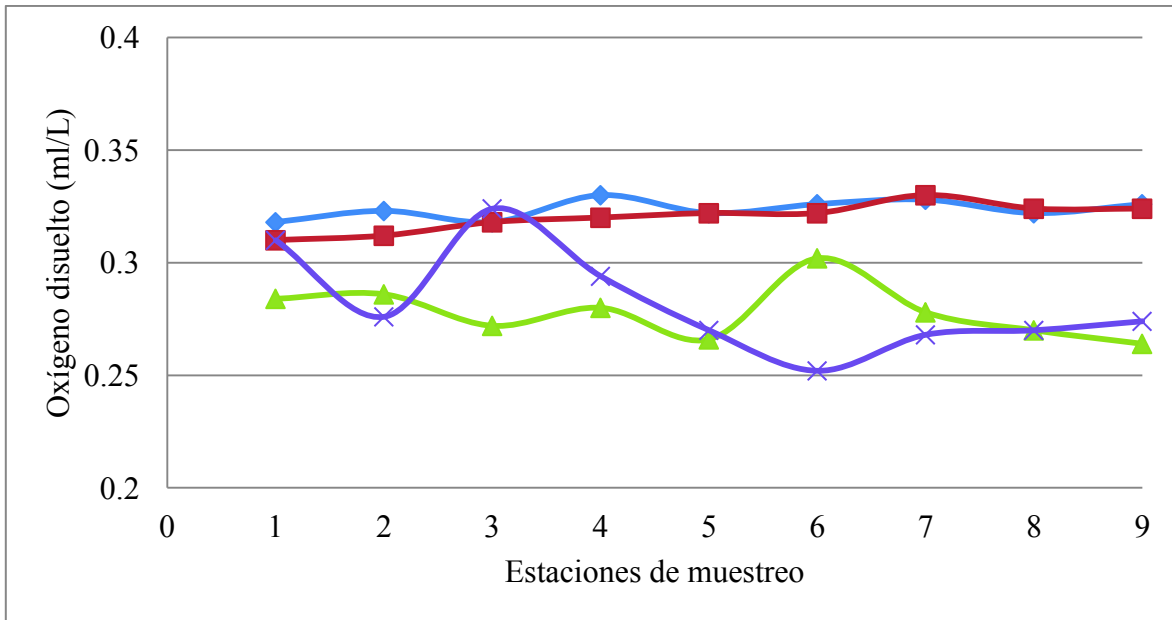


Figura 13. Valores de oxígeno disuelto (ml/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

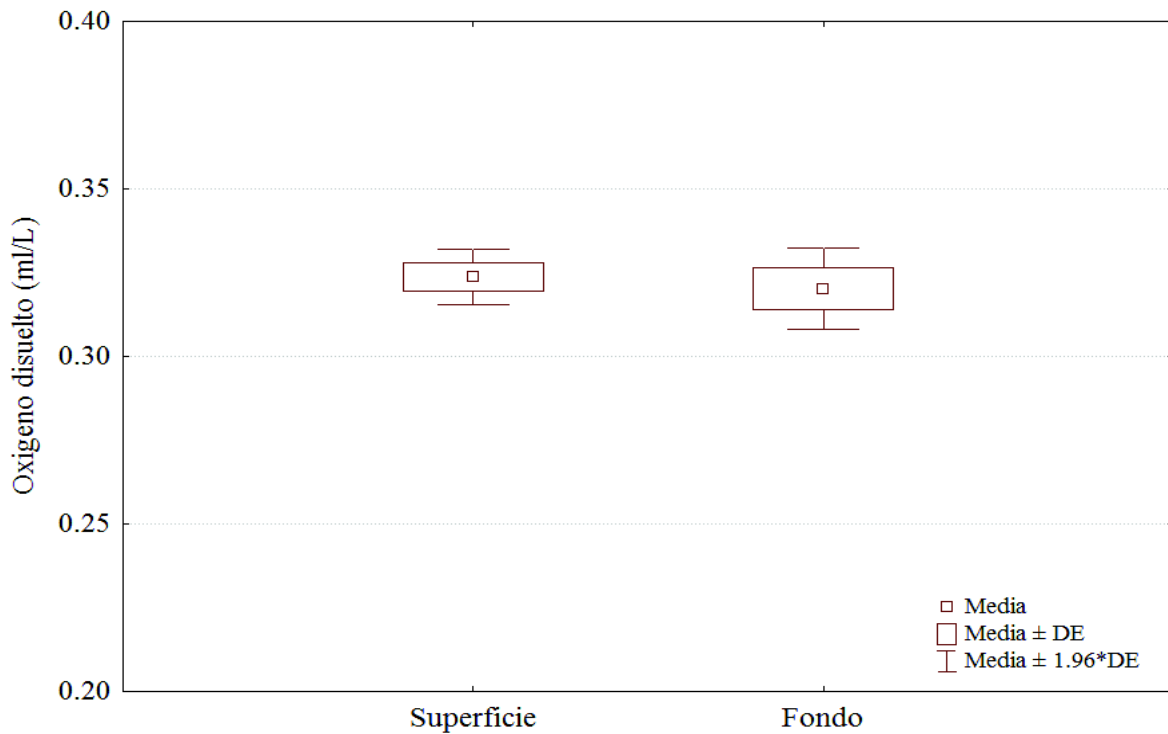


Figura 14. Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto (ml/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).

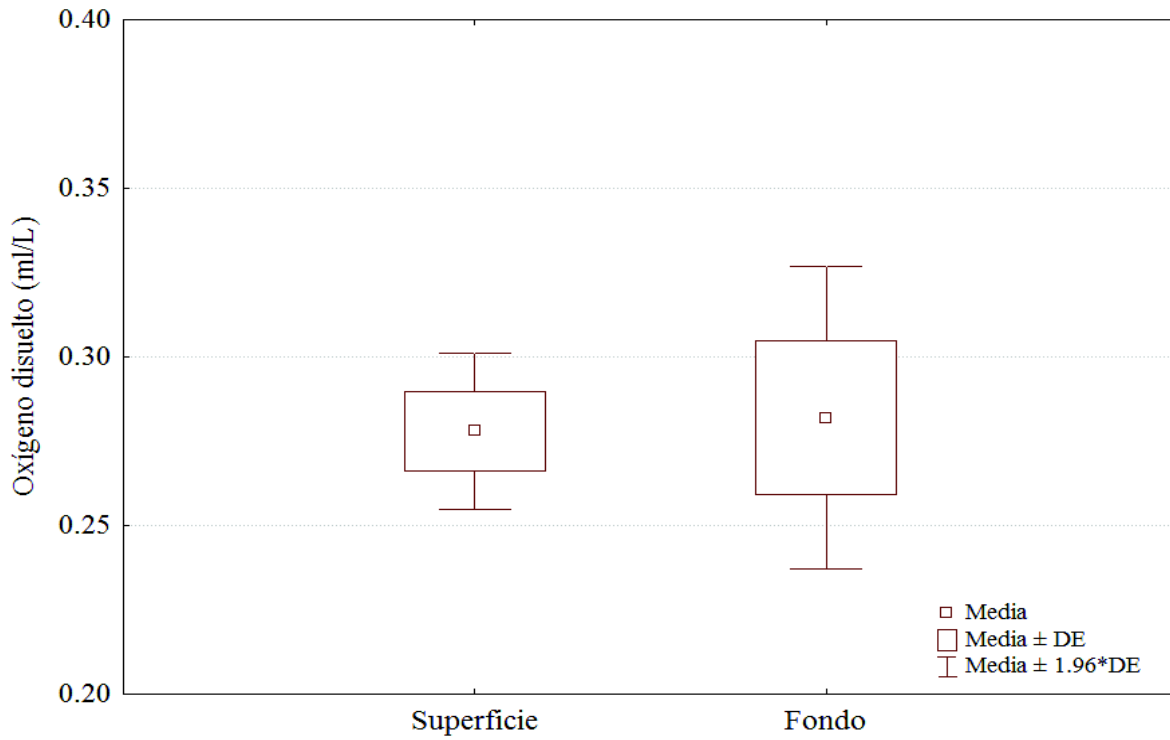


Figura 15. Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto (ml/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).

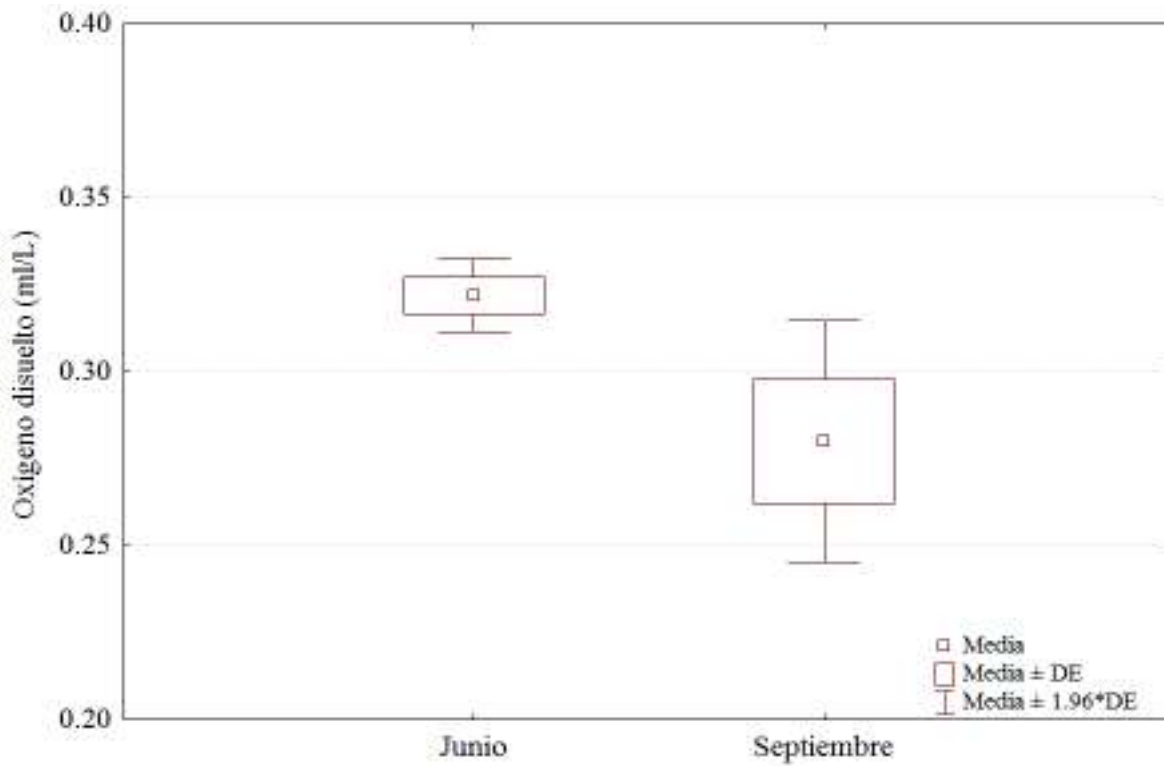


Figura 16. Distribución promedio de los intervalos de oxígeno disuelto (ml/L) de cada muestreo.

### VII.1.7. Materia Total en Suspensión (MTS)

Las concentraciones de materia total en suspensión (seston total) fueron similares en los dos muestreos con un intervalo de valores de 0.03 a 0.05 mg/L, en superficie como en fondo (Figura 17) y durante los 2 períodos de muestreo presentaron un valor promedio de 0.04 mg/L. La distribución promedio de los intervalos de superficie y fondo en junio (Figura 18) no presentó diferencias estadísticas ( $U = 26$ ;  $Z = -1.2803$ ;  $P = 0.2004$ ), los mismos resultados estadísticos se reportaron para el muestreo de septiembre en ambos niveles ( $U = 39$ ;  $Z = -0.1324$ ;  $P = 0.8946$ ) (Figura 19) y entre ambos muestreos ( $U = 159.50$ ;  $Z = 0.0790$ ;  $P = 0.9369$ ) (Figura 20).

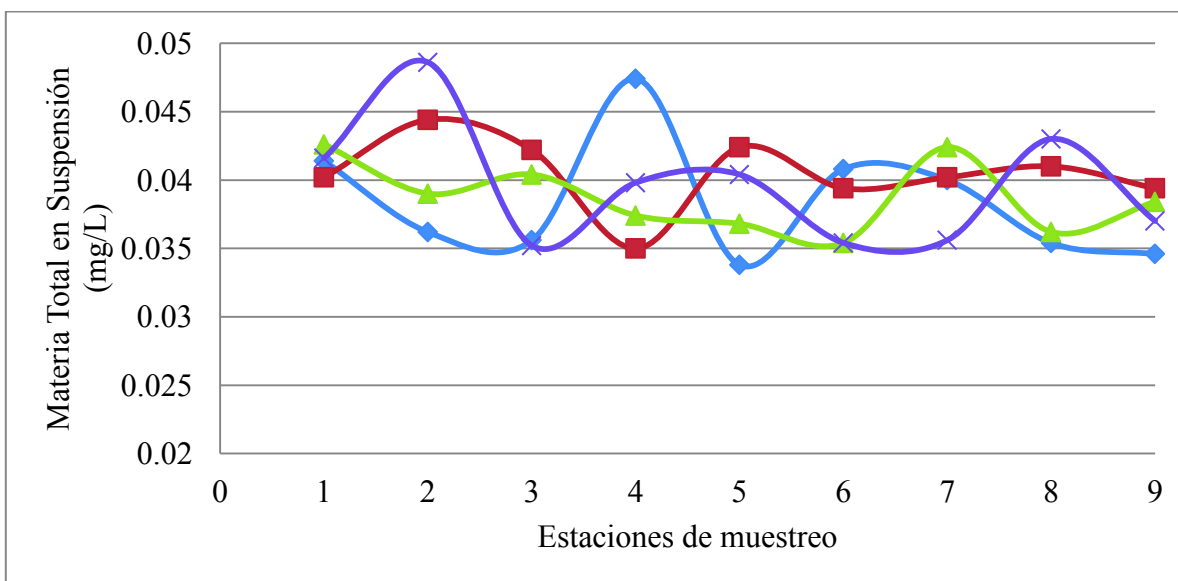


Figura 17. Valores de Materia Total en Suspensión (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

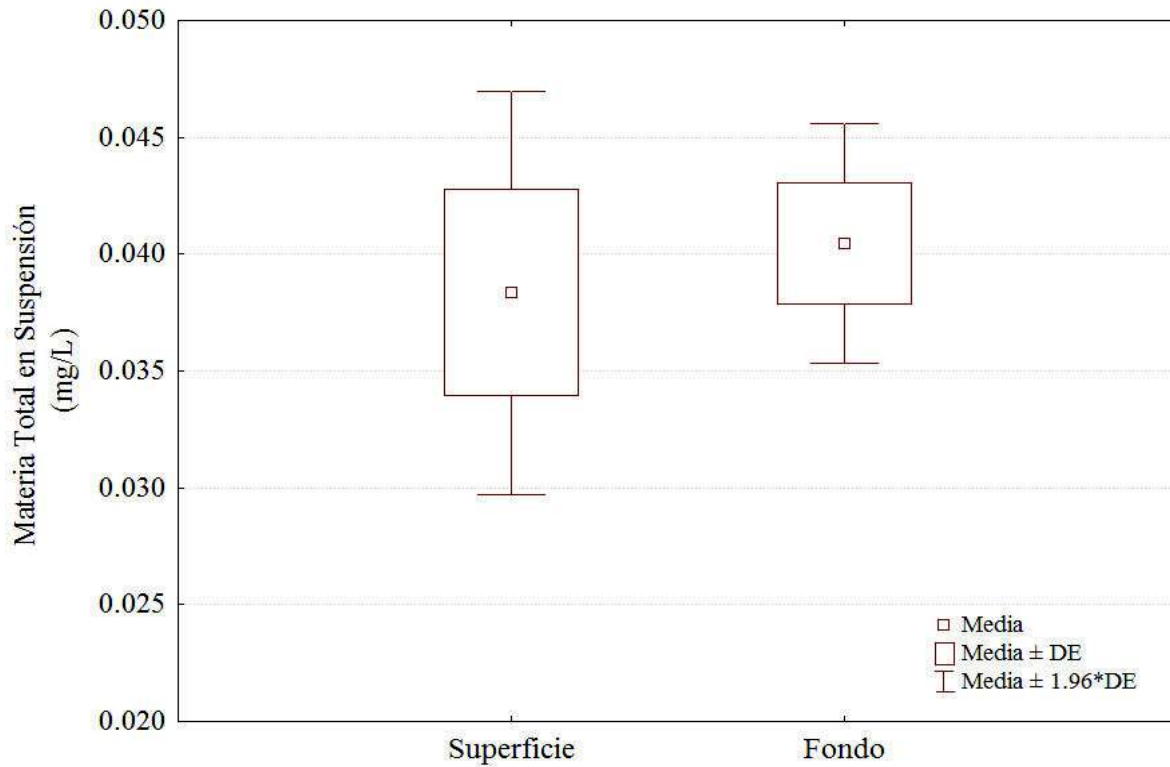


Figura 18. Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).

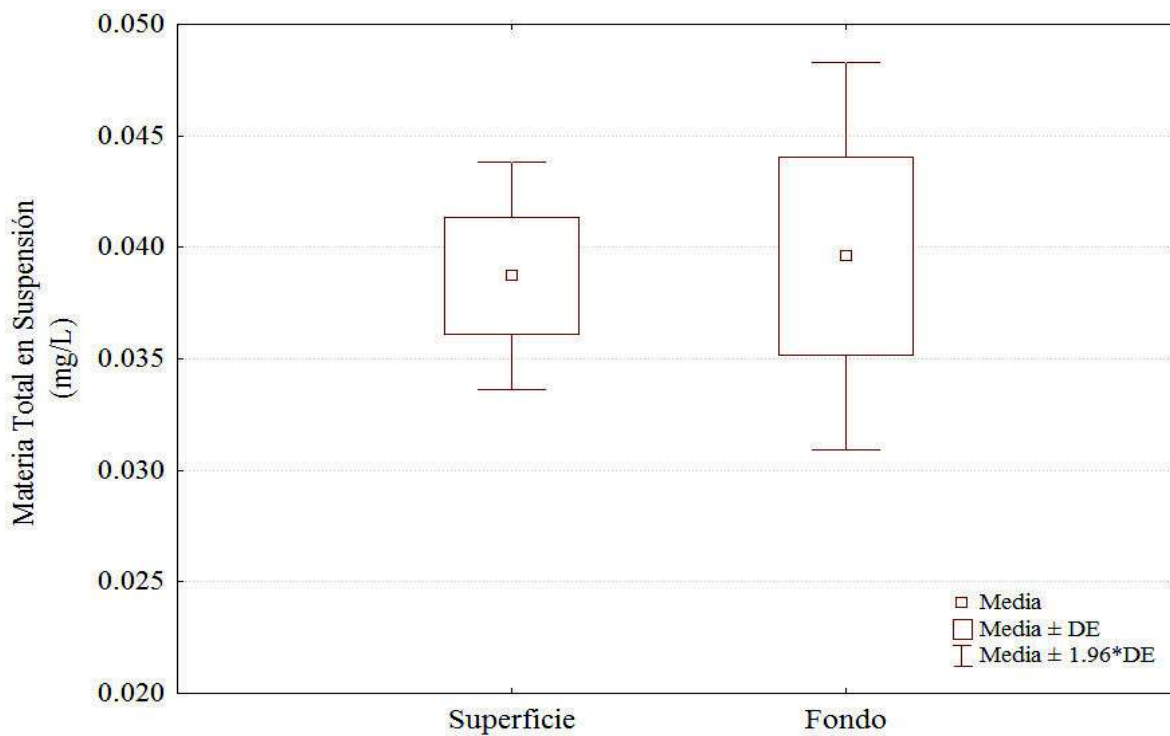


Figura 19. Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).



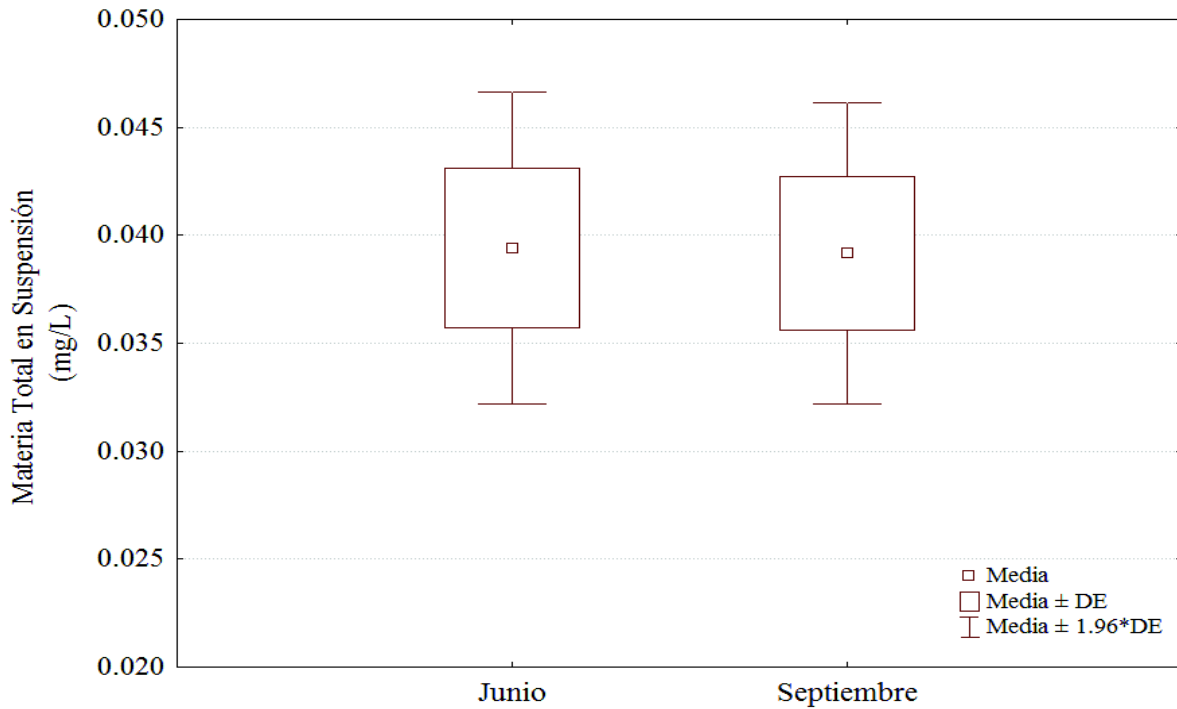


Figura 20. Distribución promedio de los intervalos de Materia Total en Suspensión (mg/L) de cada muestreo.

### VII.1.8. Materia Orgánica Particulada (MOP)

Durante el mes de junio los valores de materia orgánica particulada presentaron valores entre 0.003 y 0.002 mg/L en superficie y de 0.002 a 0.01 mg/L en fondo. En septiembre los valores obtenidos fluctuaron entre 0.003 a 0.010 mg/L en superficie, y entre 0.001 y 0.01 mg/L en fondo (Figura 21). En el mes de junio se presentó un valor promedio de 0.007 mg/L en superficie y 0.009 mg/L en fondo (Figura 22), mientras que en el mes de septiembre fue de 0.006 mg/L en superficie y 0.007 mg/L en fondo (Figura 23). En ambos niveles de la columna de agua de junio ( $U = 27$ ;  $Z = -1.1920$ ;  $P = 0.2332$ ) y septiembre ( $U = 26.5$ ;  $Z = -1.2362$ ;  $P = 0.2163$ ) no se presentaron diferencias estadísticas, este mismo comportamiento se presentó entre ambos períodos (Figura 24) ( $U = 113$ ;  $Z = 1.5502$ ;  $P = 0.1210$ ).

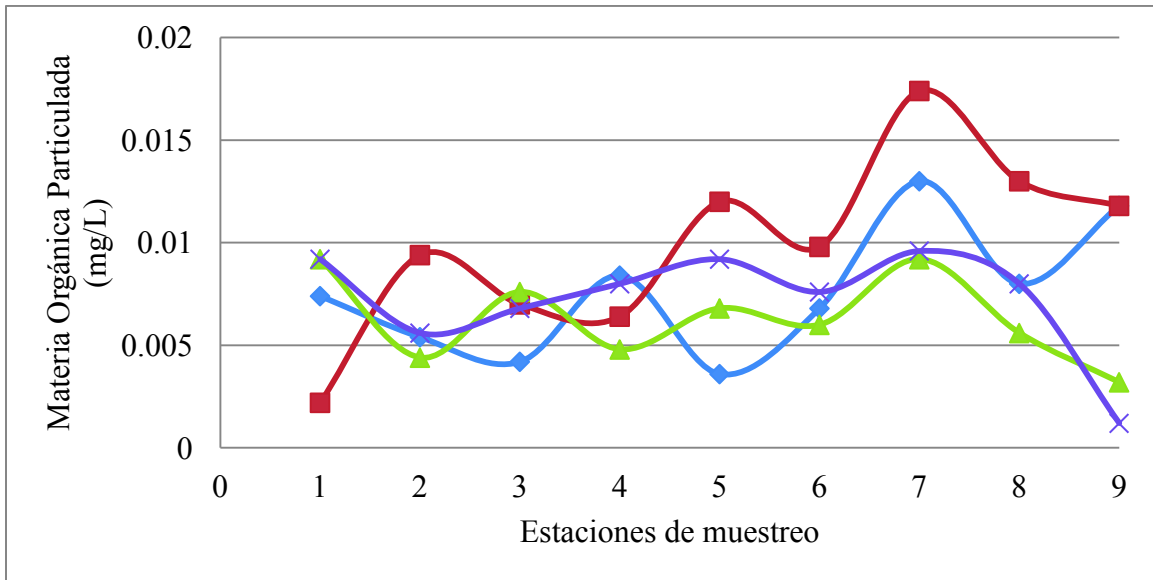


Figura 21. Valores de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

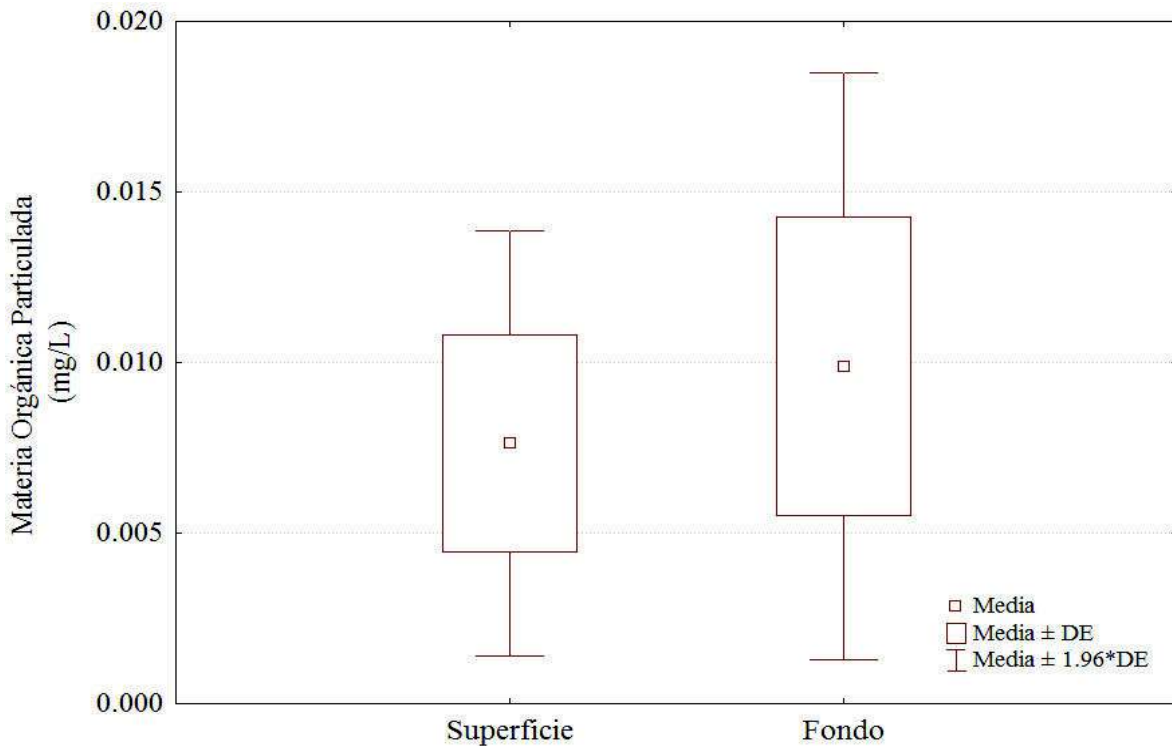


Figura 22. Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).

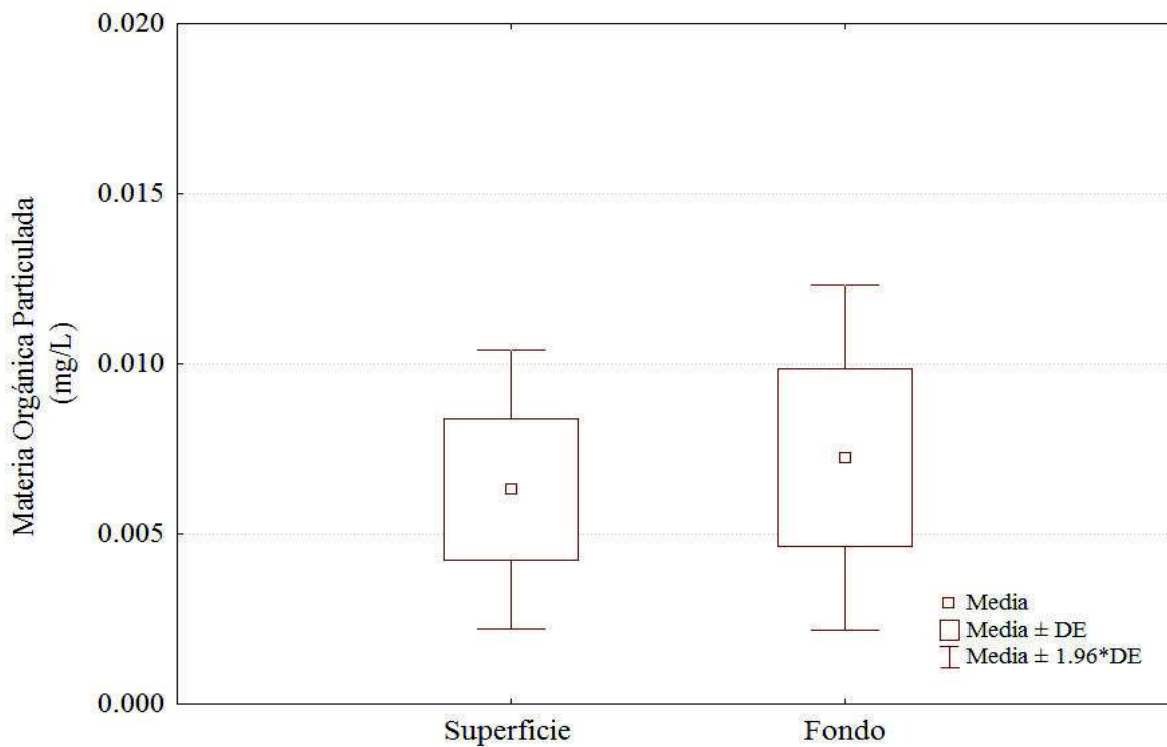


Figura 23. Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).

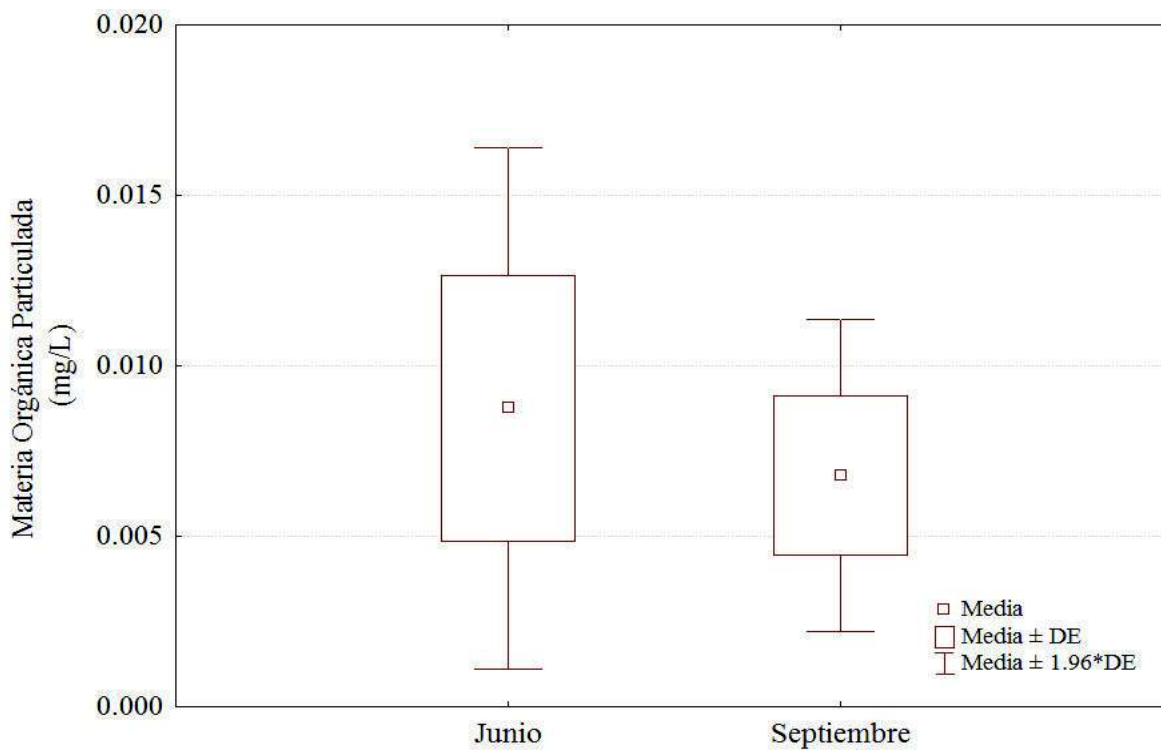


Figura 24. Distribución promedio de los intervalos de Materia Orgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo.

### VII.1.9. Materia Inorgánica Particulada (MIP)

El intervalo de valores de materia inorgánica particulada osciló entre 0.02 y 0.04 mg/L en ambos niveles de la columna de agua en junio, mientras que en septiembre, en ambas profundidades, el intervalo fue de 0.02 a 0.05 mg/L (Figura 25); se obtuvo un valor promedio de 0.03 mg/L en superficie y fondo para junio (Figura 26) y para septiembre (Figura 27). En ambos niveles de la columna de agua de junio ( $U = 40.5$ ;  $Z = 0$ ;  $P = 1$ ) y septiembre ( $U = 35$ ;  $Z = 0.4856$ ;  $P = 0.6272$ ) no presentaron diferencias estadísticas, este mismo comportamiento se presentó entre ambos períodos (Figura 28) ( $U = 125$ ;  $Z = -1.1706$ ;  $P = 0.2417$ ).

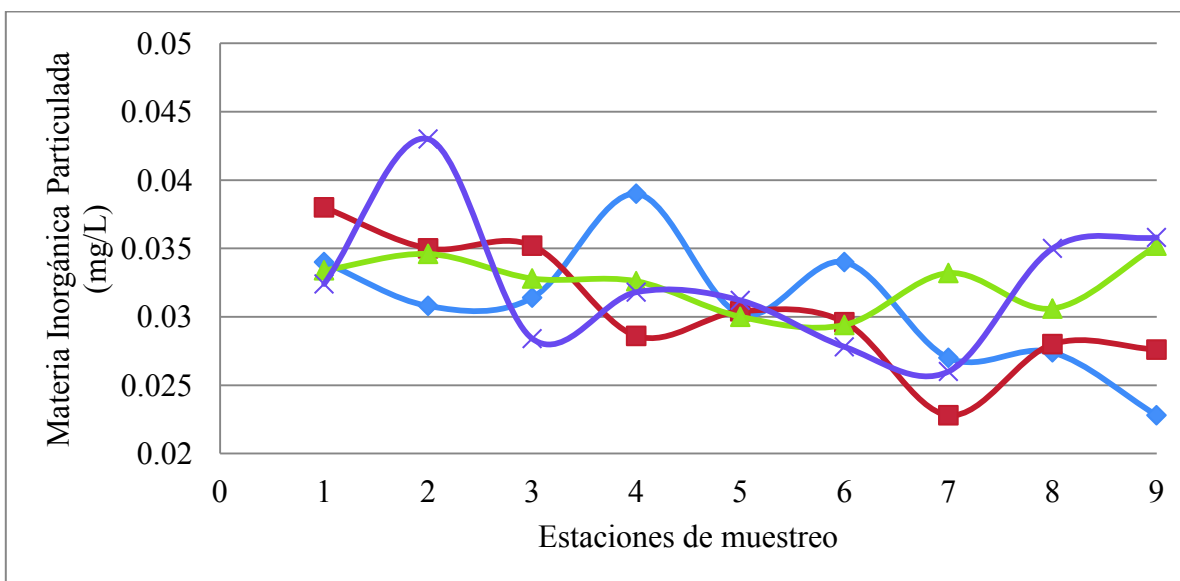


Figura 25. Valores de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo en cada una de las estaciones en sus diferentes niveles. —◆— Junio 2013 (Superficie) —■— Junio 2013 (Fondo) —▲— Septiembre 2013 (Superficie) —×— Septiembre 2013 (Fondo).

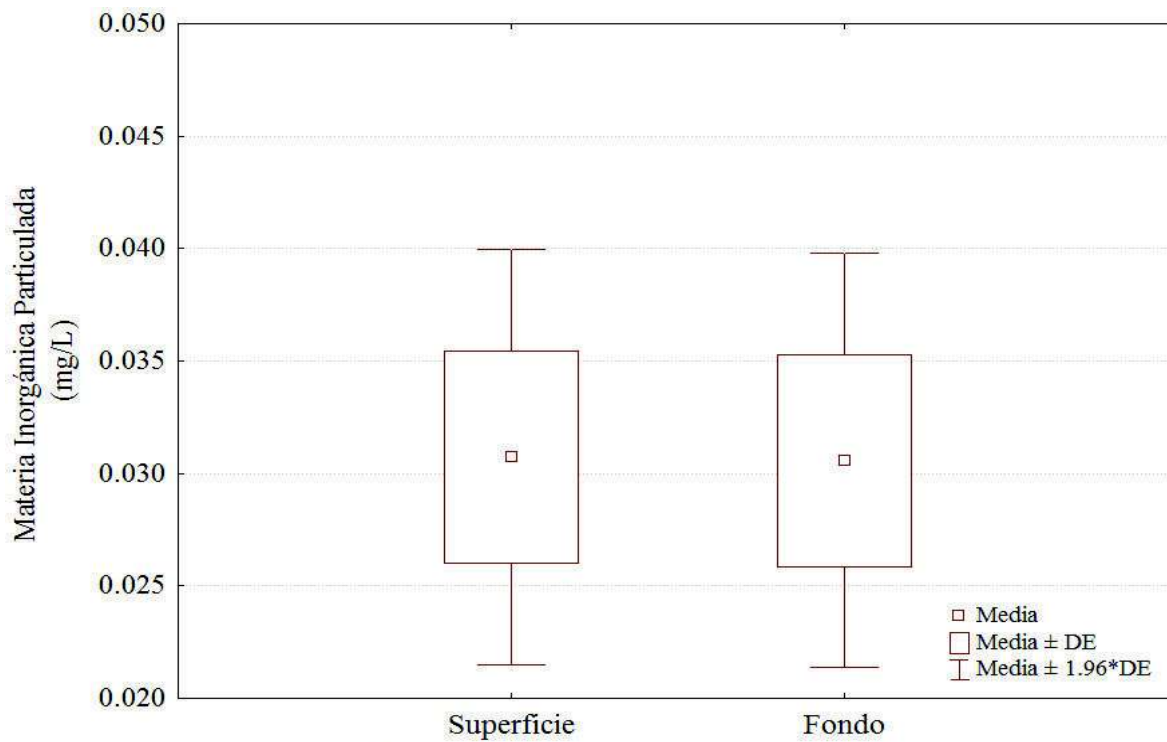


Figura 26. Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del primer muestreo (junio).

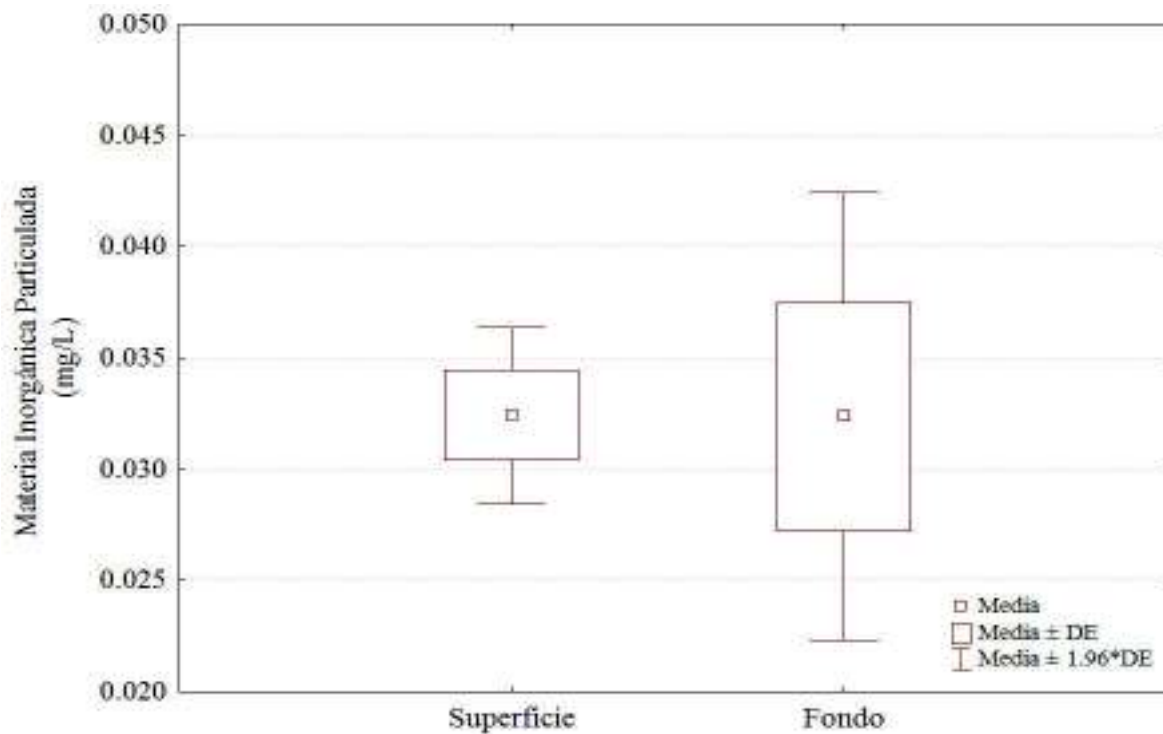


Figura 27. Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de superficie y fondo del segundo muestreo (septiembre).

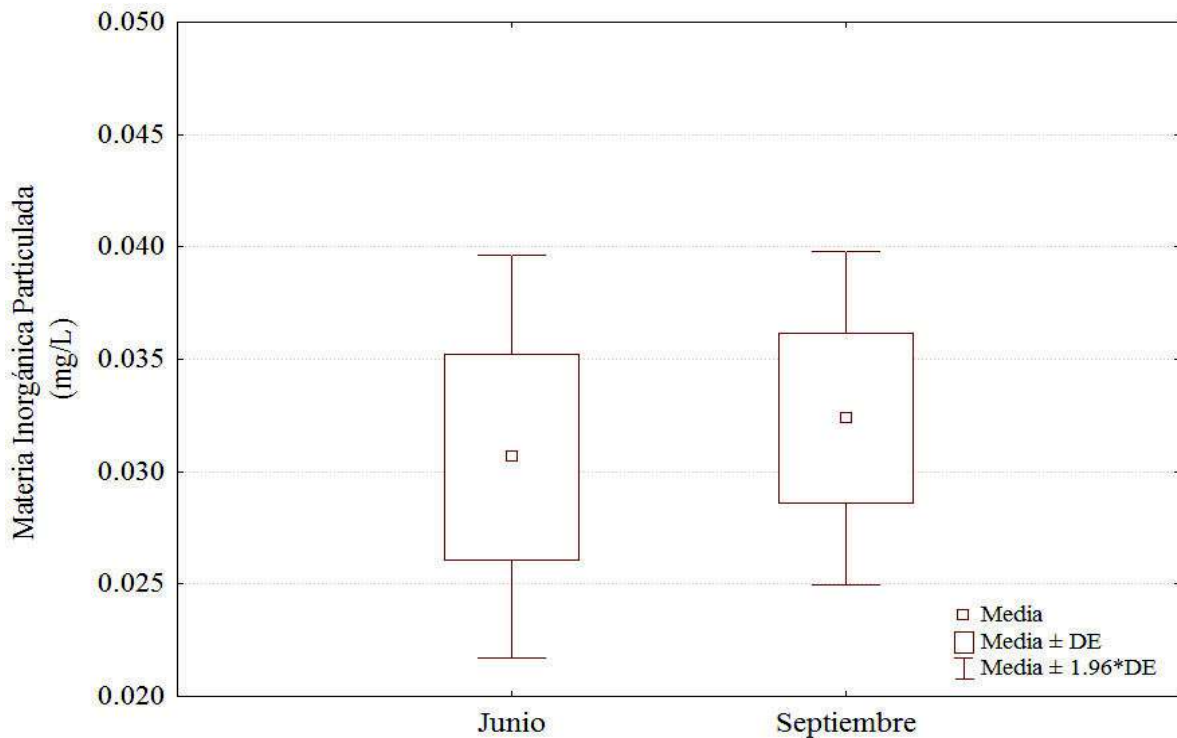


Figura 28. Distribución promedio de los intervalos de Materia Inorgánica Particulada (mg/L) de cada muestreo.

## VII.2. Diagrama de relación Turbidez-Clorofila *a*

Se realizó una regresión lineal entre turbidez y Chl *a* en la columna de agua, para determinar la relación entre ambas variables. El resultado para el muestreo de junio mostró una  $R^2$  de 0.3457 indicando que del total de la turbidez que se presenta en la columna de agua, aproximadamente 35% corresponde a Chl *a* (partículas de fitoplancton) y el resto corresponde a materia total en suspensión (Figura 29). Para septiembre se obtuvo una  $R^2$  de 0.7876, un nivel más alto de Chl *a* en la columna de agua, indicando que del total de la turbidez el casi 80% corresponde a la Chl *a* y el resto a materia total en suspensión (Figura 30).

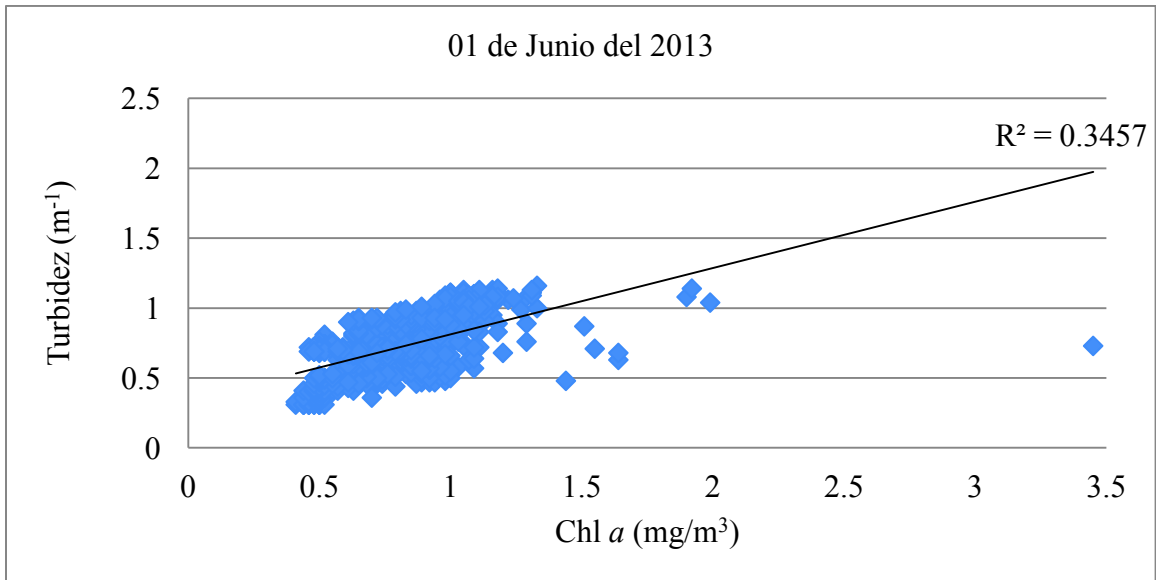


Figura 29. Regresión lineal del diagrama Turbidez -Chl  $a$  del primer muestreo en la Bahía El Colorado.

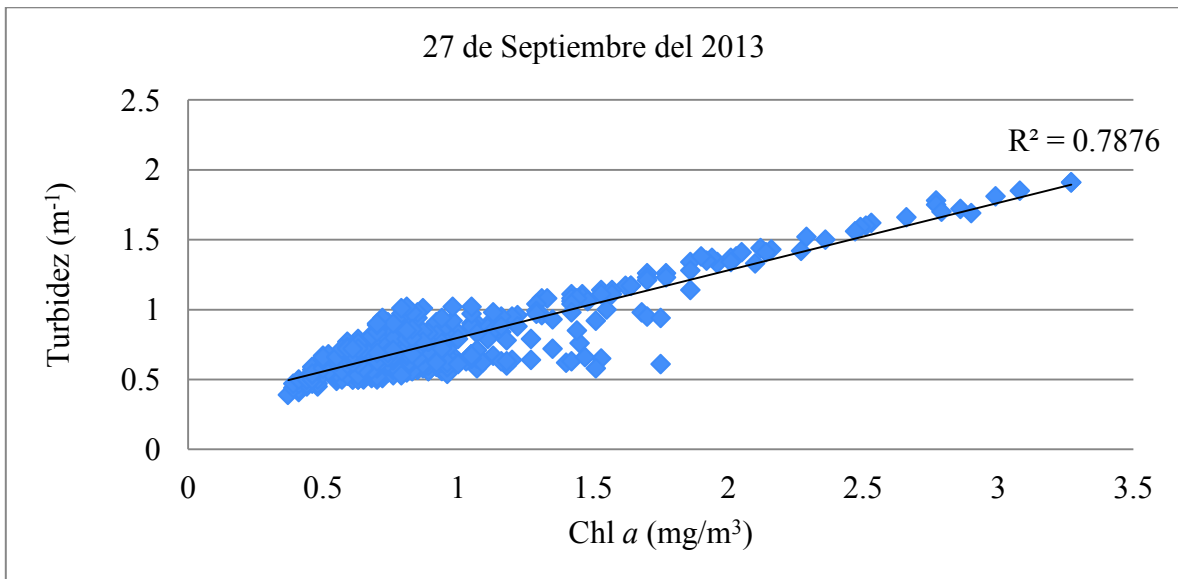


Figura 30. Regresión lineal del diagrama Turbidez-Chl  $a$  del segundo muestreo en la Bahía El Colorado.

### VII.3. Estado trófico

Como se mencionó previamente, el rango de la distribución de Chl *a* en la columna de agua de junio fue entre 0 a 1.4 mg/m<sup>3</sup>, con un valor promedio de 0.71 mg/m<sup>3</sup> y entre 0.2 a 1.2 mg/mg<sup>3</sup> con un valor promedio de 0.70 mg/m<sup>3</sup> para septiembre. De acuerdo a la escala de nivel trófico propuesta por Morel y Berthon (1989) (Tabla II), valores de Chl *a* en un intervalo de 0.45 a 1.5 mg/m<sup>3</sup> corresponde a un estado mesotrófico, es decir, un nivel medio de producción primaria.

Tabla II. Niveles tróficos en base al contenido de clorofila *a* (mg/m<sup>3</sup>) en base a la escala de Morel y Berthon (1989).

Nivel de clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	Estado trófico
0.00 - 0.15	Ultraoligotrófico
0.015 - 0.45	Oligotrófico
0.45 - 1.50	Mesotrófico
1.50 - 5.00	Eutrófico
>5.00	Hipertrófico



## VIII. DISCUSIÓN

Las zonas costeras presentan factores ambientales que juegan un papel importante en determinar el nivel de producción primaria y la disponibilidad de nutrientes al igual que de materia en suspensión. Los perfiles verticales de temperatura indican condiciones homogéneas en ambos muestreos, aunque con valores más altos en el muestreo de septiembre se pueden establecer dos períodos claramente diferenciados, uno correspondiente a la época de transición a verano (junio) y otro a la época de verano (septiembre). Estas diferencias de temperatura pueden ser debidas a una mayor irradiación solar durante septiembre generando un calentamiento en la columna de agua, así como también en la presencia de Agua Superficial Ecuatorial que invade la costa este del Golfo de California durante esta época del año (Martínez-López et al., 2001; Reyes-Salinas., 1999). Estos valores de temperatura coinciden con el trabajo de Obeso-Nieblas et al., (2012) y Reyes-Salinas (2003) realizados en la Bahía de La Paz, Baja California Sur en la costa del Golfo de California. Estos autores concluyen que la radiación solar y estratificación térmica y procesos de mezcla desarrollados por el viento contribuyen en la distribución vertical de la temperatura, demostrando una clara tendencia estacional con valores altos durante estos meses como lo registraron Castro-Longoria y Grijalva-Chón (1991) en la Laguna Costera La Cruz. Por otro lado, Valdez-Holguín y Martínez-Córdova (1993) observan la influencia que tiene el ciclo anual de la temperatura ambiental sobre la temperatura de la columna de agua, principalmente en la zona cercana a la costa ya sea por ser un sitio más somero o por presentar un nuevo tipo de agua que entra a los ciclos de marea.

La salinidad presentó una distribución homogénea similar a la temperatura, valores similares fueron reportados por Morales-Soto et al. (2000) para la Laguna La Cruz, Sonora, y para la Ensenada de La Paz, B. C. S. por Cervantes-Duarte et al. (2001). En estos sistemas se registraron valores promedio más altos, hipersalinos, por tratarse de lagunas costeras con una fuerte evaporación (Valdez-Holguín, 1994). En este trabajo los valores fueron menores debido a que es una bahía con una amplia comunicación con el Golfo de California, y en promedio es más profunda que las lagunas mencionadas, por lo cual las condiciones del mar adyacente determinan sus características. Otra característica

importante es que el Golfo de California es un mar marginal que presenta diferentes regiones, cada una con sus características hidrográficas, climáticas y topográficas (Soto-Mardones et al., 1999), una de ellas corresponde a la región sur, sin embargo los niveles de temperatura superficiales son mayores por el efecto de evaporación (Svedrum 1941; Roden 1964. Citado por Álvarez-Borrego., 2008). El Golfo de California presenta seis masas de agua, de las cuales una de las tres masas de agua superficiales es el Agua Superficial Ecuatorial (ASE,  $S < 35$  y  $T \geq 18^{\circ}\text{C}$ ) que tiene un desarrollo estacional entrando una masa de agua cálida y oligotrófica por la boca del Golfo de California pasando por la cuenca de Guaymas durante la época de verano (Álvarez-Borrego., 2010). Sin embargo, otra masa de agua que se presenta es el Agua del Golfo de California (AGC,  $S \geq 35.0$  y  $T > 12^{\circ}\text{C}$ ) que puede ser Agua Superficial Ecuatorial que ha sido transformada por evaporación (Roden y Groves 1959. Citado por Álvarez-Borrego., 2008). Estos fenómenos podrían explicar la presencia de Agua Superficial Ecuatorial y el proceso de advección que modifica el intervalo de las temperaturas y salinidad en cada muestreo.

Los niveles de Chl *a* fueron similares a los valores reportados por Reyes-Salinas (1999) y Martínez-López et al. (2001) en la Bahía de La Paz. Estos autores indican que hay una distribución homogénea que tiene una tendencia a disminuir en la época cálida del muestreo, concluyendo que la cercanía de la línea de costa favorece el aporte de nutrientes incrementando la biomasa del fitoplancton. Valores cercanos fueron reportados por Canino-Herrera et al. (1990) en Bahía de Los Ángeles debido a una serie de fluctuaciones durante mareas de transición y vivas causando por un efecto de mezcla y un aumento de la intensidad del viento del sureste transportando agua caliente con menor contenido de Chl *a* en el interior de la bahía. Valores menores fueron reportados Valdez-Holguín (1994) en la Laguna Costera La Cruz, estas diferencias se deben a que la laguna es un sitio somero e influenciada por el intercambio de agua con Bahía de Kino con un tiempo de residencia menor impidiendo que el fitoplancton se adapte a las condiciones ambientales. A diferencia de la Bahía El Colorado, que es una bahía con una boca amplia el tiempo de residencia del fitoplancton es mayor y por lo tanto, mayores son los niveles de Chl *a* y al parecer se presentan características similares de los estudios mencionados con esta bahía, donde los procesos de marea y viento son los principales reguladores de la variabilidad de la biomasa del fitoplancton.

Respecto a la distribución integral de la Chl *a* no presentó diferencias entre ambos muestreos, estos valores son similares a los reportados para la época cálida en la Bahía de La Paz (Martínez-López et al., 2001), atribuidos a una fuerte estratificación causada por la alta irradiación que limita la disponibilidad y flujo de nutrientes a la Bahía. Los valores de este estudio pueden estar relacionados también a una baja disponibilidad de nutrientes.

En base a la escala utilizada por Morel y Berthon (1986), los valores promedio de Chl *a* (mg/m<sup>3</sup>) indican que se trata de un ecosistema mesotrófico. Este resultado coincide con el de López-Cortés et al. (2003), con base en la concentración de nutrientes en la columna de agua, concluyen que Bahía Concepción, B. C. S. es un ecosistema mesotrófico, determinado por los periodos de mezcla y estratificación debidos a la estacionalidad de los vientos y cambios en el flujo de mareas.

De acuerdo a (Martínez-López et al., 2001) la turbidez se incrementa por la resuspensión y transporte de partículas, aumento de la biomasa fitoplanctónica, actividad de pastoreo y desarrollo bacteriano en la materia orgánica. En este estudio coincide con lo mencionado previamente, pues durante el muestreo de junio se reportó un nivel de turbidez mayor asociado con la materia total en suspensión y en el mes de septiembre el nivel de turbidez en su mayoría se concentraba en Chl *a*. Este patrón de variación mostró una influencia por los cambios de marea al igual que los vientos estacionales, provocando un aumento en la turbidez por efecto de resuspensión de sedimentos finos de origen terrígeno durante los procesos de marea. Este mismo efecto fue reportado por Lechuga-Deveze et al. (1986) en la Ensenada de La Paz, que caracteriza a este sitio como una "trampa" de sedimento de origen terrígeno que provoca un azolve lento pero continuo y que la Chl *a* juega un papel importante en el desarrollo de la turbidez, como el caso de este estudio durante el mes de septiembre.

El oxígeno disuelto presentó una variación inversa a los niveles de temperatura, debido a que la solubilidad de un gas es inversamente proporcional a la temperatura. Otros factores como la hora de muestreo, el viento y corrientes de mareas pueden influir en la concentración del oxígeno disuelto (Morales-Soto et al., 2000; Valdez-Holguín, 1994). En La laguna La Cruz durante un ciclo anual, las concentraciones más bajas se registraron durante verano con valores mayores a los encontrados en este estudio (Valdez-Holguín, 1994; Valdez-Holguín y Martínez-Córdova, 1993; Morales-Soto et al., 2000).

Los valores promedios de materia total en suspensión fueron menores a los reportados para la Bahía de La Paz, B. C. S. (Cervantes-Duarte et al. 2004), donde hubo contribución de material terrígeno transportado al coeficiente de atenuación de luz fue más importante que la biomasa fitoplanctónica. Por otra parte Castro-Longoria y Grijalva-Chón (1991) en la Laguna Costera La Cruz indicaron que los valores promedio de seston y materia inorgánica se incrementaron con el tiempo durante el muestreo y la materia orgánica se mantuvo constante, esto es causado por efecto de remineralización de la materia orgánica asociado a la descomposición vegetal, un ecosistema variable por el intercambio mareal que influye en el tiempo de residencia del agua.

La atenuación de la luz en la Bahía El Colorado, presentó una mayor contribución por material inorgánico durante el primer muestreo, y mayor por Chl *a* en el segundo. Aunque no se observaron diferencias significativas en la concentración de Chl *a* y materia total en suspensión entre ambos muestreos, el intervalo de valores de Chl *a* fue más amplio en el segundo (con un intervalo similar en materia en suspensión), indicando una mayor contribución de la Chl *a* en la concentración de materia en suspensión con un mayor efecto en la atenuación de la luz. La materia orgánica particulada fue mayor en el fondo que en superficie, y valores más altos en junio comparados con los de septiembre, la mayor temperatura y estratificación de la columna de agua durante el segundo muestreo, y una posible limitación de nutrientes, no permitió el desarrollo de una trama trófica en el lugar, bajando los niveles de materia orgánica en la columna de agua.

## IX. CONCLUSIONES

En la Bahía El Colorado se presenta una estructura homogénea en la columna de agua en primavera y verano.

En ambos muestreos se observaron procesos de mezcla y estratificación que fueron controlados por la irradiación solar, vientos estacionales y cambios en los flujos de mareas de diferente intensidad y duración.

Los resultados obtenidos de producción primaria permiten clasificar a la bahía en base al contenido de Chl *a* (mg/m<sup>3</sup>) como un nivel mesotrófico.

Estos niveles de producción primaria se deben a los procesos de estratificación causado por el flujo de calor sobre las capas superficiales en la columna de agua.

Durante primavera se generaron condiciones de un aumento en los niveles de producción primaria y el inicio un proceso de estratificación en la zona superficial de la columna de agua por un aumento de la radiación solar.

En verano se alcanzaron los valores máximos de estratificación y se presentan vientos estacionales débiles que no llegan a causar un efecto de mezcla en la capa superficial.

En verano no se presentó un intercambio de nutrientes entre ambos niveles de la columna de agua, generando bajos niveles de producción primaria.

Se requiere realizar un muestreo en la época de invierno para describir toda la variabilidad hidrológica de la Bahía El Colorado.

## X. LITERATURA CITADA

- Álvarez -Borrego S. 2007. Flujos de carbono en los Golfos de California y México. 337-353 p. En: Hernández de la Torre, B., Gaxiola Castro, G. (Eds.), Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Centro de Investigación Científica y Superior de Ensenada. México.
- Álvarez-Borrego S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas. 45-65 p. En: Danemann, G.D., Ezcurra, E. (Eds.), Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea Base 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Álvarez-Borrego S. 2010. Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. 24-48 p. En: Brusca, R.C. (Eds.), The Gulf of California: biodiversity and conservation. University of Arizona Press. Estados Unidos.
- Barocio-León O.A., R. Millán-Núñez, E. Santamaría-Del Ángel y A. González-Silvera. 2007. Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del sistema de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS. Ciencias Marinas. 33(1): 59-72.
- Canino-Herrera S.R., G. Gaxiola-Castro y J.A. Segovia-Zavala. 1990. Efecto de procesos físicos sobre la variación de clorofila, seston y productividad primaria en la ensenada norte de Bahía de Los Ángeles (verano 1986). Ciencias Marinas. 16(2): 67-85.
- Casas B., M. Varela y A. Bode. 1999. Seasonal succession of phytoplankton species on the coast of A Coruña (Galicia, northwest Spain). Citado por López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizarraga., J.J Bustillos-Guzmán., R Alonso-Rodríguez., I Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. Hidrobiológica 13(3): 195-206.
- Castro-Longoria R. y J.M. Grijalva-Chón. 1991. Variabilidad espacio-temporal de nutrientes y seston en la laguna costera La Cruz. Ciencias Marinas. 17(2): 83-97.

- Cervantes-Duarte R., F. Aguirre-Bahena, A. Reyes-Salinas y J.E. Valdez-Holguín. 2001. Caracterización Hidrológica de una laguna costera de Baja California Sur, México. *Oceánides*. 16(2): 93-105.
- Cervantes-Duarte R., J.E. Valdez-Holguín y A. Reyes-Salinas. 2004. Comparación de reflectancia *in situ* 443/555 y 490/555 con Clorofila *a* y Materia Suspendida Total en Bahía de La Paz. Baja California Sur, México. *Revista Hidrobiología*. 14(1): 11-17.
- Chen A.C. y A.V. Borges. 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: Continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Deep-Sea Research II* 56:578-590.
- Cifuentes-Lemus J.L., P. Torres-García y M. Frías-Mondragón. 2007. El Océano y sus recursos: V. Plancton. Editorial Fondo de Cultura Económica. México.
- Delgadillo-Hinojosa F., G. Gaxiola-Castro, J.A. Segovia-Zavala, A. Muñoz-Barbosa y M. V. Orozco-Borbón. 1997. The effect of vertical mixing on Primary Production in Bay of the Gulf of California. Citado por López-Cortes D.J., I. Gárate-Lizarraga, J.J Bustillos-Guzmán, R Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.
- Escribano R. y L. Castro. 2004. Plancton y productividad. 289-314 p. En: Werlinger C. (Eds.) *Biología Marina*. UDEC. Chile.
- Espinosa-Carreón L. y J.E. Valdez-Holguín. 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*. 6(1-2): 83-92.
- Félix-Gocobachi R.N. y M.S. Valenzuela-Fino. 2000. Abundancia Fitoplanctónica, Biomasa y Nutrientes del Agua de la Laguna La Cruz, Sonora en el Período de Abril-Agosto de 1998. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Hermosillo, Sonora, México.
- Gaxiola-Castro G., J. C. A. Cepeda-Morales, S. Nájera-Martínez, T. L. Espinosa-Carreón, M. E. De La Cruz-Orozco, R. Sosa-Avalos, E. Aguirre-Hernández y J. P. Cantú-Ontiveros. 2010. Biomasa y producción de fitoplancton. 59-85 p. En: Gaxiola Castro, G. y R. Durazo-Arvizu (Eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007*. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente

- de California. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Centro de Investigación Científica y Superior de Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California. México.
- Hernández-Ayón J.M., V.F. Camacho-Ibar, A. Mejía-Trejo y A. Cabello-Pasini. 2007. Variabilidad del CO<sub>2</sub> total durante eventos de surgencia en Bahía San Quintín, Baja California, México. 187-200 p. En: Hernández-de la Torre, B y G. Gaxiola-Castro (Eds.), Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Centro de Investigación Científica y Superior de Ensenada. México.
- Kjørboe, T. 1993. Turbulence, Phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food Webs. Citado por López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizarraga, J.J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.
- Lara J.R. y C. Bazán. 2005. Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*. 31(1A):11-21.
- Lara-Lara J.R., J. A. Arreola-Lizárraga, L. E. Calderon-Aguilera, V. F. Camacho-Ibar, G. De La Lanza-Espino, A. Escofet-Giansone, M. I. Espejel-Carvajal, M. Guzmán-Arroyo, L. B. Ladah, M. López-Hernández, A. E. Meling-López, P. Moreno Casasola-Barceló, H. Reyes-Bonilla, E. Ríos-Jara y J. A. Zertuche González. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. 109-134 p. En: Soberón, J., Halfpter, G y Llorente, J. (Eds.), *Capital Natural de México*. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Lechuga-Deveze C.H., J. García-Pámanes y J.J. Bustillos-Guzmán. 1986. Condiciones ecológicas de una laguna costera de la costa del Golfo de California. Turbiedad y clorofila *a*. *Ciencias Marinas*. 12(1): 19-31.
- López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizárraga, J.J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.



- Martínez-López A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas y J.E. Valdez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila *a* en la Bahía de La Paz, Baja California Sur. *Hidrobiología*. 11(1): 45-52.
- Martínez A. y I. Gárate. 1997. Variación diurna de la materia orgánica particulada en una laguna costera del Golfo de California. *Biología Tropical*. 45(4):1421-1428.
- Millán R. y J. R. Lara. 1995. Productividad primaria del fitoplancton del pacífico mexicano: un diagnóstico. 31-60 p. En: González Farías, F., de la Rosa Vélez, J. (Eds.). *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Vol. II. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México.
- Morales Soto J.C., J.E. Valdez-Holguín y R. Cervantes-Duarte. 2000. Cambio diurno y estacional de la clorofila *a* y algunas variables fisicoquímicas en la Laguna La Cruz, Sonora, México. *Oceánides*. 15(1): 25-33.
- Morel A. y J.F. Berthon. 1989. Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limnology and Oceanography*. 34(8): 1545-1562.
- Obeso-Nieblas M., J.H. Gaviño-Rodríguez y H. Obeso-Huerta. 2012. Variabilidad espacial y estacional de temperatura, salinidad y densidad en Bahía Concepción, Golfo de California, México. *Biología Marina y Oceanografía*. 47(3): 489-502.
- Ortiz-Lozano L.D., P. Arceo-Briseño, A. Granados-Barba y M. D. L. Jiménez-Badillo. 2010. Zona Costera. 123-146 p. En: Florescano, E y J. Ortiz-Escamilla (Eds.). *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*, Tomo I Patrimonio Natural. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. México.
- Parsons T.R., Y. Maita y C.M. Laalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. Oxford. Reino Unido.
- Pingree, R .D., L. Maddock y E. I. Butler. 1977. The influence of Biological activity and physical stability in determining the chemical distributions of inorganic Phosphate, Silicate and Nitrate. Citado por López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizárraga, J.J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.

- Reyes-Salinas A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Departamento de Oceanología. La Paz, Baja California Sur, México.
- Reyes-Salinas A., R. Cervantes-Duarte, R.A. Morales-Pérez y J.E. Valdez-Holguín. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratigrafía vertical en la Bahía de la Paz, B.C.S. *Hidrobiológica*. 13(2): 103-110.
- Roden G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Citado por Álvarez-Borrego S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas. 45-65 p. En: Danemann, G.D. y E. Ezcurra (Eds.), Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea Base 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Roden G.I. y G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations of the Gulf of California. Citado por Álvarez-Borrego S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas. 45-65 p. En: Danemann, G.D. y E. Ezcurra (Eds.), Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea Base 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Simpson, J. H., D. G. Hughes y N. C. Morris. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. Citado por López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizárraga, J.J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.
- Soto-Mardonaes L., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 25(1):1-30.
- Svedrum H.U. 1941. The Gulf of California: preliminary discussion on the cruise of the E.W. Scripps in February and March 1936. Citado por Álvarez-Borrego S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas. 45-65 p. En: Danemann, G.D. y E. Ezcurra (Eds.), Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea Base 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

- Valdez-Holguín J.E. 1994. Variaciones diarias de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a* en una laguna hipersalina del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 20(2): 123-127.
- Valdez-Holguín J.E. y L.R. Martínez-Córdova. 1993. Variabilidad de algunos parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en la laguna La Cruz, Sonora, México. *Biología Tropical*. 41(2): 161-179.
- Viner, A. B. 1985. Thermal stability and phytoplankton distribution. Citado por López-Cortés D.J., I. Gárate-Lizárraga, J.J. Bustillos-Guzmán, R. Alonso-Rodríguez e I. Murillo-Murillo. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica* 13(3): 195-206.